



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE-UFCG
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS-CTRN
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM RECURSOS NATURAIS



TESE DE DOUTORADO

ABORDAGENS PARA A SEPARAÇÃO DOS ESCOAMENTOS:
SUBSÍDIOS AO INSTRUMENTO DA OUTORGA DE ÁGUA NA
REGIÃO SEDIMENTAR DO BAIXO PARAÍBA.

PAULO DA COSTA MEDEIROS

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Recursos Naturais

LINHA DE PESQUISA: Gestão e Planejamento de Recursos Naturais

ORIENTADOR: FRANCISCO DE ASSIS SALVIANO DE SOUSA

Campina Grande, PB.

Agosto de 2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE-UFCG
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS-CTRN
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM RECURSOS NATURAIS

TESE DE DOUTORADO

ABORDAGENS PARA A SEPARAÇÃO DOS ESCOAMENTOS:
SUBSÍDIOS AO INSTRUMENTO DA OUTORGA DE ÁGUA NA
REGIÃO SEDIMENTAR DO BAIXO PARAÍBA.

Tese de Doutorado apresentada em
cumprimento exigido para a
obtenção do título de Doutor em
Recursos Naturais

Paulo da Costa Medeiros

Campina Grande, PB.

Agosto de 2011

“E o Senhor te guiará continuamente e fartará tua alma em lugares áridos, e fortificará os teus ossos; e serás como um jardim fechado, e como um manancial, cujas águas nunca faltam” (Isaias 58:11)

“Há um rio cujas correntes alegam a cidade de Deus, o lugar santo das moradas do Altíssimo.” (Salmo 46:4)

... possais compreender, com todos os santos, qual seja a largura, e o comprimento, e a altura, e a profundidade, e conhecer o amor de Cristo, que excede todo o entendimento, para que sejais cheios até a inteira plenitude de Deus.”(Efésios 3:18,19)

Dedico, a todas as criancinhas que conseguiram e não conseguiram sobreviver às atrocidades e desprezo dos homens. Muitas nem chegaram a conhecer a alegria de brincar, sua essência foi sequestrada. Mas essa parte da humanidade pagará no justo e perfeito juízo do Senhor Jesus. Com certeza seus inexplicáveis choros chegaram diante do trono do Senhor.

Nesta vida, a segunda metade do *tempo de meia vida* “corre” bem mais depressa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a ti Senhor Jesus, pelos momentos que o único sossego era o “apagar” deste mundo. Obrigado pelos momentos de *sono sem sonhos*. Tinha algumas horas de “inexistência”.

A Deus, em sEu Verbo vivo, Palavra no tempo e fora de tempo, que por amor a José, abençoou Potifar, que salvou os habitantes de Nínive, pela boca de Jonas, e Nabucodonosor abatendo sua soberba, que purificou Naamã, e achou graça em Noé, Abrão, Cornélio, (...). Alguns abençoados, outros salvos. *Quem primeiro deu a Ele para dEle receber?* A Ele seja a honra, a glória, o domínio pelos séculos dos séculos, amém. Misericórdias te peço, até nos meus últimos segundos que consiga meditar, permitas que eu siga em repouso.

Agradeço especialmente ao professor Francisco de Assis Salviano de Sousa, pelo apoio, paciência e compreensão principalmente nas labutas que margeavam alguns períodos no âmbito do doutorado, pelo qual também agradeço a todos que fazem a Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas.

Ao CNPq/CT-HIDRO, pelo fomento à pesquisa no âmbito do doutorado.

A todo corpo docente bem como aos colegas do Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, significativamente representados pelos Professores José Dantas Neto e Pedro Vieira, pela secretária Cleide e por Lincoln Eloi. A todos colegas de turma, em especial a Valterlin Santos e Érica Cristine Medeiros.

Gostaria de enfatizar minha gratidão à Professora Márcia Maria Rios Ribeiro, e demais professores, alunos e funcionários do Laboratório de Hidráulica, pelas várias oportunidades de atuação no âmbito da pesquisa na Área de Recursos Hídricos em mais de uma década. Saudades sentirei: Carlos de Oliveira Galvão, Heber Pimentel Gomes, ao saudoso Manoel Gilberto de Barros, Raimundo Sergio Santos Góis, Janiro Costa Rego, Rosires Catao Curi, Eduardo Eneas de Figueiredo, Wilson Faldo Curi, Vajapeyam Srinivasan. A todos do Projeto “Aplicação da cobrança pelo uso da água bruta em escala real” (Renato Mahon Maecedo, Simone Bezerra da Silva, Marcos de Brito Campos Junior, Adriana Margero, Camila Famá, Mirella Motta, Maria Josicleide, Maria Cordão, Wendel Cabral, Whelson, João Virgílio, Professores Jaido Pereira, Laudízio Diniz, Geraldo e Jussara Lopez da Silveira. À equipe do “ASUB” (Iana Alexandra, Beatriz Ceballos, Dayse Luna Barbosa, José Augusto, Zédna, Marcondes Loureiro, Renata, Mirella, Camila Medeiros, Adriana Margero, Samily, Barbara, Bira, Marília), e com expressivo carinho ao Professor Janiro Costa Rêgo, e àquele cujos semelhantes cabelos brancos de meu pai adicionava meu grande afeto, Professor Patrocínio Tomaz de Albuquerque, sou grato pelas ricas oportunidades de aprendizado nas reuniões de projeto. Aos colegas Alcídney, Laercio Leal, Rosenilton Maracajá, Kiosthenes, Renato Fernandes no âmbito dos anos na Área de Recursos Hídricos. Vendo hoje que o tempo nos Laboratórios de Hidráulica I e II, contemplaram quase um terço de minha vida, a todos mais uma vez agradeço.

Aos professores e funcionários do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, Márcio Caniello, Hugo Morais, Glauciane Coelho, Aldre, Aldinete, Leomaques e demais colegas, obrigado pelo apoio e companheirismo.

Às lideranças, membros e congregados da Igreja Presbiteriana e Assembléia de Deus de Lagoa Seca-PB, agradeço a Deus por usá-los em ministrar Palavra de Salvação n dia.

Aos meus queridos pais João e Expedita e toda família.

A minha querida esposa Áurea e queridos filhos, Carol, Bruna e Pedro, alegrias sempre, obrigado pela paciência, compreensão e carinho.

Por fim sempre serei grato a ti Senhor *Jesus Cristo, que é a fiel testemunha, o primogênito dos mortos e o Príncipe dos reis da terra. Àquele que nos ama, e pelo seu sangue nos libertou dos nossos pecados, e nos fez reino, sacerdotes para Deus, seu Pai, a Ele seja glória e domínio pelos séculos dos séculos (Ap. 1:5-6)*. Acolhe-nos com tua graça, teu perdão, teu amor, tua misericórdia. Os nomes que estão aqui listados e os que cercam suas vidas, peço a ti ó Deus, com ardor e sede pelo teu amor, salvação de suas almas, em nome do Senhor Jesus, amém!

RESUMO:

Confere à outorga dos direitos de uso da água (Lei nº 9.433 de 1997), a limitação ao usuário de água de determinada vazão nos reservatórios superficiais e/ou subterrâneos. Conciliar a gestão dos recursos hídricos e ambientais representa um complexo desafio, pois envolve muitas áreas de conhecimento. O presente trabalho enfatiza a necessidade de uma maior aproximação entre as áreas ecológica e hidrológica por meio da interpretação espaço-temporal das limitações hídricas nos regimes de vazões. Esses regimes podem ser observados nos hidrogramas, indispensáveis ferramentas para uma melhor compreensão do comportamento hidroecológico dos rios. É aplicada a Transformada de Wavelet Contínua (CWT) na análise espectral de séries temporais: vazão e chuva diárias (estudo de caso: estação Ponte da Batalha, localizado na Região Sedimentar do Baixo curso do rio Paraíba - RSBP, no estado da Paraíba). A Análise de Wavelet contribuiu para a elaboração dos hidrogramas nos períodos de El Niño e de La Niña. Foi atribuída uma nova abordagem para a separação dos escoamentos: pulsos de vazões, cuja alta frequência foi discretizada nas condições de ascensão, recessão e estabilidade. Os resultados mostraram que, no período de El Niño a variabilidade dos pulsos de vazões é maior do que no período de La Niña. O produto final confere a robustez da Transformada de Wavelet Contínua como ferramenta que auxilia a interpretação do comportamento da vazão nos hidrogramas. Essa técnica dá suporte aos instrumentos de gestão dos recursos hídricos e auxilia não só a outorga, mas também a cobrança e o enquadramento dos corpos d'água.

ABSTRACT

It is attributed to the granting of rights to water use (Law No. 9433 of 1997), limiting the user certain flow of water in surface reservoirs and/or underground. Reconciling the management of water resources and environment represents a complex challenge because it involves many areas of knowledge. This study emphasizes the need for a greater rapprochement between the hydrological and ecological areas through the space-time interpretation of the limitations in water flow regimes. Reconciling the management of water resources and environment represents a complex challenge because it involves many areas of knowledge such as ecology and hydrology. It is applied to Continuous Wavelet Transform (CWT) in the spectral analysis of time series: daily rainfall and flow (case study: the Battle Bridge station, located in the region of the Lower Sedimentary course of the river Paraíba - RSBP in the state of Paraíba). The wavelet analysis has contributed to the preparation of hydrographs during periods of El Niño and La Niña. Received a new approach to separation of flow: flow pulses, whose high-frequency conditions was discretized rise, recession and stability. The results showed that during El Niño variability of flow pulses is greater than during La Niña. The final product gives the robustness of the Continuous Wavelet Transform as a tool that aids the interpretation of the behavior of the flow hydrograph. This technique supports the management tools of water resources and helps not only the award but also the collection and classification of water bodies.

ABORDAGENS PARA A SEPARAÇÃO DOS ESCOAMENTOS:
SUBSÍDIOS AO INSTRUMENTO DA OUTORGA DE ÁGUA NA
REGIÃO SEDIMENTAR DO BAIXO PARAÍBA

TESE DE DOUTORADO

SUMÁRIO

Lista de Figuras	
Lista de Tabelas	
Lista de Símbolos	
Lista de Siglas e Abreviaturas	
1 - INTRODUÇÃO	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 - Vazão fluvial: contexto ecológico e de gestão	17
2.1.1 - O fluxo de água e a ecologia dos rios	17
2.1.2 - A vazão ecológica	18
2.1.3 - Águas outorgáveis e não outorgáveis frente ao potencial hídrico na bacia hidrográfica	20
2.1.4 – Outorga, cobrança e enquadramento, instrumentos correlacionados	23
2.2 - A escala espaço-temporal e a variabilidade hidrológica	24
2.2.1 - O hidrograma discretizado	25
2.2.2 - O hidrograma no auxílio à definição da vazão ambiental.....	26
2.3 - Análise espectral em séries temporais	29
2.3.1 - Wavelets – funções oscilantes	29
2.3.2 - Transformada de Wavelet Contínua	31
2.3.3 - Princípio da incerteza de Heisenberg.....	35
3. METODOLOGIA.....	36
3.1 - Área de Estudo: Região Sedimentar do Baixo Curso do Rio Paraíba (RSBP)	37
3.2 - Aspectos legais e institucionais	44
3.3 - Definição das zonas de gerenciamento.....	46
3.4 - Coleta e seleção de dados hidrometeorológicos na RSBP	47

	9
3.5 - Separação dos escoamentos.....	49
3.6 - Anomalias em dados hidroclimatológicos.....	52
3.7 - Índices de escoamento.....	53
4.0 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	55
4.1 - Separação dos escoamentos - estação fluviométrica Ponte da Batalha.....	55
4.2 - Precipitação pluvial.....	58
4.3 – Definição dos índices de escoamento.....	58
4.4 - Cálculos das anomalias.....	60
4.4.1 - Anomalias das vazões e dos índices de escoamento.....	60
4.4.2 - Anomalias da precipitação pluvial.....	61
4.5 - Aplicação da Transformada de Wavelet (TW).....	61
4.5.1 - CWT aplicada às anomalias das vazões.....	62
4.5.2 - CWT aplicada aos sinais de precipitação pluviométrica.....	64
4.5.3 - CWT aplicada aos índices de escoamento.....	68
4.6 - Confecção dos hidrogramas.....	74
5 - CONCLUSÕES.....	81
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	83
APÊNDICE.....	97

Lista de Figuras

Figura 1: Alguns sistemas do ciclo hidrológico (adaptado de Albuquerque e Rêgo (1998)).	21
Figura 2: Principais subdivisões consideradas no processo de outorga do direito de uso da água:	22
Figura 3: (a) Subdivisão do hidrograma (Jain e Srinivasulu, 2006), com separação do escoamento de base (adaptado de Shaw(2005)). Traçado bb' , uma das propostas em Tucci (2003); (b) Hidrograma com limites e amplitudes de vazões frente ao comportamento físico do escoamento fluvial discretizado na escala temporal (autoria própria).	26
Figura 4: Alguns aspectos para a confecção do hidrograma ambiental e o comportamento hídrico no contexto ecológico: (a) Pontos de controle; (b) Variabilidade superficial/subterrânea; (c) Variabilidade espacial; (d) Princípios do comportamento ecológico; (e) conexão rio-aquífero e (f) aspectos de gestão. (autoria própria).	28
Figura 5: Ilustração da wavelet contínua: a) espectro de wavelet no plano (escala versus posição); b) em alto relevo; c) visão tridimensional do espectro; (adaptado de Addison, (2002))	35
Figura 6: Fluxograma das principais etapas da metodologia.	37
Figura 7: Bacia hidrográfica do rio Paraíba: (a) suas subdivisões (Taperoá e Regiões do Alto, Médio e Baixo Curso do Rio Paraíba); (b) hidrografia; (c) e Região do Baixo curso do Rio Paraíba, com sedes municipais e destaque a área sedimentar. (adaptado de AESA (2006))	38
Figura 8: Distribuição de postos pluviométricos e fluviométricos na Região Hidrográfica do Baixo Curso do Rio Paraíba (adaptado do atlas de AESA (2006))	40
Figura 9: Série de vazões diárias dos postos Guarita (06 de janeiro de 1970 a 31 de janeiro de 2008) e Ponte da batalha (21 de dezembro de 1969 a 31 de dezembro de 1997) (ANA, 2008)	41
Figura 10: Sistemas aquíferos na Região do Baixo curso do Rio Paraíba	43
Figura 11: Zonas de gerenciamento da RSBP (Adaptado de ASUB (2010)).	47
Figura 12: Séries contínuas de dados diários de vazão: (a) La Nina e (b) El Nino	48
Figura 13: Ilustração do hidrograma de vazões diárias destacado em: (a) trecho Δt , separação dos escoamentos: Q_1 (vazão de base), Q_2 (vazão total sem os pulsos) e Q_3 (vazão total); (b) volumes escoados, sendo: V_1 , o volume do escoamento básico; V_2 , o volume do escoamento superficial 1 (volume sem pulsos de vazões); e V_3 , o volume do escoamento superficial 2 (aporte dos pulsos de ascensões e recessões). (autoria própria)	50
Figura 14: Separação dos escoamentos: (a) vazão de base, com destaque nos pontos de inflexão (A e B) no trecho t_B-t_A ; (b) amplitude destacada nas proximidades de t_A , traçado dos das inflexões nos pulsos de ascensão e recessão no período t_H-t_A . (autoria própria)	51
Figura 15: Formas diferenciadas da relação entre volumes em um período Δt (Figura 13b) para a confecção de índices de escoamento, sob os aspectos quantitativo e/ou ambiental. (autoria própria)	54
Figura 16: Separação dos escoamentos da fluviometria diária da estação Ponte da Batalha, com áreas que representam o volume escoado em três aportes: base, superficial 1 e superficial 2 (período: 01/01/1971 a 31/12/1973)	56
Figura 17: Separação dos escoamentos da fluviometria diária da estação Ponte da Batalha, com áreas que representam o volume escoado em três aportes: base, superficial 1 e superficial 2 (período: 01/01/1993 a 31/12/1995)	57
Figura 18: Pluviometria diária nas estações Ponte da Batalha e Itabaiana (Período de 01/01/1970 a 31/12/1976); e vazões diárias, estação Ponte da Batalha, para o período de La Niña (01/01/1971 a 31/12/1973).	58
Figura 19: Estação Ponte da Batalha: pluviometria diária (período: 01/01/1990 a 31/12/1996) e vazões diárias para o período de El Niño (01/01/1993 a 31/12/1995)	58
Figura 20: Índices de escoamento de base e o de pulsos de vazões em relação ao volume total escoado na estação Ponte da Batalha (período: 01/01/1971 a 31/12/1973)	59
Figura 21: Índices de escoamento de base e o de pulsos de vazões em relação ao volume total escoado na estação Ponte da Batalha (período: 01/01/1993 a 31/12/1995)	60
Figura 22: Índices de escoamento frente ao volume total escoado na estação Ponte da Batalha.	60
Figura 23: Análise de Wavelet das anomalias da vazão. Ponte da Batalha. Período de 01/01/1971 a 31/12/1973.	63

Figura 24: Análise de Wavelet das anomalia da vazão. Ponte da Batalha, Período de 01/01/1993 a 31/12/1995.	63
Figura 25: Análise de Wavelet para precipitação diária em Ponte da Batalha no período de 01/01/1970 a 31/12/1976.....	64
Figura 26: Análise de Wavelet para precipitação diária em Itabaiana no período de 01/01/1970 a 31/12/1976. ..	65
Figura 27: Sobreposição dos escalogramas e espectro de energia global de wavelet dos sinais de precipitação pluviométrica em Ponte da Batalha e Itabaiana (01/01/1970 a 31/12/1976).	66
Figura 28: Sobreposição dos escalogramas e espectro de energia global de wavelet dos sinais das anomalias em Ponte da Batalha e Itabaiana (01/01/1970 a 31/12/1976).	67
Figura 29: Análise de Wavelet em precipitação diária: Período de 01/01/1990 a 31/12/1996	68
Figura 30: Análise de Wavelet no escoamento (01/01/1971 a 31/12/1973): BFI - Índice de escoamento de base	70
Figura 31: Análise de Wavelet no escoamento diário. (01/01/1971 a 31/12/1973): IP – Índice de pulsos.	71
Figura 32: Análise de Wavelet no escoamento (01/01/1993 a 31/12/1995): BFI – Índice de escoamento de base	73
Figura 33: Análise de Wavelet no escoamento diário. (01/01/1993 a 31/12/1995): IP – Índice de pulsos.	74
Figura 38: Separação dos escoamentos e subdivisão temporal do hidrograma para os anos de La Niña	79
Figura 39: Separação dos escoamentos e subdivisão temporal do hidrograma para os anos de El Niño	80

Lista de Tabelas

Tabela 1: Dados climatológicos da estação João Pessoa (AESAs (2006) <i>apud</i> Costa <i>et al.</i> (2007))	39
Tabela 2: Distribuição percentual do volume outorgado aos usuários de água.....	44
Tabela 3: Índices de escoamento no contexto global	59

Lista de Símbolos

$^{\circ}\text{C}$	Grau Celsius, temperatura
E	Evaporação
$F(\omega)$	Transformada de Fourier
P	Precipitação pluviométrica
Q	Vazão (m^3/s)
Q_1	Vazão de base
Q_2	Vazão superficial sem os pulsos
Q_3	Vazão total
V	Volume retirado ou lançado, em m^3
V_1	Volume do escoamento básico
V_2	Volume do escoamento superficial 1, Volume superficial que não computa o
V_3	Volume do escoamento superficial 2, parcelas dos pulsos de ascensões e
$W_{\psi(a,b)}(t)$	Função Transformada Wavelet Contínua (CWT)
$[L^2 R]$	Função quadraticamente integrável dentro de um intervalo real
a	Fator de escala
b	Fator de posição
f	Frequência
i	Parâmetro de dilatação e compressão da wavelet Morlet
t	Tempo
\bar{t}	Tempo
\bar{t}	Média
z_i	Anomalia
z_{BFI}	Anomalia do índice de escoamento de base
z_{IP}	Anomalia do índice de escoamento em pulsos
z_Q	Anomalia da vazão
z_P	Anomalia da precipitação
Δt	Intervalo de tempo
$\psi_a(t)$	Função Wavelet filha de escalonamento
$\psi_b(t)$	Função Wavelet filha de deslocamento
$\psi_{a,b}(t)$	Função Wavelet de escalonamento e deslocamento
ψ_0	Wavelet mãe
ψ_0^*	Wavelet mãe normalizada
η	Tempo na função wavelet Morlet, adimensional
$\sigma_{\Delta t}$	Desvio-padrão
ω	Parâmetro de frequência na wavelet Morlet adimensional

Lista de Siglas e Abreviaturas

AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba

ANA - Agência Nacional das Águas

ASUB - Projeto de Pesquisa: “Integração dos Instrumentos de Outorga, Enquadramento e Cobrança para a Gestão das Águas Subterrâneas”

BFI - Índice de escoamento de base

CERH - Conselho Estadual de Recursos Hídricos

CI - Cone de influência

CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

CT-HIDRO - Fundo Setorial de Recursos Hídricos

CWT - *Wavelet Continuous Transform*, Transformada Wavelet Contínua

FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IFIM - *Instream Flow Incremental Methodology*

IP – Índice de escoamento em pulsos

MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia

NEB - Região Nordeste do Brasil

PERH-PB - Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba

RMJP - Região Metropolitana de João Pessoa

RSBP - Região sedimentar do baixo curso do Rio Paraíba

SECTMA - Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente do estado da Paraíba

TF - Transformada de Fourier

TJF - Transformada Janelada de Fourier ou Transformada de Gabor

TO - Transformada de Onduleta

TW - Transformada de Wavelet

1 - INTRODUÇÃO

Diante dos frequentes conflitos que atualmente ocorrem no âmbito do uso dos recursos ambientais, seja por alterações naturais e/ou atividades antrópicas, está a necessidade do controle da água em sua quantidade e qualidade. Essa necessidade implica na responsabilidade da sustentabilidade dos corpos hídricos, em harmonia com a biota, proporcionando qualidade de vida para as gerações atuais e futuras.

Dentre os instrumentos de gestão da Política Nacional de Recursos Hídricos, a Lei nº 9.433 de 1997, confere a outorga dos direitos de uso da água e impõe limites ao usuário de água de determinada vazão nos reservatórios superficiais e/ou subterrâneos, haja vista que o somatório das vazões outorgadas não deverá afetar as quantidades limites que proporcionem as condições ecológicas naturais dos rios.

O presente trabalho foca a discussão no aspecto hidrológico (vazões), através da interpretação das limitações hídricas no regime do escoamento dos rios, ilustradas no hidrograma, que contempla todos os aspectos físicos de uma bacia hidrográfica numa seção fluvial. Tem-se assim, um forte auxílio na tomada de decisões em recursos hídricos oferecendo suporte à gestão hídrica e ambiental, como a outorga, a cobrança e o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes.

Utiliza-se da ferramenta matemática Transformada de Wavelet Contínua aplicada a informações pluviométricas e fluviométricas, para local os eventos expressivos de frequência em diferentes escalas temporais, de modo a diagnosticar periodicidades. Esse artifício matemático auxiliará a visão do comportamento fluvial, ilustrando de maneira mais ampla o domínio de escoamentos, apoiando as definições das vazões de outorga. Integra-se nessas aplicações o aspecto climatológico em duas vertentes, os fenômenos El Niño e La Niña, bem como a separação dos escoamentos e a subdivisão do hidrograma em três fases: ascensão, recessão inicial e escoamento de base.

A presente pesquisa teve apoio técnico, banco de dados, além de ambiente físico de trabalho, em grande parte dos anos, do Projeto de Pesquisa “Integração dos Instrumentos de Outorga, Enquadramento e Cobrança para a Gestão das Águas Subterrâneas” – ASUB, financiado pelo MCT/FINEP/CT-HIDRO, cujo objetivo geral é estabelecer critérios para a outorga dos direitos de uso da água, o enquadramento dos corpos d'água e a cobrança pelo uso da água de forma integrada com aplicação às águas subterrâneas da região costeira da Bacia hidrográfica do rio Paraíba/PB, Bacia hidrográfica do rio Pratagy/AL e a Bacia hidrográfica do rio Santa Maria/RS.

Para a área do subprojeto ASUB-PB, foram estabelecidos conceitos de níveis de abrangência (Costa, 2009), partindo-se do nível mais abrangente ao menos abrangente, em

três níveis: i) Global, que considera a bacia hidrográfica (unidade de gestão de recursos hídricos) como um todo, dentro de uma visão sistêmica e integradora do ciclo hidrológico – conferindo neste nível a questão da demanda ecológica/ambiental; ii) Regional, estabelecido a partir de zonas de recarga e descarga de água subterrânea, neste caso em regiões costeiras a demanda ecológica natural da bacia, estaria relacionada a possibilidade de ocorrência de intrusão salina e poluição e; iii) Local, mais relacionado a análise do efeito do bombeamento de poços e em áreas de sua proximidade.

Tomando-se o uso do hidrograma como sendo tipicamente de nível global/regional, foi considerado para este trabalho procedimentos como seguem: 1) a separação de outorgas de águas superficiais e subterrâneas, tendo em vista o período de captação, para a sazão de estiagem (domínio do escoamento de base), ser comumente avaliado como água superficial; 2) aspectos de mudanças climatológicas (notadamente “El Niño” e “La Niña”); 3) as vazões segundo os pulsos de ascensão e recessão 4) os períodos relacionados ao comportamento físico do escoamento.

Tal matriz de procedimentos segue informações geradas na Análise Wavelets nos sinais e anomalias de séries pluviométricas e de índices de escoamento (subterrâneo e pulsos), auxiliando a confecção do hidrograma que apoiará a tomada de decisões de gestão hídrica no domínio da escala e do tempo.

A hipótese básica deste estudo é que a separação dos escoamentos oferece maior precisão quantitativa dos aportes de água para a gestão dos recursos hídricos e ambientais. O objetivo geral desta pesquisa é propor a confecção de hidrogramas para períodos de El Niño e La Niña como ferramenta de apoio aos critérios de outorga dos direitos de uso da água na Região Sedimentar no Baixo curso do rio Paraíba (RSBP), enfocando os aportes superficial e subterrâneo do escoamento fluvial. Os objetivos específicos são:

- Definir os períodos de El Niño e La Niña dos dados fluviométricos;
- Separar os escoamentos de base e superficial direto;
- Separar as vazões de pulsos do escoamento superficial direto;
- Definir e determinar os índices de escoamentos;
- Aplicar a Transformada de Wavelet Contínua nos sinais de precipitação, vazão e índices de escoamentos;
- Confeccionar para o ano hidrológico, a partir das análises de Wavelets, os hidrogramas nos períodos de El Niño e La Niña.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Vazão fluvial: contexto ecológico e de gestão

2.1.1 - O fluxo de água e a ecologia dos rios

Para Eamus et al. (2006) eco-hidrologia é o estudo integrado da água e vegetação ripária, que requer informações ecofisiológicas, hidrológicas, geológicas e micrometeorológicas. Ao longo de todo o percurso do rio, diferentes sedimentos vegetais das zonas ribeirinhas fornecem nutrientes orgânicos, sendo fundamentais para os ecossistemas que sistematicamente alimentam o perímetro do canal fluvial da cabeceira à foz (Donald et al., 1998; Minshall e Rugenski, 2007). Os rios são ecossistemas abertos, interagindo atmosfera-água-terra, os componentes de entrada (vazão de entrada, escoamento lateral, precipitação e a contribuição aquífero-rio) e de saída (vazão escoada; evaporação, evapotranspiração e a recarga rio-aquífero), resumem as principais situações de movimento da água associado ao escoamento nos períodos chuvoso e seco.

Atentando-se as mudanças físicas, químicas e biológicas, processos hidrológicos e geomorfológicos, ocasionado por fenômenos naturais ou por intervenção humana (Petts 2000; Renschler et al., 2007; Brown e Pasternack, 2008; Hu et al., 2008), se destaca a importância das dimensões temporal e espacial (vertical, longitudinal e lateral). Como no conceito de “Domínio de Processos” de Montgomery (1999) que enfatiza aspectos físicos como clima, geologia, topografia, entre outros, determinantes nas características dos habitats, influenciando os processos dos ecossistemas ribeirinhos.

Outro conceito é o “Contínuo Fluvial” (Vannote et al., 1980), bastante citado na literatura eco-hidrológica para ecossistemas em movimento (Meyer, 2003; Ciesielka e Bailey, 2007; Gore, 2007; Jørgensen, 2007; Callanan et al., 2008; Boulton et al., 2008; Burcher, 2008), que considera dentre outros aspectos, a contínua mudança nas condições ambientais do fluxo de primeira ordem para ordens superiores. O conceito divide o rio em três regiões geomorfológicas distintas: região de nascente, com alta contribuição terrestre de sedimentos orgânicos; médio curso, estando mais relacionado com a produção de algas e plantas aquáticas; e proximidades da foz, com disposição à turbidez e carga elevada de sedimentos procedentes de montante. Essa última, a exemplo da região costeira, apresenta aspectos biológicos e físico-químicos bastante complexos (Hardisty, 2007) e vulnerabilidade aos efeitos das marés (Zedler, 2001), bem como nos estuários com os efeitos da sazonalidade e salinidade (Bruno et al. 2001, Miller e Ullman, 2004; Hays e Ulman, 2007).

A zona hiporreica, referente a interface onde ocorre a mistura da água superficial com as águas subterrâneas situada abaixo ou ao lado do canal fluvial (Alley et al., 2002; Mantha et al 2007), é de grande importância para o ciclo de energia, nutrientes, compostos orgânicos (McClain et al., 2003), desova e refúgio para certas espécies de peixes e enraizamento de plantas (Buss et al., 2009). Um bom exemplo da fauna abundante nessas zonas são os copépodes (Galassi, 2001; Reid, 2001, Humphreys, 2009), crustáceos que vivem nos diversos tipos de aquíferos e auxiliam a cadeia alimentar dos peixes ao longo do rio. Ressalta-se que o desenvolvimento e aplicação de metodologias sobre ressurgências (fluxo aquífero-rio) são bastante laborais, de difícil mensuração (Kalbus et al., 2006; Brodie et al., 2007; Cey et al., 2008; Luz et al., 2008; Rosenberry, 2008; Danielescu et al., 2009).

A significativa relação sazonal do rio com a ecologia pode ser observada em Postel e Richter (2003) que apresentam funções ecológicas (na fauna e flora ripárias) em diferentes níveis de vazões, discretizando em vazões baixas (fluxo basal) - nível de seca; vazões baixas – nível normal; vazões altas e; grandes inundações.

2.1.2 - A vazão ecológica

Cruz (2000) apud Cruz (2005) define a vazão ecológica como a 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 da flora e a taxa de perturbações necessárias à renovação e funcionamento dos ecossistemas, associados ao curso de água. Ou seja, é a vazão necessária para manter as funções que mantém o mosaico de biótopos que compõem o rio, nos seus leitos maiores e menores.

Para o caso do semiárido, Luz et al. (2007) destacam que “o conceito de vazão ecológica não pode ser plenamente aplicado a rios intermitentes devido às diferenças entre a natureza desses e as metodologias empregadas”.

Considerando o mosaico de manchas de habitats na heterogeneidade espacial ao longo do rio, bem como a heterogeneidade temporal como resposta do sistema ao regime de perturbações (Benda et al., 2004) pode-se definir a vazão ecológica como sendo o volume de água, ao longo das mudanças espaço-temporais, necessário à preservação dos ecossistemas relacionados com o corpo hídrico.

Alves e Bernardo (2000) e Tharme (1996) apud Cruz (2001), apresentam três métodos para a quantificação das vazões ecológicas: hidrológicos, baseados em registros de vazões, admitindo relação entre o regime natural de fluxo e sua ecologia, que são amplamente utilizados no Brasil, como Queiroz (2005) e Santos et al. (2006); hidráulicos, relacionado com

a morfologia e variáveis físicas hidráulicas do canal; e padrões de habitat, que considera os aspectos dos micro-habitats ao longo do curso d'água com as mudanças de descargas.

Collischonn et al. (2005) destacam a insuficiência do tradicional critério de vazão ecológica como um valor único. Afirmam ainda que os critérios de definição de vazão remanescente nos rios devem contemplar não apenas as situações de vazões mínimas durante os períodos de estiagem, mas também os outros períodos que caracterizam o regime hidrológico, como a discretização sazonal (Moliere et al., 2009). Davis e Hirj (2003), referindo-se à vazão ambiental e o comportamento no hidrograma destacam que o padrão de fluxo ao longo do tempo é tão importante quanto à quantidade total de água escoada.

Um método que utiliza informações hidráulicas e os padrões do habitat é o “Instream Flow Incremental Methodology – IFIM”. O IFIM exige uma gama de informações e tempo para coleta de dados (Benetti et al., 2003), estabelece cinco fases no seu emprego: identificação do problema; planejamento de estudo; implementação do estudo; análise de alternativas e resolução de problemas.

Cruz (2005) cita que os modelos para determinação da vazão ecológica atualmente utilizados, estão direcionados à visão praticada desde a década de 1950, pelo estabelecimento de vazões remanescentes mínimas. Os biólogos da década de 1970 e 1980 acreditavam que vazões elevadas em períodos de secas garantiriam melhor qualidade de vida aos peixes. Entretanto, na visão atual, observa-se que os modelos que se aproximam do regime de fluxo natural de um rio, garantem melhores condições de preservação para flora e fauna aquáticas (Chang et al., 2008, Sanderson et al., 2008; Deitch et al., 2009), pois vazões altas podem beneficiar determinada espécie, mas comprometer outras e vice-versa (King et al., 2008).

Para outros autores, a vazão ecológica infere/ também no aspecto social e econômico, a exemplo do semi-árido nordestino brasileiro, onde a necessidade hídrica está estritamente relacionada às comunidades ribeirinhas que utilizam a água como estratégia de sobrevivência, escavando “cacimbas” (poços amazonas rasos) no leito dos rios e levando animais às vegetações ripárias nos períodos de seca (Maltchik, 1999).

Davis e Hirj (2003) consideram um conceito mais amplo referindo-se aos usos humanos integrados às demandas ambientais, recebendo a denominação de vazão ambiental, onde se avalia e integra os interesses de todos os componentes do ecossistema. Medeiros, et al. (2006) utilizam o conceito de vazão ambiental, contemplando os usos múltiplos da água bem como o atendimento das demandas dos ecossistemas aquáticos e terrestres dependentes da sazonalidade hidrológica.

Observa-se que a grande maioria dos trabalhos pouco atenta para a relação das águas subterrâneas no sistema hidrológico dos rios, mesmo com o crescimento da exploração dessas

águas no mundo, uma atenção secundária tem sido dada em termos políticos e legais comparados com as águas superficiais (Eckstein e Eckstein, 2005). O “losing stream” e o “gaining stream” citado por Tood (1987), Feitosa (1997), Winter et al. (1998), Leap (1999), Fitts (2002), Pinder e Celia (2006), Brodie et al. (2007b) mostram as relações que abrangem os períodos de estiagens aos períodos de cheias, através do armazenamento e descarga nas margens ripárias. A carência de banco de dados (Smakhtin, 2001), as lacunas na compreensão dos processos que envolvem a referida interconexão, bem como a retirada de água sem gestão para as diversas demandas, podem comprometer de maneira irreversível o equilíbrio ambiental tendo em vista o importante papel hidrogeológico do sistema (Harvey et al., 2007).

2.1.3 - Águas outorgáveis e não outorgáveis frente ao potencial hídrico na bacia hidrográfica

A crescente necessidade do uso racional da água vem sendo fundamentalmente condicionada pelos fatores sócio-econômicos e alterações hidroclimatológicas no planeta (por causas naturais e/ou antropogênicas). As estimativas das quantidades hídricas para o atendimento das demandas de água estão limitadas principalmente às prioridades de provimento de água: o abastecimento humano e a vazão ambiental.

Albuquerque e Rêgo (1998) discretizam o ciclo hidrológico em várias fases, tais como proposto na Figura 1. Na figura observa-se o escoamento dos rios (saldo da precipitação menos as perdas pela evapotranspiração real) no sistema hidrográfico, subdividindo-se em superficial e de base, ambos participantes nas fases de recarga e descarga das águas nos aquíferos conexos.

Tais aquíferos são subdivididos: acima o freático ou livre; abaixo, o subsistema confinado, limitado por rochas semi-impermeáveis havendo a troca de fluxo conforme pressões hidráulicas entre as mesmas. Se o subsistema for litorâneo (ou costeiro), o escoamento poderá ocorrer diretamente ao mar ou através de fluxo sub-superficial. Os autores apresentam algumas definições para avaliação e gerenciamento conjunto de recursos hídricos superficiais e subterrâneos:

- O potencial: é definido como sendo a vazão de um rio ou aquífero, anualmente renovável. A mensuração do potencial dos recursos hídricos pode ser feita pela análise e quantificação de hidrogramas, através das áreas dos aportes superficial e subterrâneo. A soma dessas áreas se traduz no escoamento fluvial. Se o sistema aquífero sofre influência do mar, considera-se ainda a contribuição subsuperficial

do oceano considerando as Leis de Darcy, Conservação da Massa ou indiretamente, através de um Balanço Hídrico.

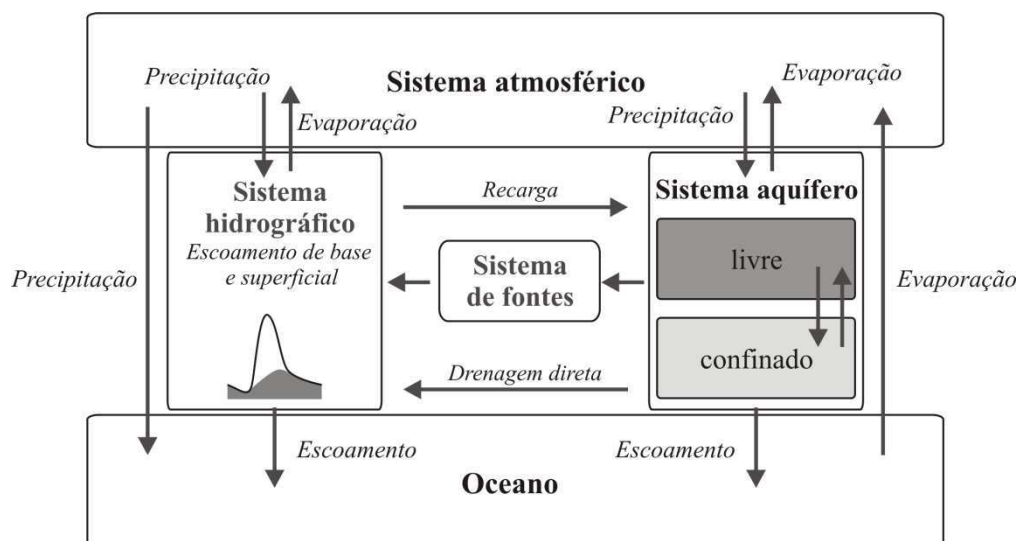


Figura 1: Alguns sistemas do ciclo hidrológico (adaptado de Albuquerque e Rêgo (1998)).

- As reservas: representam águas seculares - acumuladas em vazios entre os grãos dos minerais, não necessariamente são renováveis ao ano, estratigraficamente situam-se abaixo do potencial. Nesse sentido, se há exploração na reserva, por ausência de águas em níveis superiores, evidencia que o potencial já tinha se esgotado, carreando problemas hidro-ecológicos, geotécnicos, entre outros, de amplitudes até calamitosas, tais como: compactação de aquíferos, comprometimento de vegetação ripária e intrusão marinha.
- As disponibilidades: representam o volume de água efetivamente disponível em termos de qualidade e quantidade. É o potencial subtraído das perdas e quantidades hídricas ecológicas. Ela é dita máxima quando todo potencial máximo for convertido em disponibilidade e atual quando corresponder à capacidade de regularização da bacia frente às demandas existentes.

Diante do potencial hídrico de uma bacia hidrográfica, retirando-se as perdas do sistema e as quantidades hídricas associadas à preservação ambiental, a disponibilidade máxima de água seria destinada às demandas outorgadas e isentas de outorga, priorizando-se o abastecimento humano dentre aos demais tipos usos.

Atenta-se que a Lei 9.433/97 (Política Nacional de Recursos Hídricos), no Art. 12º (§ 1º), destaca que não estão sujeitos à outorga casos como “derivações, captações, acumulações de volumes e lançamentos considerados insignificantes”. No entanto o somatório dessas

vazões “insignificantes” pode representar parte expressiva dos recursos hídricos do sistema, condicionando redução mais acelerada da disponibilidade hídrica atual que “mascara” o real somatório demandado do sistema hídrico da bacia hidrográfica.

A Figura 2 mostra as principais subdivisões hídricas no processo de outorga quantitativa, relacionando a facilidade e preferência de acesso às águas em suas ocorrências, superficial e subterrânea: (a) as prioridades de uso, através da vazão ambiental e o abastecimento humano; disponibilidades, com demandas que comumente apresentam-se crescentes; e (b) os aportes superficial e subterrâneo, onde se primazia o uso das águas superficiais (renováveis em maior frequência) frente às subterrâneas (de cunho estratégico).

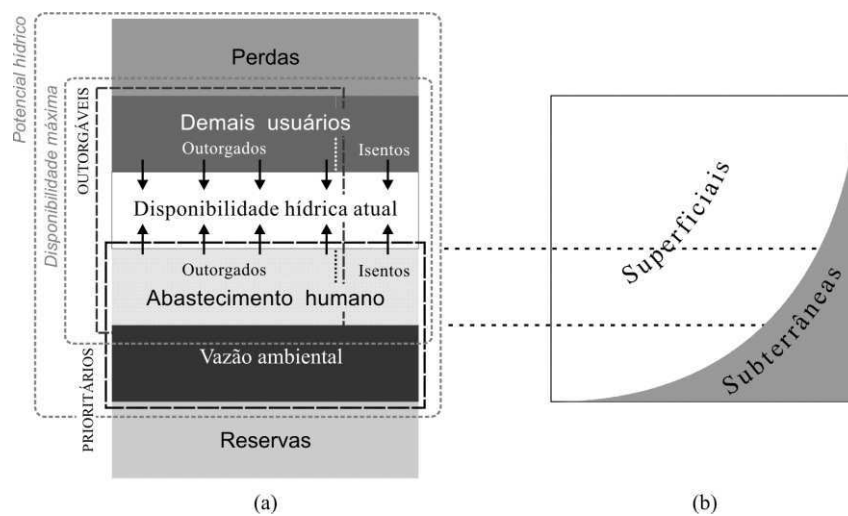


Figura 2: Principais subdivisões consideradas no processo de outorga do direito de uso da água: (a) aportes prioritários, com a vazão ambiental e a quantidade de água sujeita à outorga; Potencialidade e disponibilidade hídrica, enfatizando o crescente aumento das demandas (outorgadas e isentas de outorga) frente à quantidade hídrica disponível; (b) condição ideal da retirada da água bruta onde se primazia o uso das águas superficiais às subterrâneas. (autoria própria)

A falta de gestão dos recursos hídricos inibe melhorias sociais e econômicas, afetando direta e indiretamente o meio ambiente. Em muitos os casos, torna-se bastante complexo propor medidas que garantam o atendimento das demandas aos diversos tipos de usuários. Na região semiárida, frequentemente ocorrem secas severas e ainda são utilizadas “soluções” emergenciais e remediadoras, tipo carros pipas e programas de benefício financeiros às famílias de baixa renda. Já no litoral, a exploração de águas subterrâneas em zonas urbanas costeiras funciona em paralelo ao sistema de abastecimento público alimentado por mananciais superficiais, cujo excesso pode ultrapassar a recarga natural anualmente renovável, favorecendo a intrusão salina e desequilibrando o meio ambiente na região estuária (ASUB, 2010).

2.1.4 – Outorga, cobrança e enquadramento, instrumentos correlacionados

A separação dos escoamentos ao longo do ano hidrológico, além de apoiar a outorga dos direitos de uso da água (instrumento de caráter regulatório) na quantificação do potencial dos recursos hídricos, condicionará significativas informações aos demais instrumentos de gestão, como no caso da cobrança que é de caráter econômico e o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes, fundamental para a integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental.

Os estudos de cobrança pelo uso da água seriam auxiliados pelos dados do comportamento quantitativo na escala temporal, na valoração das águas em função dos aspectos sazonais, no domínio ou escassez dos aportes superficiais ou subterrâneos.

De maneira geral, as formulações de valoração dos recursos hídricos tem duas vertentes principais: os modelos de caráter econômico e os arrecadatórios. Os modelos arrecadatórios, também conhecidos como *ad hoc*, são os mais utilizados em bacias estaduais e federais do Brasil (Ribeiro e Lanna, 2001; Silva Júnior e Diniz, 2003; Magalhães et al., 2003; Macêdo et al., 2005, Forgiarini, 2008). Na formulação desses modelos é usado o produto do volume de água retirado e/ou lançado em um dado período, pelo seu respectivo preço público unitário, ponderados por um ou mais coeficientes que associam fatores externos, como tipo de uso e usuário de água, condições físicas da região, fatores sociais, sazonalidade, enquadramento dos corpos d'água, etc.

Uma das grandes dificuldades da valoração dos recursos hídricos é que não existe mercados de água. Nesse sentido, fica forte a incorporação das metodologias e fundamentos da economia na atribuição do valor da água. Os modelos de caráter econômico incorporaram fatores subjetivos, em função dos princípios da teoria econômica, como cita Damásio (2004): eficiência econômica; eficiência distributiva ou equidade; recuperação dos custos e auto-sustentabilidade financeira. O mesmo autor apresenta várias metodologias de caráter econômico, como método da Demanda “Tudo ou Nada”, método de Demanda Contingente (Tavares et al., 1999), metodologias de preço igual ao Custo Marginal, e a Política de Preços Ótimos.

Partindo-se da ótica neoclássica, relacionando um preço associado a uma demanda (Carrera-Fernandez, 1997), um capítulo interessante na valoração dos recursos hídricos, segundo a ótica econômica, é a confecção das curvas de demanda por água. Essas curvas são pares ordenados de demanda *versus* preço que ilustram o comportamento do usuário segundo determinado aumento ou redução no valor do metro cúbico de água consumido. Em uma característica da relação *oferta e demanda* quanto mais alto o valor de um bem menor será o consumo, podendo esse ser moderadamente ou significativamente reduzido (ou até

aumentado), e para medir essa susceptibilidade a ciência econômica utiliza o conceito de elasticidade-preço da demanda (Mayer et al., 2004), que possibilitará a verificação quanto, em termos proporcionais (percentuais), o usuário reduzirá sua demanda diante de um eventual aumento de preço (Hall e Lieberman, 2003; McKenzie e Lee, 2006).

Referente ao enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes, a Resolução nº 91 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos de 5 de novembro de 2008 (CNRH, 2008) destaca que tal instrumento de gestão de recursos hídricos pertence a esfera do planejamento, “que se expressa por meio do estabelecimento de metas intermediárias e final a serem alcançadas, devendo levar em conta a integração da gestão das águas superficiais e subterrâneas”. Na elaboração de Plano de Recursos Hídricos da bacia hidrográfica, aspectos como diagnóstico (Art. 4º) e o prognóstico (Art. 5º), principalmente quando se refere à potencialidade, disponibilidade e demanda de água, estão significativamente relacionados ao conceito do hidrograma proposto nesta pesquisa.

Assim sendo incorporação da separação dos escoamentos como subsídio aos critérios de outorga condicionará aos instrumentos da cobrança (tanto na vertente econômica, nas simulações de curvas de demanda, como na vertente arrecadatória, nos coeficientes de ponderação) e do enquadramento (como nas etapas de diagnóstico e prognóstico), informações que auxiliarão a tomada de decisões para a gestão dos recursos hídricos com a gestão ambiental.

2.2 - A escala espaço-temporal e a variabilidade hidrológica

Para diferentes referenciais de observação, considerando os processos do ciclo hidrológico, uma área de estudo pode ser vista sob vários aspectos (Carlisle et al., 2009), desde escalas globais, como a bacia hidrográfica e sistemas aquíferos; passando a modelos regionais, como áreas que subdividem a bacia ou sub-bacias, segundo critérios específicos; e considerações locais, como poço ou uma micro-bacia industrial/rural, tomada a fio d’água, etc). Há casos ainda da análise em duas ou mais amplitudes, como no da troca de fluxo de águas superficiais e subterrâneas (Dahl et al., 2007); que podem ser consideradas em escalas globais, regionais ou locais, relacionado entre si por meio de diferentes fenômenos e interagindo de forma sistêmica em um único grande ciclo (Silva, 2007).

Na mesma ótica, a análise mensal descreve as sazões. Por exemplo, essa escala poderia ser contextualizada com dados diários, através de pulsos de vazões, cujo “refinamento” estaria ligado a um interesse particular, como no comportamento dos habitats em determinado período do ano.

Essas considerações bem como o tamanho e qualidade do banco de dados (Wendland et al., 2007) facilita bastante a confecção de modelos e seus níveis de gerenciamento, proporcionando melhores resultados que podem apoiar as tomadas de decisões dos gestores de recursos hídricos.

2.2.1 - O hidrograma discretizado

O hidrograma contempla todo o desempenho hídrico da bacia, suas subdivisões retratam o comportamento da água no rio volumetricamente com o tempo e representa informação de grande utilidade para o planejamento dos recursos hídricos.

A separação dos componentes do hidrograma sempre tem sido um desafio na hidrologia (Nathan e McMahon, 1990, Ferraz e Mortatti, 2003; Chen et al., 2006, Han e Hammond, 2006; Jemcov e Petric, 2009).

Tucci (1993) cita a divisão do hidrograma composta por três componentes principais: a curva de ascensão, região de pico e o ramo de recessão. Esse último reflete a contribuição das fontes subterrâneas de água nos períodos de estiagem (Zekai Şen, 2008), de comportamento bem mais complexo (Tallaksen, 1995) e dependente das variáveis do sistema (Aksoy, 2003).

Jain e Srinivasulu (2006) apresentam divisões mais discretizadas para o hidrograma com ascendência em duas partes: segmento inicial e outro próximo ao pico sob maior influência do fluxo superficial, destacando-se que os processos físicos ocorrentes no primeiro são bastante diferenciados do segundo. O ramo cadente em três partes: parte inicial nas proximidades do pico, parte mediana, influenciado pelo escoamento subsuperficial e o segmento final (escoamento de base). Esse último em terrenos mais permeáveis, com grande porcentagem do escoamento total (Hiscock, 2005) e com gradiente mais suave (Poehls e Smith, 2009).

A Figura 3a resume a separação do hidrograma, adaptado de Shaw (2005), integradas às subdivisões citadas por Jain e Srinivasulu (2006), onde se destacam: o limite entre o escoamento de superfície e o de base (curva a) ao longo das sazões - de comportamento complexo bastante e dependente da estrutura geológica e da cobertura superficial da bacia; e um método de traçado simples bb' , também citado em Tucci (2003). O ponto (b') no início da curva do fluxo de base é tipicamente exponencial. A Figura 3b destaca os limites e amplitudes de vazões (Q) frente ao comportamento físico do escoamento fluvial discretizado na escala temporal (t), com recessão em duas partes (Aksoy, 2003).

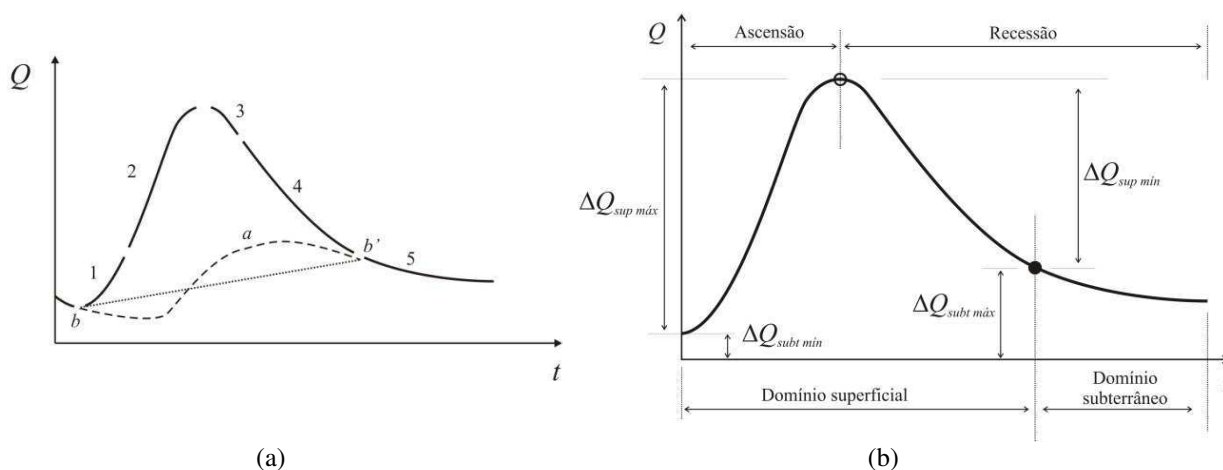


Figura 3: (a) Subdivisão do hidrograma (Jain e Srinivasulu, 2006), com separação do escoamento de base (adaptado de Shaw(2005)). Traçado bb' , uma das propostas em Tucci (2003); (b) Hidrograma com limites e amplitudes de vazões frente ao comportamento físico do escoamento fluvial discretizado na escala temporal (autoria própria)

2.2.2 - O hidrograma no auxílio à definição da vazão ambiental

Poff et al. (1997) citam que a variabilidade hidrológica é influenciada pela magnitude, duração, frequência e época de ocorrência de vazões mínimas e máximas (Jacobson e Galat, 2006; Neubauer et al., 2008; Masih et al., 2009; Gao et al., 2009; Wen, 2009; Zeilhofer e Moura, 2009), ilustrativamente observada em Bunn e Arthington (2002), (Tucci, 2009, Naiman et al., 2008). Na ilustração se destacam quatro princípios sob influencia do regime natural de vazões na biodiversidade ripária, através de vários mecanismos relacionados no tempo e no espaço, resumidamente expressos em um hidrograma. Nessa ilustração são enfatizadas ainda: as relações entre a diversidade ecológica e fluxo do canal, através das mudanças geomorfológicas pelas grandes vazões; a variabilidade hidrológica sazonal, as trocas de fluxo vertical e lateral no escoamento, onde ressalta-se, mais uma vez, as supracitadas fases na relação rio aquífero e aquífero- rio; e as alterações no regime natural do fluxo quanto as espécies invasivas.

Atenta-se para necessidade de se conservar os níveis mínimos de fluxo de base (Weber e Perry, 2006; Deitch et al., 2009; Deitch et al., 2009b), especialmente nas secas prolongadas, considerando as prioridades ecológicas, o comportamento do fluxo e a limitação/interrupção para exploração de água.

Heicher (1993) citado por Smakhtin (2001) relatou vários efeitos ambientais causados pela redução no escoamento de base: aumento da sedimentação, alterando a morfologia do canal; distribuição da biota, aumento da temperatura e penetração dos raios de sol, mudanças na densidade, produtividade, e composição de espécies.

A Figura 4 mostra alguns aspectos para a confecção do hidrograma ambiental e o comportamento hídrico no contexto ecológico. Apresenta uma bacia fictícia, com pontos de

controle sequencialmente distribuídos e respectivas seções fluviométricas com seus comportamentos hídricos no tempo e espaço. Apresenta também as subdivisões do hidrograma, destacando o seccionamento das etapas do escoamento, sugerindo a outorga dos recursos hídricos (discretizada em águas superficiais e subterrâneas). Enfatiza-se também a relevância de conflitos de uso em períodos de escassez hídrica. O limite mínimo do escoamento ambiental equivale “à média das vazões mínimas de cursos d’água perenes, capaz de assegurar a continuidade do regime da rede hidrográfica e, por conseguinte, da vida vegetal e animal dela dependente” (Costa et al., 2007).

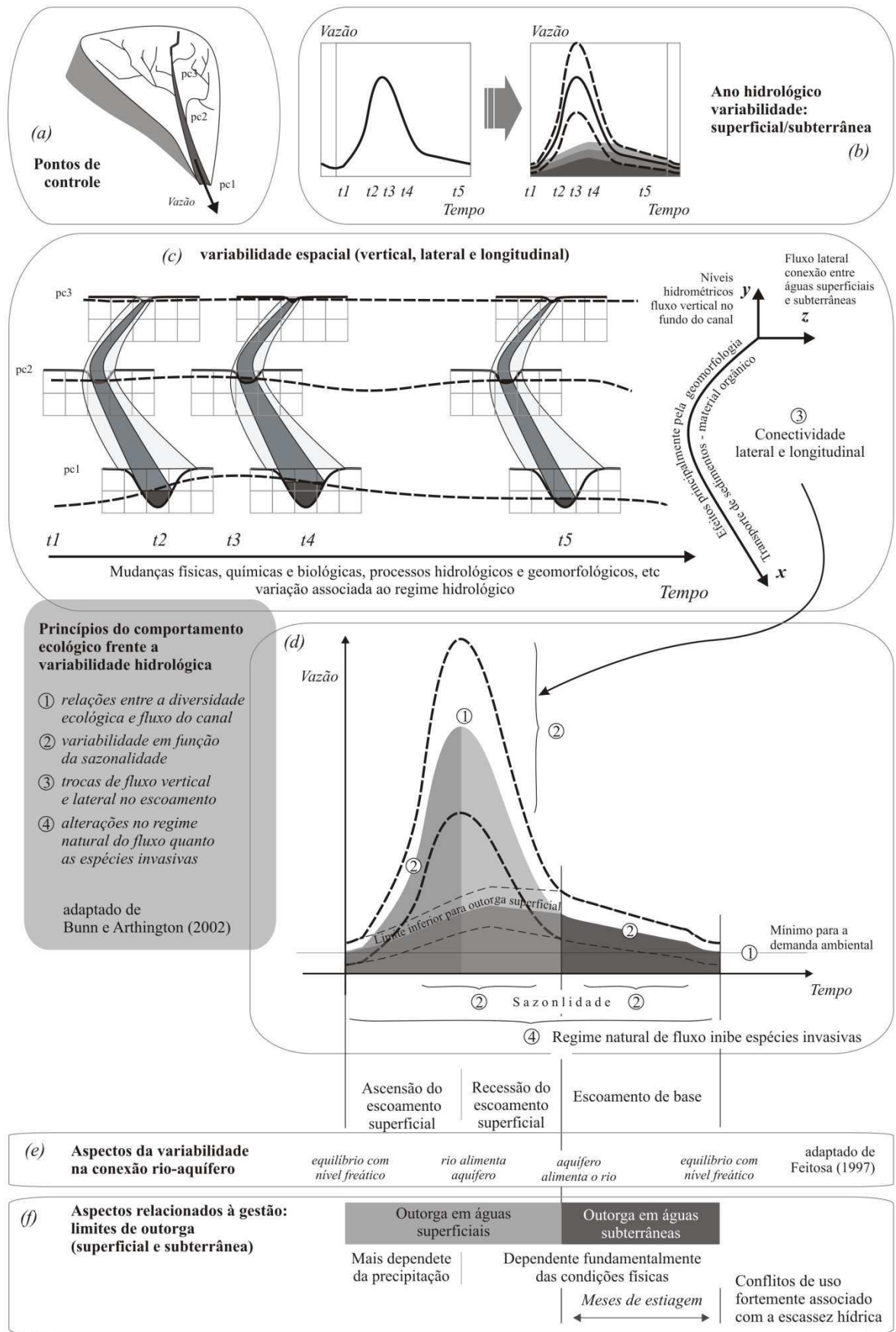


Figura 4: Alguns aspectos para a confecção do hidrograma ambiental e o comportamento hídrico no contexto ecológico: (a) Pontos de controle; (b) Variabilidade superficial/subterrânea; (c) Variabilidade espacial; (d) Princípios do comportamento ecológico; (e) conexão rio-aquífero e (f) aspectos de gestão. (autoria própria).

2.3 - Análise espectral em séries temporais

Na análise espectral do conjunto de observações de processos e regimes não-lineares de uma variável disposta sequencialmente no tempo – série temporal (Oliveira e Favero, 2002), com características estacionária ou não-estacionária, normalmente são cotejados aspectos como: tendência, ciclo, sazonalidade e variações aleatórias.

Dentre várias técnicas disponíveis, a Análise de Fourier (Jean Baptiste Joseph Fourier, no trabalho *Thèorie Analitique de la Chaleur*, publicado em 1822 (Oliveira, 2002)) é a precursora e continua sendo uma das mais populares. Essa técnica utiliza-se de séries trigonométricas senos e cossenos (Bolzan, 2004).

A Transformada de Fourier (TF) faz a associação entre a função do sinal analisado e as diferentes frequências contidas na série (coeficientes da análise de Fourier). Nesse caso faz-se o uso de funções que se adaptam bem aos sinais estacionários, cujo espectro não varia ao longo do tempo, características de energia infinita, cuja localização temporal é perdida no espectro, não sendo de particular interesse porque a média e a variância não se alteram ao longo do tempo (Massei et al. 2006).

No caso dos sinais não-estacionários, foi desenvolvida a técnica da Transformada Janelada de Fourier (TJF), ou Transformada de Gabor ou Transformada de Fourier de Tempo Curto. (Gabor, 1946). Separando a série em partes iguais e aplicando a TF nesses trechos é possível observar a frequência em cada segmento, proporcionando grande avanço no caso da série não-estacionária. No entanto, ainda havia dificuldades quando se necessitava analisar diferentes frequências de um sinal concomitantemente com relação à sua localização temporal (Bolzan, 2006).

A técnica denominada Transformada de Wavelet (TW) ou Transformada de Ondaleta (TO) é considerada um avanço no processamento de sinais e tem atraído a atenção em vários setores da ciência, haja vista que representa uma alternativa apropriada para analisar eventos irregularmente distribuídos e séries temporais que contêm potência não-estacionária em diferentes frequências (Ideião et al., 2006). É uma ferramenta bem mais potente e não se restringe às funções de durações/energias infinitas (característica de funções periódicas), pois incorporam uma onda de “pacote” com determinado período finito em extensão (retratando a maioria do comportamento dos sinais na natureza), como função de janela para a análise da variância.

2.3.1 - Wavelets – funções oscilantes

A maioria dos sinais na natureza apresenta comportamento não-estacionário, a exemplo dos sinais sísmicos em estudos de exploração de petróleo, cuja análise, tem

compelido o geofísico Francês Jean Morlet e outros, no início da década de 1980 (Morlet et al., 1982; Morlet et al., 1982b; Morlet, 1983; Grossmann e Morlet, 1984; Goupillaud et al., 1984), a desenvolverem funções básicas a fim de aproximar/representar o sinal natural (função original) por uma combinação linear, contemplando tempo e frequência na decomposição do sinal, por meio de escalas, através da dilatação/compressão e translação de uma dada função original (Castro, 2007).

Grossmann e Morlet fizeram o uso do termo francês “ondelette”, que denota o diminutivo da palavra onda, ou seja, “pequena onda”, em inglês “wavelet” (Barbosa e Blitzkow, 2008). As wavelets são funções que separam os dados segundo componentes de frequência diferentes e em seguida analisa cada componente com uma resolução adequada à sua escala (Graps, 1995). Tal processo de translação é chamado de deslocamento, já o de dilatação ou compressão é chamado escalonamento. As altas escalas correspondem a uma visão global do sistema, enquanto que as baixas escalas correspondem a uma visão mais detalhada (Oliveira, 2002, Hsu e Li, 2010).

A relação entre essas funções e o sinal da série temporal é chamada Transformada de Wavelet, e tem duas versões: a discreta e a contínua. Nessa primeira, os parâmetros de “aproximação” da onda variam discretamente no domínio do tempo, já na segunda, tais parâmetros variam continuamente. Em geral a transformada discreta é usada na compressão de dados (Sanches, 2001), bastante aplicada em computação, para a redução de redundâncias/perdas, e a contínua é usada na análise de sinais. Essa última variante será empregada nesta pesquisa.

Benedetto (1999) destaca os fundamentos matemáticos na análise de sinais através das wavelets, cita além de Morlet, Haar (1909), Gabor (1946), Mallat (1989), Meyer (1990), Daubechies (1992), Daubechies e Sweldons (1998), entre outros. Um breve histórico nesse tema é apresentado por Vivas (2010). Morettin (1999) enfatiza Meyer (1993) como referência para uma retrospectiva desde os primórdios clássicos.

Essa ferramenta vem sendo crescentemente empregada. Atualmente já existe uma vasta literatura em diversas áreas do conhecimento: geofísica (Soares, 2007); saúde (Rees et al., 2008); mecânica (Joseph e Minh-Nghi, 2005); climatologia (Ramírez et al. 1999; Torrence e Webster, 1999; Gerólamo e Kayano, 2010; Da Silva et al., 2010), sensoriamento remoto (Leão, 2008), geologia (Ebrahimi e Sahimi, 2004); micrometeorologia (Martins et al. 2009), oceanografia (Krieger e Polito, 2009), agricultura (Singh et al., 2010); qualidade de água (Milne et al., 2009); e hidrologia (Sá et al., 1998; Chou e Wang, 2004; Labat et al., 2005; Kang e Lin, 2007; Labat, 2008; Kişi, 2009a; Kişi, 2009b; Melesse et al., 2009; Remesan et al., 2009; Salerno e Tartari, 2009; Tang e Piechota, 2009; Keener et al., 2010; Kişi, 2010).

2.3.2 - Transformada de Wavelet Contínua

A Transformada Wavelet Contínua (CWT - Wavelet Continuous Transform) foi desenvolvida como uma alternativa à Transformada de Fourier (Silva et al., 2005). A técnica é capaz de mostrar aspectos esclarecedores como tendências e descontinuidades que em outras técnicas poderiam passar despercebidas (Silva et al., 2003; Adamowski e Sun, 2010). Nela é possível se obter informações da amplitude de quaisquer sinais periódicos dentro da série, bem como informações de como essa amplitude varia com o tempo (Ideião et al., 2006).

A CWT é usada para decompor sinais com base em funções de onda de comprimento finito, localizados na escala temporal para diferentes escalas de frequência (Massei et al., 2006). A tarefa é efetuada de maneira similar à Transformada de Fourier, multiplicando o sinal da série temporal por uma função mãe (wavelet mãe ou wavelet base) em segmentos diferenciados no domínio do tempo. Ao contrário da proposta por Gabor, na TJF, que se “prende”, por exemplo, à ondas de alta frequência em determinado sinal. Nessa mesma janela pode haver, parte de uma onda ou outras ondas com baixa frequência. Trigo et al. (1999), Labat (2005) e Rivera (2007) fazem breve comparativo nesse contexto.

A wavelet mãe é uma função que permite ações de outras funções, chamadas de wavelets filhas (Chierice Junior et al. 2008; Izadifar, 2010). Através de convolução, operador que, a partir de duas funções, produz uma terceira (Carlson, 1994; Tang, 2007; Hennessy, 2011) para condicionar ajustes/aproximação da wavelet ao sinal da série temporal analisada, através de deslocamentos e mudanças no tamanho da escala. Essa última é alterada com o “alargamento” ou “estreitamento” da wavelet base.

A wavelet mãe ($\psi_0(t)$) é uma função (“pacote” de ondas) de pequena duração e energia finita, com frequência específica e forma inalterada. Apresenta as características específicas: é quadraticamente integrável, dentro de um intervalo real, ou espaço $[L^2 \mathbb{R}]$, ou seja, tem integral zero (Equação 1) cuja área sob seu gráfico é nula, condição de admissibilidade; e tem energia unitária (Equação 2), possui suporte compacto e um decaimento de amplitude rápido (Bueno et al., 2008).

(1)

(2)

Oliveira (2002) cita várias wavelets mães, dentre elas: Morlet, Haar, Mexican (“chapéu mexicano”), Daubechies, Symlets, Coiflets, Biorthogonal, Meyer, Gaussian, Complex Gaussian e Shannon. Normalmente as três primeiras são as mais empregadas (Izadifar, 2010).

Torrence e Compo (1998) em sua metodologia conceituada e os autores (Labat et al., 2001; Santos et al., 2001; Chou e Wang, 2004; Labat, 2005; Markovic e Koch, 2006, Kang e Lin, 2007; Santos e Morais, 2008) ao aplicarem várias wavelets base (inclusive a Morlet), destacam que a escolha da wavelet mãe é arbitrária, mas de forma geral, deve possuir características semelhantes àquelas do sinal analisado.

A wavelet Morlet proposta por Goupillaud et al. (1984) (Henriques, 2008), apresenta as melhores propriedades de preenchimento do plano tempo-frequência com relação a todas as wavelets contínuas (Oliveira, 2007). Bastante empregada na análise de wavelets (Domingues et al., 2005; Bjerckås et al. 2007, WenRong et al., 2007; Li et al., 2009; Liu et al., 2009; Labat, 2010; Martin, 2010; Özger et al., 2010; Liu et al., 2011), é representada pelo produto de uma onda exponencial complexa, que apresenta alta frequência, em um envelope gaussiano, que apresenta baixa frequência (Equação 3). Ou seja, ondas Morlet apresentam alta frequência e as gaussianas de baixa frequência. Na alteração da escala, que é a alteração da largura, modifica-se o tipo da onda para Morlet ou Gaussiana (Da Silva, 2009, Martin, 2010):

$$\text{---} \tag{3}$$

Em que:

i = parâmetro de dilatação e compressão da wavelet

ω_0 = parâmetro de frequência adimensional

η = tempo adimensional

O parâmetro de frequência (ω_0) é o valor que determina a forma do sinal modulador da wavelet mãe, associado ao número de oscilações de onda (Massei et al., 2006). Torrece e Compo (1998) afirmam que na frequência (ω_0) = 6, os erros devido às médias diferentes de zero são menores do que os erros típicos de arredondamento.

De maneira similar à Transformada de Fourier (Equação 4), a Transformada Wavelet Contínua é uma representação da soma sobre todo o intervalo de tempo do sinal, multiplicado por versões escalonadas e posicionadas da função wavelet (Moutinho et al., 2003, Rocha, 2008; Almeida, 2010), através do operador de convolução (Sá et al., 1995, Mwale, 2007).

Em que:

$f(t)$ = série temporal ou sinal analisado

= frequência de cada componente oscilatória inerente ao sinal

O processo de convolução compreende as operações (Oliveira, 2007) das chamadas wavelets filhas para condicionar à wavelet mãe, $\psi_0(t)$:

- O escalonamento com o aumento ou redução do fator “a” na função $\psi_a(t)$, Equação 5, na contração ($a < 1$) ou dilatação ($a > 1$);
- O deslocamento, também denominada translação, alterando-se o fator “b” na função $\psi_b(t)$, Equação 6;
- Ambos, escalonamento e deslocamento, função $\psi_{a,b}(t)$, através da Equação 7.

Dada uma série temporal $f(t)$, $t=1, \dots, N$, com períodos de tempo constantes dt , define-se a Transformada Wavelet Contínua (CWT), representada pela Equação 8, como a convolução de $f(t)$, com o complexo conjugado (*) da wavelet mãe ψ_0 . Ao se escalonar e deslocar, tem-se a wavelet mãe normalizada ψ_0^* .

A Análise de Wavelet é feita pela aplicação sucessiva da transformada supracitada para diversos valores de a e b .

$$\text{---} \quad \text{---} \quad (5)$$

$$(6)$$

$$\text{---} \quad \text{---} \quad (7)$$

$$\text{---} \quad \text{---} \quad (8)$$

Em que:

$f(t)$ = série temporal ou sinal analisado

a = fator de escala

b = fator de posição

– = constante de normalização de energia

Análise em escalogramas - representações de escala vs tempo

A distribuição tempo-frequência, se adequadamente representada, pode mostrar o caminho em que se distribui a energia do sinal no espaço bidimensional, podendo se tirar

proveito dos recursos produzidos pela concentração de energia em duas dimensões, tempo (t) e frequência (f) (Boashash, 2003; Manrique, 2009).

Assim sendo, produz-se um sinal em diferentes níveis de resolução (Ding et al., 2011), que fornece uma moldura hierárquica simples para interpretação de informações da densidade de energia do sinal (Holanda et al. 2006). No caso de sinais estacionários, na Análise de Fourier, usa-se a densidade espectral de energia em função da frequência, chamado de espectrograma no plano tempo *versus* frequência, que é um gráfico em diferentes cores ou tonalidades para indicar a densidade de energia, formando uma imagem. Cada cor/tonalidade corresponde a um nível, geralmente as cores frias estão associadas aos menores coeficientes e as cores quentes aos maiores (Chierice Júnior, 2008), ou vice-versa, conforme interesse do pesquisador.

Uma visão nesse contexto, mais “dinâmica”, com a densidade espectral de energia variante no tempo, é a representação dos sinais não-estacionários através de diagramas em wavelets, sendo o “espectrograma” agora denominado escalograma.

O escalograma é um gráfico, também com intensidade de cores, em forma planar, que mostra o espectro do sinal não mais no tempo *versus* frequência, mas sim no domínio da escala *versus* deslocamento. O resultado da convolução produz uma matriz de coeficientes de onda em função da escala e posição. Tem-se assim o espectro de energia, cuja distribuição espacial informa o espectro de coeficientes wavelet, que são os componentes em diferentes escalas temporais (Silva et al., 2003). A Figura 5 mostra um escalograma de análise do sinal em transformada wavelet (a), em auto-relevo (b) e em três dimensões (c).

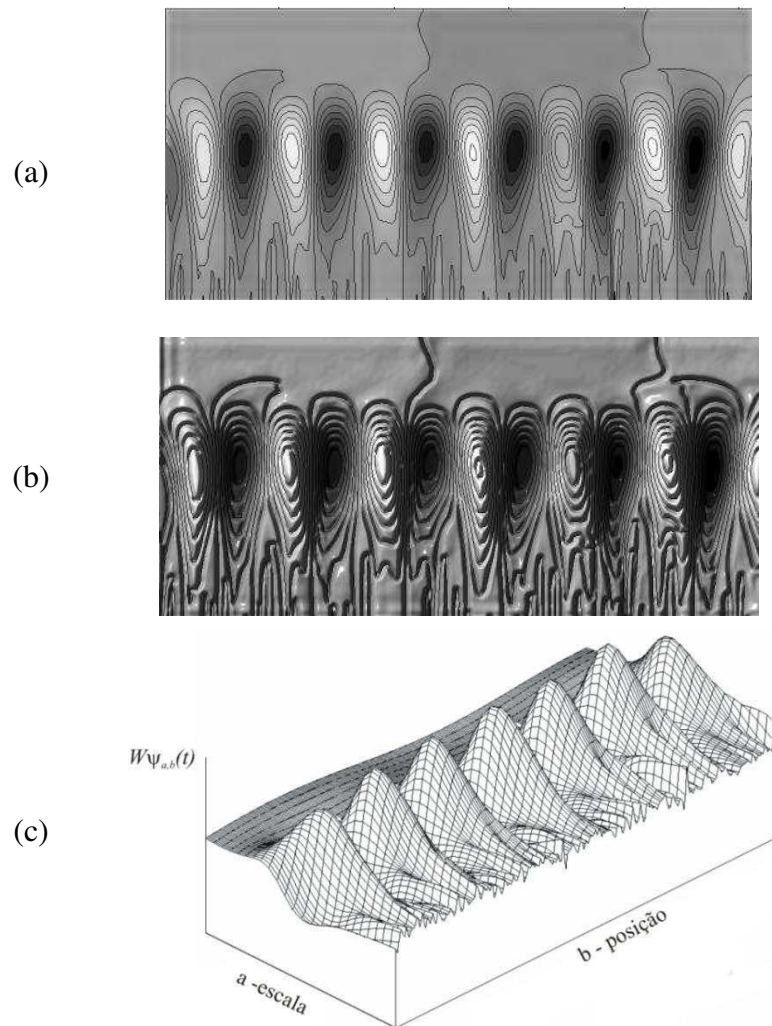


Figura 5: Ilustração da wavelet contínua: a) espectro de wavelet no plano (escala versus posição); b) em alto relevo; c) visão tridimensional do espectro; (adaptado de Addison, (2002))

2.3.3 - Princípio da incerteza de Heisenberg

Observa-se que na análise de frequências mais altas, menores comprimentos de onda, tem-se janelas mais comprimidas/estritas e de curta duração, uma visão mais localizada, “captando” situações que numa visão global não daria para se “detectar” na série temporal. Por outro lado, em frequências mais baixas, maiores comprimentos de onda, tem-se janelas mais dilatadas/largas que localizam o sinal numa escala maior, ou seja, uma visão menos detalhada, que contempla características gerais do sinal (Vivas, 2010).

A análise em frequências mais altas é melhor observada no domínio do tempo, já em frequências mais baixas é melhor detectada no domínio da frequência. Segundo Polikar (2001) um sinal de alta frequência é melhor “enxergado” no domínio temporal e com menor erro relativo do que o de baixa frequência. Tal fato é consequência do Princípio da Incerteza de Heisenberg (Gabor, 1946), onde nem tempo e nem frequência podem ser simultaneamente definidos de forma exata num sinal (Oliveira, 2007; Addison, 2002, Keller, 2004).

3. METODOLOGIA

Diante do capítulo Revisão Bibliográfica, alguns aspectos relevantes são destacados, como:

- Uso de técnicas de análise de sinais para detectar periodicidades de fluxo e pulsos de vazões com o objetivo de regularizar a heterogeneidade espaço-temporal do rio (Cruz, 2005);
- Importância dos padrões de fluxo frente aos aspectos quantitativos de água (Davis e Hirj, 2003);
- A exploração da água fluvial que em períodos de estiagem é tratada como fluxo superficial;
- Discretização do hidrograma na escala temporal/sazonal e do sistema fluvial para quantificar os potenciais subterrâneo e superficial.

Em vista dessas considerações, a metodologia subsidia a outorga dos direitos de uso da água, em função da confecção do hidrograma com o traçado de limites, onde se destacam:

- A separação dos escoamentos em fluxo de base e escoamento superficial direto, este último subdividido em dois aportes pelo traçado dos pulsos de alta frequência.
- A escala temporal, com a sazonalidade e aspectos físicos do sistema, na subdivisão de regiões de pico, ascensão e recessão (Jain e Srinivasulu, 2006) (Figura 3a).
- Uso conjunto da discretização dos escoamentos, considerando o fator climático (períodos de El Niño e La Niña)
- O uso da Transformada de Wavelet nas séries hidrológicas, na busca de periodicidades, principalmente no auxílio em alguns aspectos citados por Bunn e Arthington (2002) como a variabilidade hidrológica. Também, em conjunto com o comportamento sazonal, como citado por Feitosa (1997), no auxílio aos aspectos ambientais (trocas de fluxos em regiões ripárias) e de gestão.

Configura-se assim o comportamento do potencial dos recursos hídricos em seus aportes superficial e subterrâneo, dando suporte à aplicação dos demais instrumentos de gestão da Política Nacional de Recursos Hídricos. A Figura 6 mostra as principais etapas da metodologia, do banco de dados à concepção dos resultados, o hidrograma e suas subdivisões como critério de outorga.

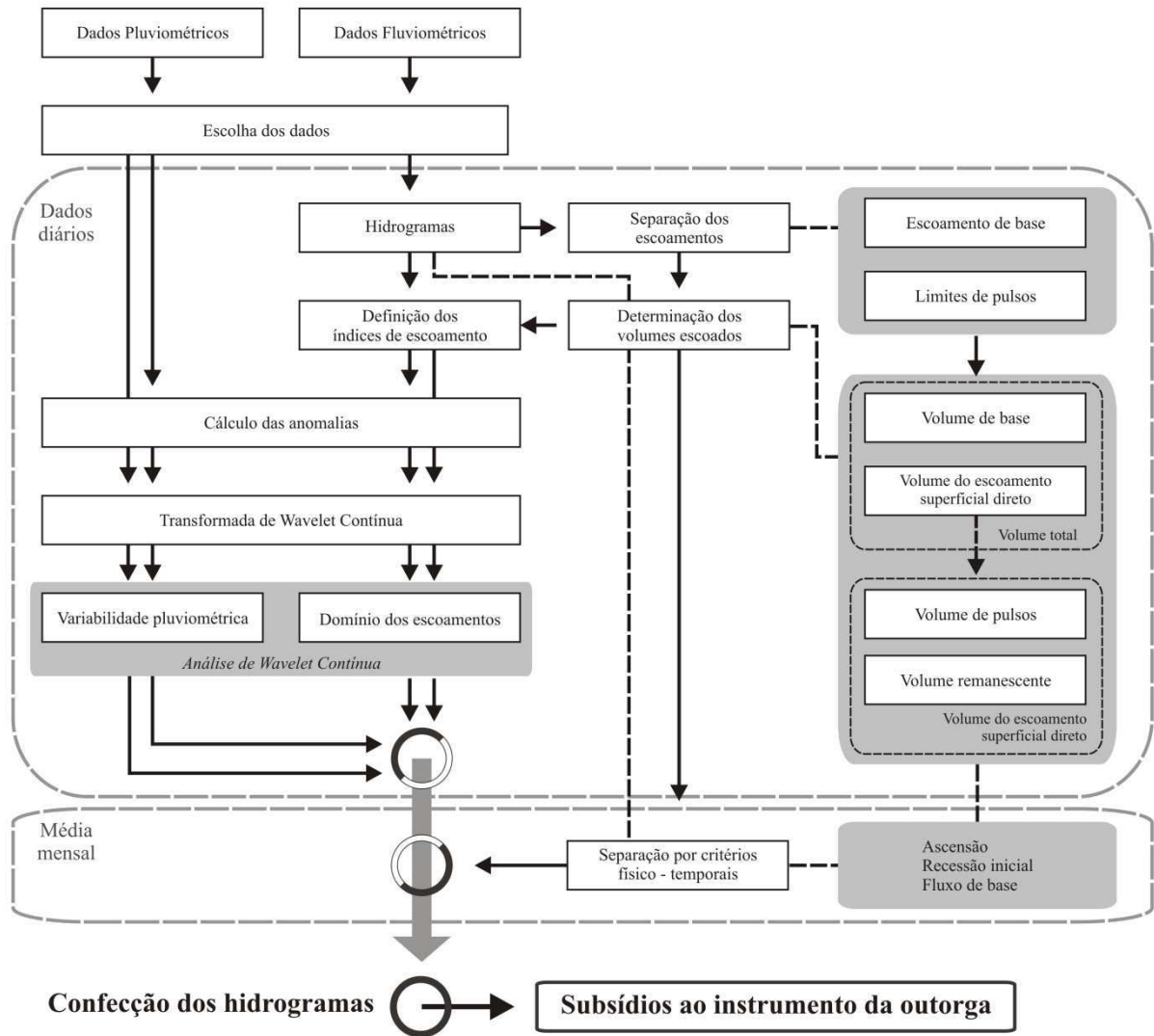


Figura 6: Fluxograma das principais etapas da metodologia.

3.1 - Área de Estudo: Região Sedimentar do Baixo Curso do Rio Paraíba (RSBP)

A bacia hidrográfica do rio Paraíba é a mais importante do Estado da Paraíba, nela estão situadas as duas maiores cidades, Campina Grande com 395.000 habitantes (IBGE, 2010) e a capital João Pessoa com 723.515 habitantes (IBGE, 2010). A área foco deste estudo compreende a parte leste da bacia, a Região Sedimentar do Baixo Curso do Rio Paraíba, com expressivo potencial de águas subterrâneas, inserida em parte da bacia sedimentar costeira Pernambuco-Paraíba. A Figura 7 apresenta: a localização da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba suas subdivisões (Taperoá e Regiões do Alto, Médio e Baixo Curso do Rio Paraíba); hidrografia; e a Região do Baixo curso do Rio Paraíba, com sedes municipais e destaque à área sedimentar.

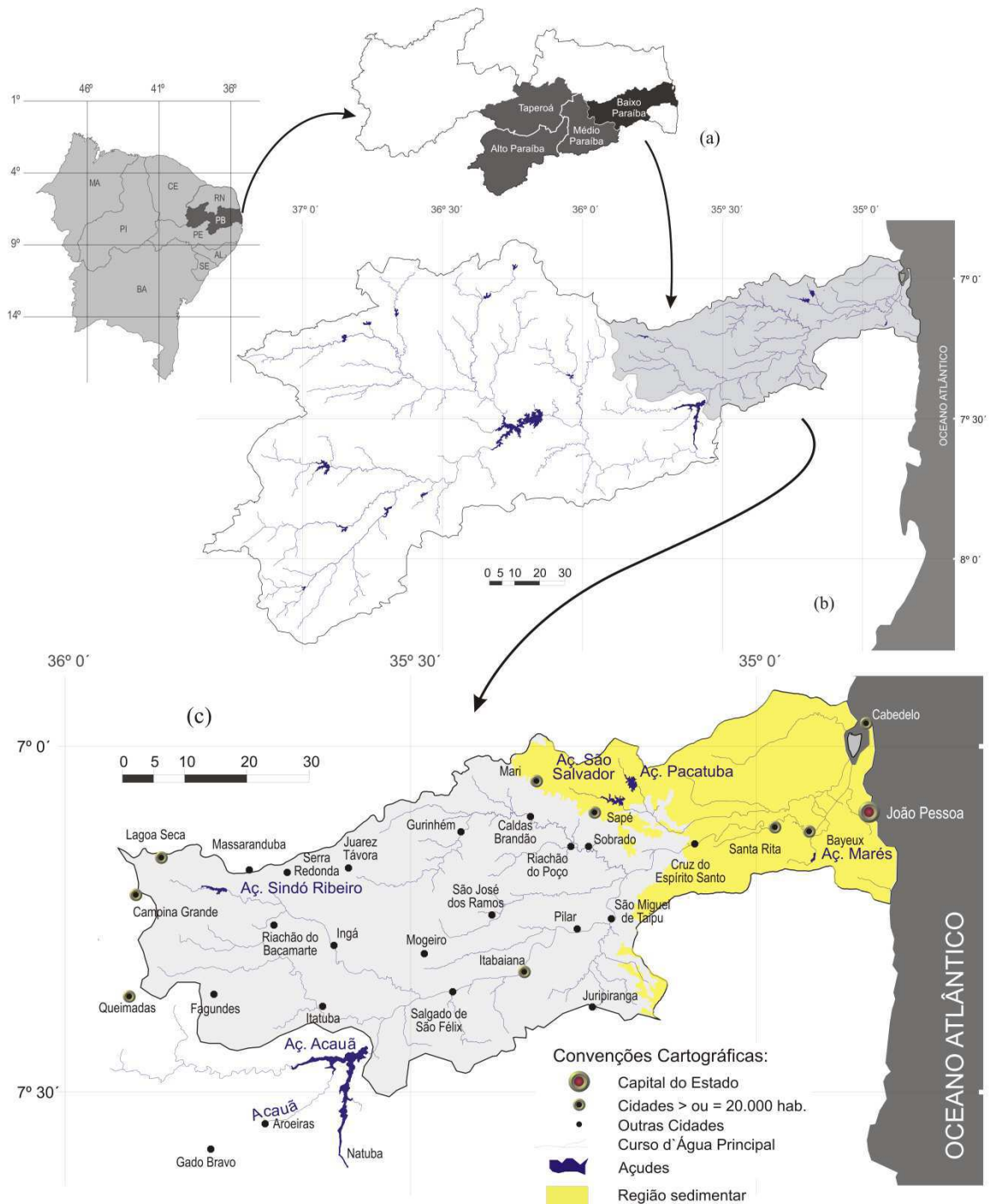


Figura 7: Bacia hidrográfica do rio Paraíba: (a) suas subdivisões (Taperoá e Regiões do Alto, Médio e Baixo Curso do Rio Paraíba); (b) hidrografia; (c) e Região do Baixo curso do Rio Paraíba, com sedes municipais e destaque a área sedimentar. (adaptado de AESA (2006))

Em 2010, a população na RSBP era cerca de 1.129.485 habitantes, o que representa 29,98% da população do Estado (3.766.528 habitantes). A bacia Paraíba-Pernambuco responde por 60% da área irrigada do Estado. A cana-de-açúcar, o abacaxi e outras fruticulturas são os maiores cultivos. Os distritos industriais de João Pessoa, Bayeux, Santa Rita e Cabedelo são responsáveis por 40% da atividade industrial do Estado. Nessa área leste, o setor turístico é o mais desenvolvido do Estado.

A RSBP abrange, total ou parcialmente, 10 municípios: Bayeux, Cabedelo, Cruz do Espírito Santo, João Pessoa, Lucena, Mari, Pedras de Fogo, Santa Rita, São Miguel do Taipu e Sapé.

Alguns problemas no tocante à gestão dos recursos hídricos na RSBP podem ser destacados, tais como: a água subterrânea, tendo em vista a exploração de águas em escoamento de base, ser tratada como fluxo superficial; captações sem controle de águas subterrâneas (perfuração de poços); falta de monitoramento de níveis hidrostáticos de aquíferos; falta de atendimento às demandas ecológicas; diversos tipos de poluição (esgotos urbanos e industriais, lixões, irrigação e mineração).

Características climáticas

A Tabela 1 apresenta alguns dados climatológicos segundo a AESA (2006) *apud* Costa *et al.* (2007).

Tabela 1: Dados climatológicos da estação João Pessoa (AESA (2006) *apud* Costa *et al.* (2007))

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média Ano
Distribuição Temporal das Temperaturas Médias Mensais - °C												
25,8	25,2	28,2	25,5	27,0	26,2	23,7	25,4	27,5	27,7	27,0	24,1	26,1
Distribuição Temporal das Médias das Temperaturas Mínimas Mensais - °C												
22,8	22,6	21,2	22,9	22,2	21,8	20,3	21,7	18,9	23,3	23,2	23,0	21,9
Distribuição Temporal das Médias das Temperaturas Máximas Mensais - °C												
31,8	30,5	30	29,8	29,6	28,3	26,8	27,8	28,3	29,3	29,7	30	29,3
Distribuição Mensal da Umidade Relativa do Ar (%)												
75,0	75,0	81,0	79,0	81,0	81,0	87,0	75,0	67,0	73,0	74,0	74,0	76,8
Nebulosidade (0 – 10)												
5,6	5,8	6,1	6,0	6,2	6,1	6,0	5,2	5,7	5,1	5,4	5,3	5,7
Distribuição do Número Médio Mensal da Insolação (horas)												
244,2	219,1	208,9	181,5	193,9	180,7	148,5	211,7	235,1	266,2	272,7	228,9	215,95
Perdas Médias Mensais por Evaporação - mm												
158,9	139,5	118,0	89,2	86,8	94,8	95,2	68,7	152,3	149,0	91,0	70,1	109,46

- Pluviometria: a precipitação média em Ponte da Batalha é de 1.200mm. A rede de postos pluviométricos é relativamente bem distribuída na área (Figura 8).
- Temperatura: a temperatura média anual situa-se em torno de 25 °C.
- Umidade relativa do ar: varia de 67% no mês de setembro a 87% no mês de julho.
- Nebulosidade com média anual de 5,7.
- Insolação mensalmente varia de 180,7 horas em abril, a 272,7 em novembro;

- Evaporação: as perdas anuais de água por evaporação potencial, medidas em Tanque Classe A, são de 1.313,5 mm.
- Tipo de clima: segundo a classificação de Köppen, o tipo climático da RSBP é o tropical úmido (Asi), caracterizado pelo verão seco e variação de temperatura média mensal, durante o ano.

Fluviometria

A Região do Baixo Curso do Rio Paraíba apresenta escassez de informações fluviométricas e poucos dados consistidos (AESA, 2006), os postos fluviométricos que apresentaram séries significativas de dados, são: Guarita (38880000) e Ponte da Batalha (38895000). O primeiro está localizado no município de Itabaiana, inserido na região cristalina, na latitude de $07^{\circ}20'04''$ e longitude de $35^{\circ}22'22''$. O segundo localiza-se no município de Cruz do Espírito Santo, na latitude de $07^{\circ}07'48''$ e longitude de $35^{\circ}02'51''$. Este segundo é o único que se encontra inserido na RSBP. A Figura 8 mostra a distribuição de postos pluviométricos e fluviométricos na Região Hidrográfica do Baixo Curso do Rio Paraíba. A Figura 9 mostra a fluviometria diária dos postos Guarita e Ponte da Batalha com dados segundo ANA (2008).

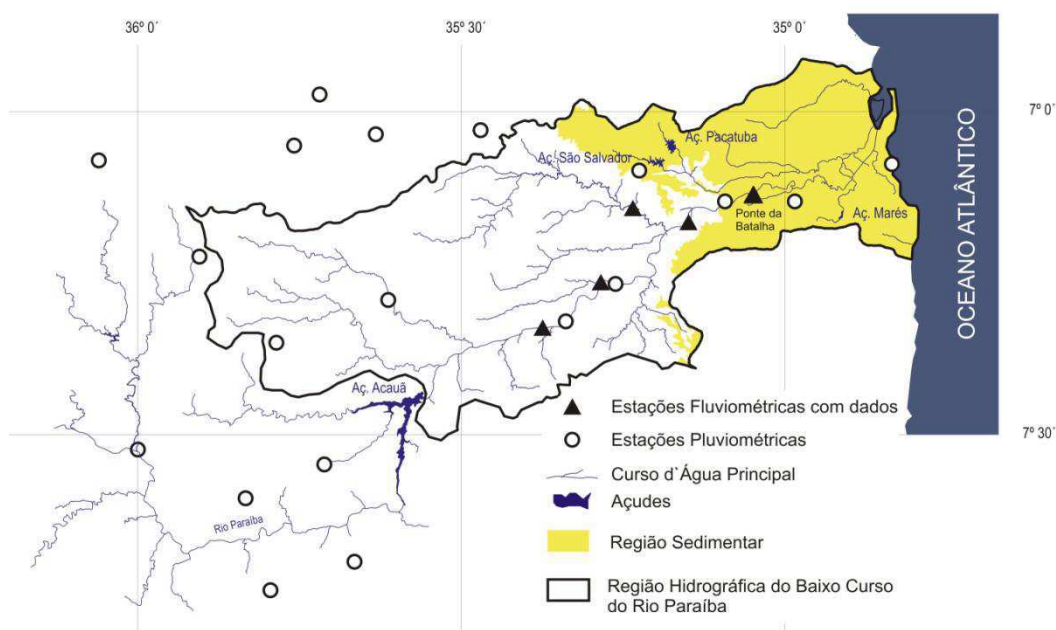


Figura 8: Distribuição de postos pluviométricos e fluviométricos na Região Hidrográfica do Baixo Curso do Rio Paraíba (adaptado do atlas de AESA (2006))

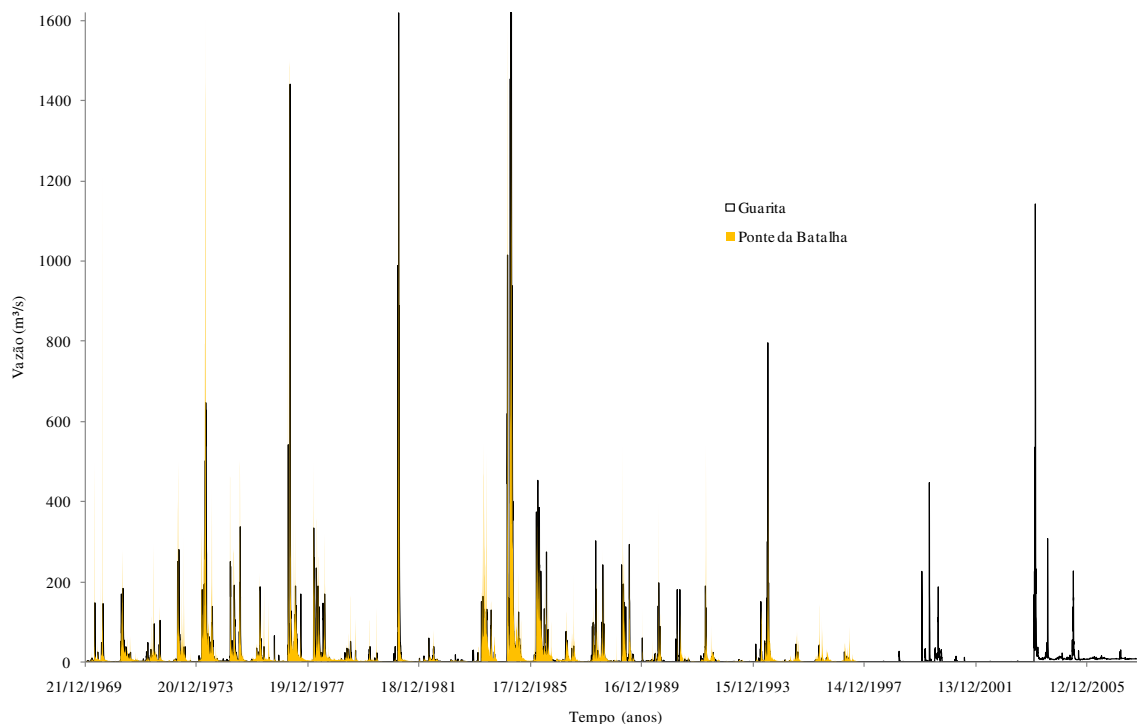


Figura 9: Série de vazões diárias dos postos Guarita (06 de janeiro de 1970 a 31 de janeiro de 2008) e Ponte da batalha (21 de dezembro de 1969 a 31 de dezembro de 1997) (ANA, 2008)

Referente à morfologia, solos, cobertura vegetal e geologia, algumas informações citadas por Costa et al. (2007), podem ser destacadas na Região do Baixo curso do Rio Paraíba:

Morfologia

As grandes unidades de relevo, segundo o Mapa de Unidades de Relevo do Brasil, são as seguintes: os Tabuleiros Costeiros e as Planícies Interioranas e Costeiras. Uma terceira unidade, descrita no Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH-PB) é denominada Baixada Litorânea.

Solos

Nas formações aluviais, onde se localizam as Planícies Interioranas, os solos são dos tipos: azonal, arenoso, argiloso (terraços inundáveis) e siltoso. Nas Planícies Costeiras, a capa pedológica é, igualmente, azonal, constituída de areia fina, às vezes retrabalhada pela ação eólica, formando dunas recentes; se encontram, também, solos orgânicos, vadosos e limosos, onde se desenvolvem os manguezais.

Cobertura vegetal

A cobertura é representada por resquícios da Mata Atlântica e por ecossistemas associados (cerrados, manguezais, etc.). O restante é ocupado pelo plantio de culturas como cana-de-açúcar, abacaxi, mandioca, inhame, etc.

Geologia

A bacia Pernambuco-Paraíba ocupa o litoral dos estados de Pernambuco e Paraíba, estendendo-se desde a cidade do Recife, onde é limitada pelo Lineamento Pernambuco, até o vale do rio Camaratuba, ao norte de João Pessoa. A largura média da faixa sedimentar é de aproximadamente 25 km e sua espessura máxima pode atingir até 400 m. Na Lito-Estratigrafia existem três formações da bacia da RSBP: Beberibe, com arenitos médios, finos e grossos; com grãos sub-angulosos a sub-arredondados, com componente argiloso. Gramame, formada por calcários argilosos cinzentos de fácies marinha plena; com algumas intercalações finas de argila, geralmente bioturbadas, e camadas de margas e argilas mais puras. Por último Barreiras, com sequência de areias, siltes e argilas; repetida irregularmente na dimensão vertical, com predominância ora da litologia arenosa, ora da siltosa, ora da argilosa, apresentando granulometrias e cores variadas.

Hidrogeologia

A hidrografia apresenta basicamente três sistemas aquíferos: Cristalino, Aluvial e Paraíba-Pernambuco. A área envolvida nesta pesquisa está compreendida no sistema Paraíba-Pernambuco (Figura 10).

O Sistema Paraíba-Pernambuco é composto de dois sub-sistemas: um livre, que está contido nas áreas aflorantes da Formação Beberibe, na Formação Barreiras e nos sedimentos permeáveis, constituintes da Planície Flúvio-Marítima, dos aluviões, das dunas e das praias. Já o outro confinado ou semi-confinado, está inserido no pacote de sedimentitos da Formação Beberibe, situado entre a Formação Gramame e o Cristalino, ambos impermeáveis.

As unidades aquíferas mais exploradas são: Beberibe (superior e inferior), Barreiras e Planície Costeira. As espessuras, total e saturada, desses aquíferos são bastante variáveis:

- Beberibe Inferior: pode atingir 100 m, com espessura totalmente saturada em torno de 40 m;
- Beberibe Superior: pode alcançar 200 m, igual e totalmente saturada. É comum a espessura predominantes em torno dos 150 m;
- Barreiras: apresenta espessura com variação entre 40 e 100 m, com um terço inferior saturado;

- Planície Costeira: espessura total entre 20 e 60 m. O nível estático situa-se, em média, a três metros de profundidade; pode, em alguns casos, sazonalmente, transbordar.

Vazões de poços

O Beberibe é o aquífero de maior produção na bacia. Seus poços podem atingir vazões de 150 m³/h, mas, a vazão média obtida para toda a bacia sedimentar PB-PE (parte paraibana), é de, apenas, 31 m³/h. O Barreiras pode produzir, dentro das características construtivas atualmente praticadas, até 20 m³/h. Mas a média registrada é de 8,9 m³/h. O aquífero Planície Costeira produz, em média, cerca de 3m³/h, pode, no entanto, produzir muito mais, dependendo da litologia e da espessura saturada captada. Atualmente, os poços raramente, ultrapassam os 8 m de profundidade.

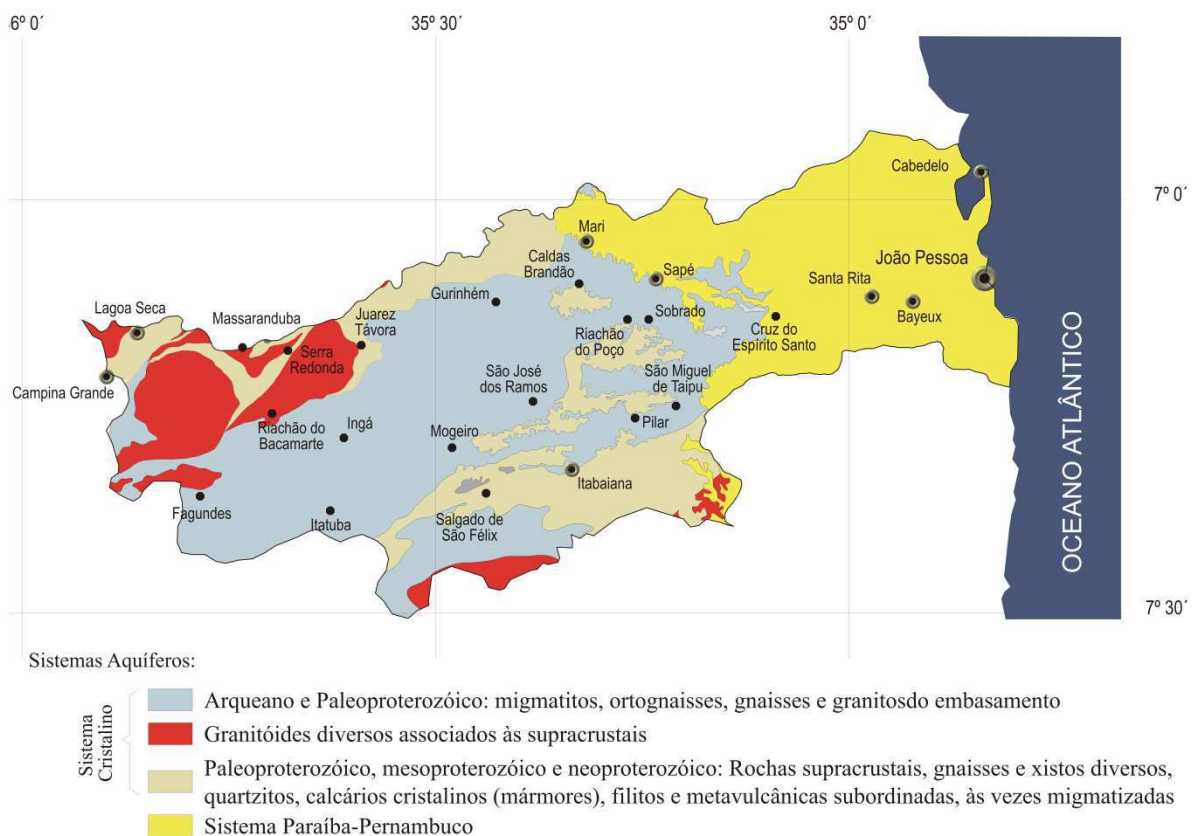


Figura 10: Sistemas aquíferos na Região do Baixo curso do Rio Paraíba (adaptado do Atlas do Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba, 2006)

Qualidade da água subterrânea

No aquífero Beberibe Inferior as águas são ácidas e brandas (pH<5), porém com outras dosagens dentro dos parâmetros de consumo humano ou outro qualquer. As do Beberibe Superior são básicas e duras (>200 mg/L), porém potáveis para consumo humano.

As águas do Barreiras semelhantes às do Beberibe Inferior. Não há informações sobre a qualidade das águas do aquífero Planície Costeira, apenas constata-se que são águas fétidas..

Usuários de água

A AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do estado da Paraíba (2008) apresenta dentre outras informações, o tipo de manancial/ponto de captação (açude, lagoa, poço ou rio) bem como os tipos de usuários outorgados cadastrados e em processo de aprovação. Os usuários são discretizados em: abastecimento urbano, urbano predial, rural, comunitário, industrial, comercial, irrigação, aquicultura e lazer. A Tabela 2 apresenta a distribuição, em porcentagem, do volume outorgado para esses usuários da RSBP, em julho de 2008.

Tabela 2: Distribuição percentual do volume outorgado aos usuários de água da RSBP , em julho de 2008 (AESAs, 2008)

Tipo de usuário	Proporção
Abastecimento Rural	0,21%
Abastecimento Urbano	21,11%
Abastecimento Urbano Predial	0,11%
Comercial	0,01%
Industrial	3,14%
Abastecimento Comunitário	0,00%
Irrigação	64,21%
Aquicultura	11,21%
Lazer	0,01%

3.2 - Aspectos legais e institucionais

No âmbito estadual, a outorga foi instituída como instrumento de gerenciamento pela Lei Estadual nº. 6.308/96 (Política Estadual de Recursos Hídricos) e recentemente alterada pela Lei Estadual nº. 8.446/07. O Decreto Estadual nº. 19.260/97, regulamenta a outorga de direito de uso dos recursos hídricos. Alguns critérios podem ser observados (Art. 23 a 27) tanto para águas superficiais (Art. 14) (a prioridade de outorga (Art. 12); a disponibilidade hídrica em função das características hidrogeológicas do local ser outorgado (Art. 15) e; a comprovação de que o uso de água não cause poluição/desperdício dos recursos hídricos) como em águas subterrâneas (outorga quantitativa em função da vazão nominal de teste do poço e capacidade de recarga do aquífero).

Ainda, o Decreto nº 26.224/05, dispõe sobre a regulamentação e a estrutura básica da AESA e, no seu Capítulo III, Seção XIV, Art. 17, disserta sobre as competências da Gerência Executiva de Outorga e Licença de Obras Hídricas.

No âmbito federal, além da Lei 9.433/97, em seu Artigo 12, que se refere aos usos sujeitos à outorga, dentre eles a “extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo”; se observam as resoluções do Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH que contemplam também a ótica da gestão das águas subterrâneas, dentre elas a Resolução nº. 15/01 que estabelece diretrizes para a gestão de águas subterrâneas; e a Resolução nº. 16/01 que estabelece critérios gerais para a outorga de direito de uso de recursos hídricos. Verifica-se, ainda, a consideração da interdependência das águas superficiais e subterrâneas e as interações observadas no ciclo hidrológico visando à gestão integrada dos recursos hídricos.

Ainda na Resolução nº 22/02 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH, que estabelece diretrizes para inserção das águas subterrâneas no instrumento Planos de Recursos Hídricos, aponta para a necessidade de integração no planejamento e gestão dos recursos hídricos, pois afirma no seu Artigo 5º que “as ações potencialmente impactantes nas águas subterrâneas; bem como as ações de proteção e mitigação a serem empreendidas, devem ser diagnosticadas e previstas nos Planos de Recursos Hídricos, incluindo-se medidas emergenciais a serem adotadas em casos de contaminação e poluição acidental.” Por força do Parágrafo Único do mesmo artigo, os diagnósticos para esse fim, devem envolver, necessariamente, a “descrição e previsão da estimativa de pressões sócio-econômicas e ambientais sobre as disponibilidades, as estimativa das fontes pontuais e difusas de poluição; a avaliação das características e usos do solo e a análise de outros impactos da atividade humana relacionadas às águas subterrâneas.” O que amplia a necessidade de estudos interdisciplinares que favoreçam a compreensão deste elemento natural” (CNRH, 2002) (Guimarães *et al.*, 2008).

Como já supracitado, destaca-se também: a Resolução nº 91/08 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), que dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos; as Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA): nº. 357/05, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, e estabelece as condições e padrões de lançamento de, efluentes; e a nº 396/08, que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas.

Quanto ao aspecto institucional, a Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA é o órgão gestor das águas no Estado (coordenada pela Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente – SECTMA). A gerência de outorga e licença de obras públicas está subordinada à Diretoria de Gestão e Apoio Estratégico.

As questões deliberativas e normativas no âmbito dos recursos hídricos conferem ao Conselho Estadual de Recursos Hídricos – CERH. Em 2006 foi criado o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, que contempla o princípio da gestão participativa e descentralizada.

3.3 - Definição das zonas de gerenciamento

No Projeto ASUB/PB a RSBP foi subdividida em sete zonas de gerenciamento (ASUB, 2010), como mostradas na Figura 11. Essa subdivisão considerou as seguintes informações: níveis topográficos da área de estudo; falhas tectônicas presentes na área de estudo; condição de pressão dos aquíferos e uso da água subterrânea na região.

A estação fluviométrica Ponte da Batalha, principal banco de dados desta pesquisa, está localizada na Zona 4 (154,54 km²), área que corresponde geologicamente ao horst do rio Paraíba, onde se estabeleceu o vale deste rio. É a região das várzeas do rio Paraíba. Hidrogeologicamente é definida por uma formação do subsistema livre, representado pelo aquífero Aluvial e pelos sedimentos fluvio-marítimos. Abrange parcialmente os municípios de Santa Rita, Cruz do Espírito Santo, Bayeux, João Pessoa e Cabedelo. A água subterrânea é bastante utilizada para irrigação de diversas culturas.

No subsistema aquífero se localizam as zonas 1, 2, 3, 4, 5 e 6. Esse subsistema pode ser considerado, genericamente, como um subsistema livre. Nele a formação Beberibe é aflorante, haja vista encontra-se confinada pelos calcários da formação Gramame. Já a zona 7 é a única da RSBP que apresenta a formação completa do Sistema Aquífero Paraíba-Pernambuco.

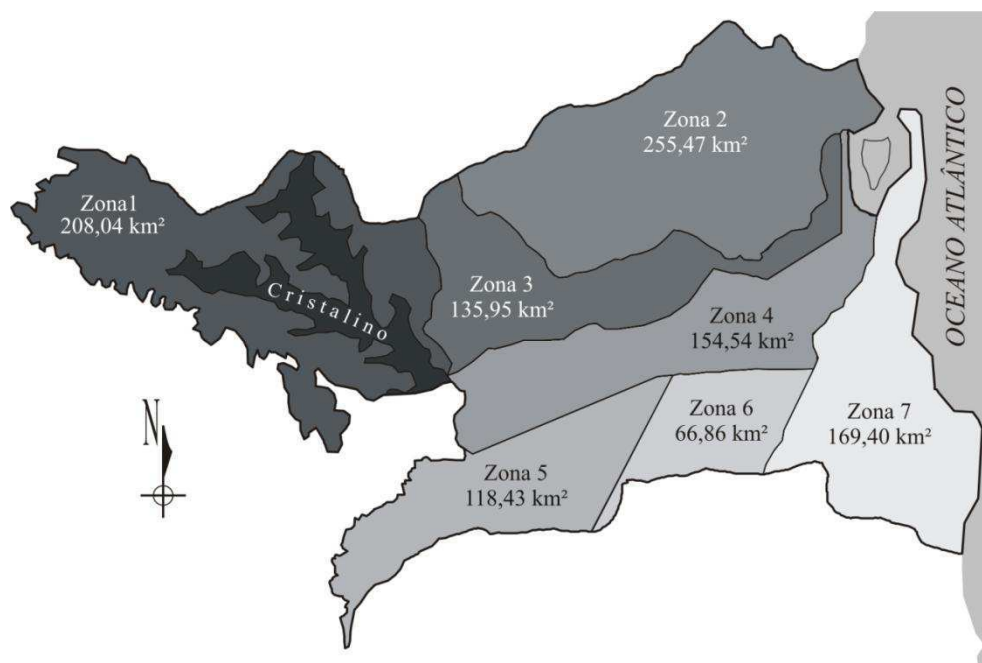


Figura 11: Zonas de gerenciamento da RSBP (Adaptado de ASUB (2010)).

As características gerais das demais zonas da RSBP são: Zona 1, formada pelas exposições mais interiores da bacia sedimentar; caracterizada pela presença do cristalino entre as exposições sedimentares, e composta pelos açudes de médio porte, São Salvador e Pacatuba. A Zona 2 é definida como a área topograficamente delimitada pela Bacia do rio Soé, que desemboca na foz do rio Paraíba, na cidade de Cabedelo. A Zona 3 situa-se ao sul da Bacia do rio Soé, limitada pela falha norte, que marca o *horst* do rio Paraíba; contém a Bacia hidrográfica do rio Engenho Novo e os afluentes pela margem esquerda do rio uma. A Zona 5 é definida pelos limites norte ocidentais da bacia sedimentar PE-PB, que se prolongam até o curso do rio Preto (afluente do rio Paraíba). É marcada para o leste pela falha dos rios Tibiri/Tapira e ao sul pelo limite da Bacia hidrográfica do rio Gramame. A Zona 6 é limitada pela falha dos rios Tibiri/Tapira, pelo rio Paraíba e pela falha de Cabedelo; o limite sul corresponde ao divisor da Bacia hidrográfica do rio Gramame. A Zona 7 é individualizada pela falha de Cabedelo a oeste, pelo oceano ao norte e a leste e pelo divisor da Bacia do rio Gramame, ao sul. Apresenta grande concentração de fontes poluidoras de águas subterrâneas, pois abrange a Região Metropolitana de João Pessoa (RMJP).

3.4 - Coleta e seleção de dados hidrometeorológicos na RSBP

Dados fluviométricos

Foram utilizados os dados fluviométricos diários da estação Ponte da Batalha (altitude de 18 m; latitude: $7^{\circ}7'48''$; e longitude de $-35^{\circ}02'51''$). A série bruta compreende o período de 21 de dezembro de 1969 a 31 de dezembro de 1997 (Figura 9) (ANA, 2008). Essa estação

está localizada no município de Cruz do Espírito Santo-PB, Zona 4 de gerenciamento, conforme Figura 11.

O critério para escolha dos períodos a serem utilizados nesta pesquisa foi por considerar dois fenômenos atuantes nos sistemas precipitantes da região Nordeste do Brasil (NEB): o El Niño e o La Niña.

Além da não continuidade de dados diários, ininterruptos por ausência de informação, outro aspecto bastante relevante para a exclusão de alguns anos a serem utilizados na pesquisa, foi o comportamento incomum em alguns meses observado nas médias mensais dos dados fluviométricos. A vazão média mensal caía consideravelmente com desempenho bem abaixo para o período chuvoso, como em 1970 (maio a julho), 1974 (maio e junho), 1975 a 1978 (no mês de junho), 1979 (em agosto), 1980 (em abril e maio), 1996 (mês de julho).

A discretização dos anos de El Niño e La Niña seguiu as informações propostas por Gerólamo e Kayano (2010): anos de 1970 a 1976 no domínio de La Niña, exceto El Niño de 1972; anos de 1977 a 1984 no domínio de El Niño, exceto em 1981, com La Niña. De 1993 a 1997, domínio de El Niño, exceto em 1994, com ano normal.

Desse modo, o período escolhido para La Niña foi: 01/01/1971 a 31/12/1973 e para El Niño: 01/01/1993 a 31/12/1995 (Figura 12).

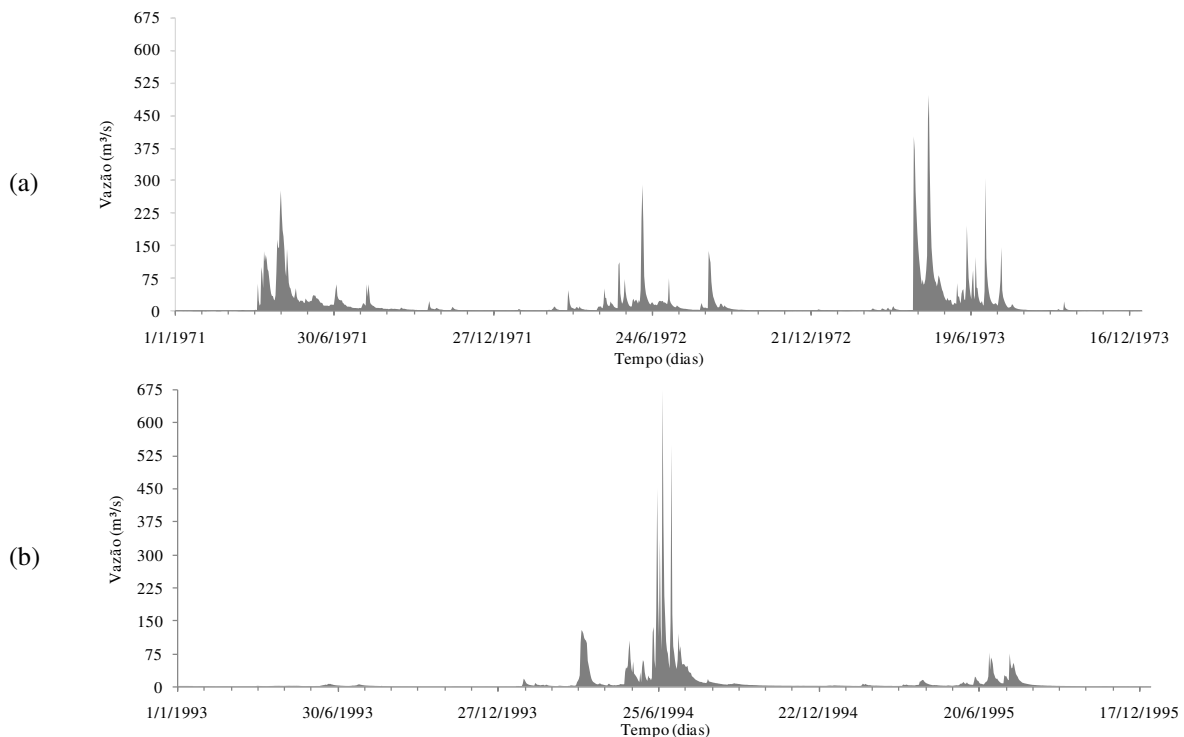


Figura 12: Séries contínuas de dados diários de vazão: (a) La Niña e (b) El Niño

Dados de precipitação pluviométrica na RSBP

As informações pluviométricas mostram o comportamento sazonal da componente de entrada do sistema hidrológico. Com o objetivo de detectar periodicidades em sinais pluviométricos diários nas proximidades da região de estudo foram selecionados dois postos com expressiva quantidade de dados (ANA, 2008): Ponte da Batalha (código: 00735036), na mesma localização da estação fluviométrica, com dados brutos de 24/12/1969 a 31/12/2009; e Itabaiana (código 00735015), na altitude de 45 m, latitude de $-7^{\circ}20'00''$ e longitude de $-35^{\circ}20'00''$, com dados brutos de 01/01/1918 a 01/02/1994.

3.5 - Separação dos escoamentos

Para separar os escoamentos foram considerados dois aspectos: o primeiro é comumente relacionado à subdivisão em escoamento de base e escoamento superficial; o outro considera os “pulsos” de vazões ante o comportamento fluvial do rio, tanto na ascensão, como na recessão do hidrograma (Figura 3b). Aqui incorpora-se a ótica de Cruz (2005) como suporte para os ecologistas na condição de “pulso hidrológico”. Parte-se do princípio de que o histórico de dados registra o “padrão de fluxo” (Davis e Hirj, 2003), o regime natural de vazões (Collischonn et al., 2005).

A técnica proposta neste trabalho em parte é similar à desenvolvida por Arnold e Allen (1999) (Eckhardt, 2008), com filtro de escoamento de base proposto por Lyne e Hollick (1979) cujo escoamento superficial direto está associado à variabilidade de alta frequência e o espectro de frequência de ondas longas associa-se, neste caso, ao escoamento de base. No caso desta pesquisa, as altas frequências (grupo de “pulsos”) estariam limitadas nas “extremidades”, pelo comportamento de ascensão e recessão do escoamento, e não necessariamente restrito às inflexões de base.

A Figura 13 ilustra um hidrograma com dados diários e dá destaque ao trecho $\Delta t (t_{i+1} - t_i)$, cuja separação dos escoamentos está sistematicamente dividida em (Figura 13a):

- Q_1 , a vazão de base;
- Q_2 , a vazão total sem os pulsos e;
- Q_3 , a vazão total.

De posse do dado de vazão Q_3 , da separação dos escoamentos, com o traçado de Q_1 (vazão de base) e Q_2 (separação dos pulsos de vazões), têm-se os volumes escoados (em m^3), no intervalo $\Delta t (t_{i+1} - t_i)$, subdivididos, como mostra a Figura 13b:

- V_1 , o volume do escoamento básico, referindo-se ao limite mínimo do escoamento ambiental (Costa et al., 2007), como sendo a média das vazões mínimas mensais no domínio da vazão de base;
- V_2 , na área intermediária, é o volume do escoamento superficial 1. Volume superficial direto que não computa o aporte dos pulsos de vazões;
- V_3 , na área superior, é o volume do escoamento superficial 2, referindo-se as parcelas dos pulsos de ascensões e recessões do escoamento fluvial.

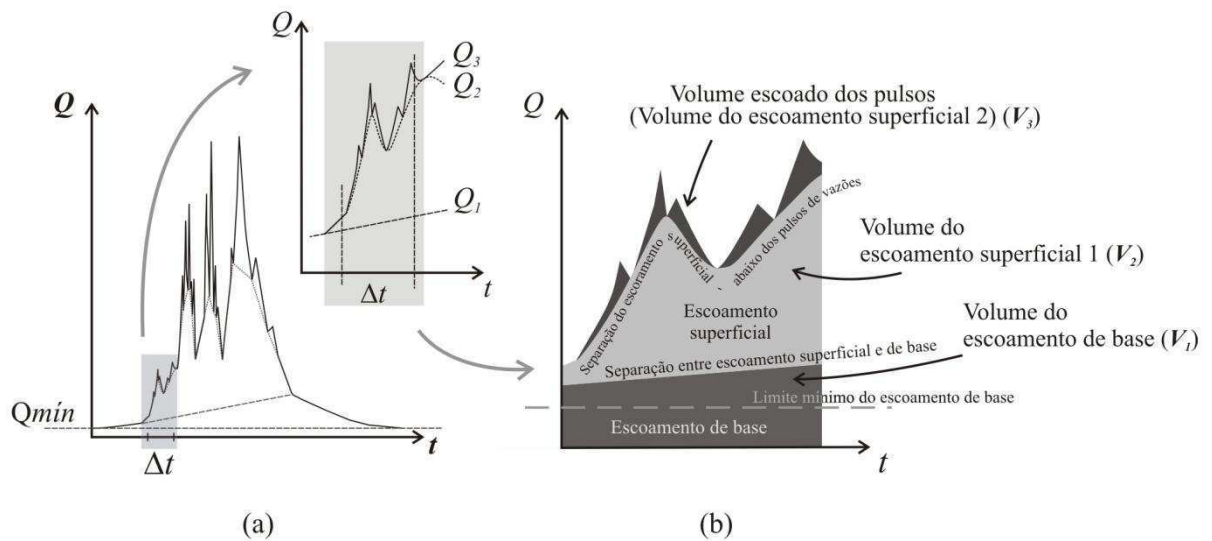


Figura 13: Ilustração do hidrograma de vazões diárias destacado em: (a) trecho Δt , separação dos escoamentos: Q_1 (vazão de base), Q_2 (vazão total sem os pulsos) e Q_3 (vazão total); (b) volumes escoados, sendo: V_1 , o volume do escoamento básico; V_2 , o volume do escoamento superficial 1 (volume sem pulsos de vazões); e V_3 , o volume do escoamento superficial 2 (aporte dos pulsos de ascensões e recessões). (autoria própria)

Para a determinação das áreas sob as curvas de escoamento, foi utilizada a técnica de integração numérica (Equação 9):

(9)

Os volumes escoados, em m^3 , foram determinados através das Equações 10 a 13.

(10)

(11)

(12)

(13)

Em que:

$V_T = V_1 + V_2 + V_3 =$ volume total;

$V_S = V_1 + V_2 =$ volume superficial total;

$V_1 =$ volume de base;

$V_2 =$ volume do escoamento superficial direto (sem os pulsos de vazões);

$V_3 =$ volume com pulsos.

Para separar os escoamentos superficial e de base, o método escolhido foi o proposto por Tucci (2003), Figura 3a, traçado bb' . Foi desenvolvido algoritmo semi-automático, em planilha Excel 2007, com etapas descritas como segue (Figura 14):

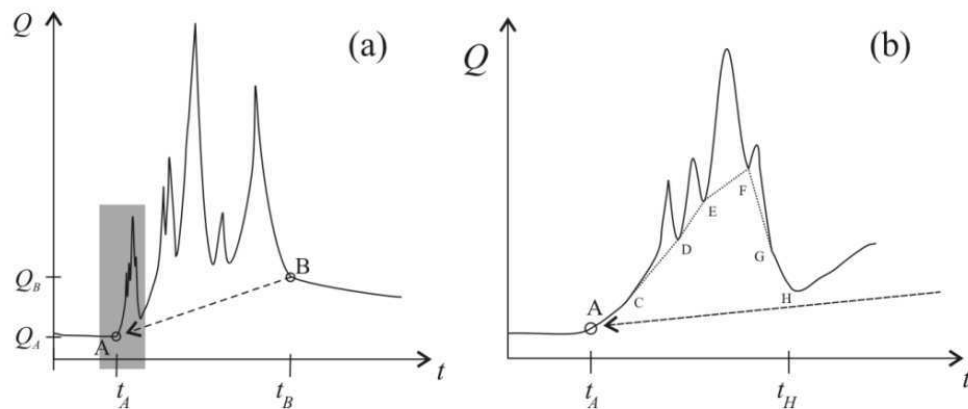


Figura 14: Separação dos escoamentos: (a) vazão de base, com destaque nos pontos de inflexão (A e B) no trecho t_B-t_A ; (b) amplitude destacada nas proximidades de t_A , traçado das inflexões nos pulsos de ascensão e recessão no período t_H-t_A . (autoria própria)

Escoamento de base:

- I. De posse do hidrograma, parte-se inicialmente de uma visualização global do fluxo, de modo a distinguir os pontos de escoamento de base. Notadamente nas inflexões, como no trecho exemplo da Figura 14a, partindo-se do início do escoamento de base em B ($t_B; Q_B$) ao fim do escoamento de base em A ($t_A; Q_A$);
- II. Definidos os pontos A e B que, no caso da Figura 14a, além de serem vazões de base são vazões totais, determina-se a linha limítrofe que separa a fase superficial da subterrânea, através da equação da reta AB, cujo coeficiente angular é $(Q_B-Q_A)/(t_B-t_A)$, de modo que a vazão de base em t_H , Figura 14b, é $Q_{base,H} = Q_A + [(Q_B-Q_A)/(t_B-t_A)] \cdot (t_H-t_A)$;

- III. O traçado de base posterior a t_B na Figura 14a, segue os dados de vazões até que, na série, o curso do mesmo direcione a outra inflexão de escoamento superficial, tendo continuidade no processo como exposto na etapa I.

Escoamento dos pulsos de ascensão e recessão.

- IV. Como já citado na etapa I, na separação do escoamento de base, a delimitação do escoamento superficial em pulsos, inicia-se pelas escolhas dos pontos de inflexão deles (áreas convexas do sinal de vazão). Na visão global do sinal, como na Figura 14b, com início em C e os posteriores: D, E, F e G. Nessa figura, os seguimentos AC e GH não apresentam pulso de vazão ao aporte superficial.
- V. A união dos pontos de inflexão, também segue a mesma ótica de traçado linear, no uso da equação da reta, como entre D e C, cujo coeficiente angular seria $(Q_D - Q_C)/(t_D - t_C)$ e em F e G, no caso, em gradiente decrescente com $Q_G < Q_F$, e com coeficiente angular igual a $(Q_F - Q_G)/(t_F - t_G)$;
- VI. Seguem os mesmos passos para as regiões posteriores de pulsos.

Os dados de entrada na planilha eletrônica foram as definições dos pontos de inflexão (tanto no caso do escoamento de base como nos pulsos) e respectivos espaçamentos temporais. O traçado linear dos escoamentos foi gerado automaticamente. Ressalta-se que nos trechos onde não há possibilidade de continuidade linear entre dois pontos, especialmente em regiões posteriores ou anteriores às localidades assintóticas, prevalecem os dados do sinal de vazão.

A confecção do traçado total oferece um hidrograma com possibilidades de determinação dos volumes em um trecho Δt qualquer. Isso foi mostrado na Figura 14: com volume de base nos trechos anteriores a t_A e posteriores a t_B ; e aportes superficial e subterrâneo no período Δ_{AB} , com destaque em CG; onde a vazão superficial é subdividida pela delimitação dos pulsos.

3.6 - Anomalias em dados hidroclimatológicos

Em uma série de temporal não estacionária, quando se compara globalmente intervalos discretizados no tempo, pode haver características expressivas do sinal em muitos desses intervalos. Uma técnica bastante utilizada na área climatológica, quando se deseja calcular anomalias, é a de filtrar a não estacionaridade de modo que se possa “enxergar” eventos

significativos ou singularidades, que podem estar “mascarados” especialmente em sinais muito intensos. Esse filtro é obtido pela normalização da série temporal, Equação 14.

$$\text{-----} \quad (14)$$

Em que, para um intervalo $\Delta t = (t_n - t_0)$, i varia de 0 a n ; z_i são as anomalias da série; x_i são os valores observados; \bar{x} e σ são média e desvio-padrão no período Δt , respectivamente. A normalização da série temporal se caracteriza por apresentar média nula e desvio padrão unitário.

Neste trabalho, foi utilizada essa normalização no cálculo de anomalias de precipitação pluvial, vazão e índices de escoamento.

3.7 - Índices de escoamento

Dentre muitos parâmetros que relacionam o escoamento das águas subterrâneas e as superficiais está o índice de escoamento de base (BFI) (Aksoy et al., 2009). Esse índice é definido pela razão entre o volume de base escoado e o volume total em um intervalo de tempo), Equação 15), em que Q é a vazão e t o tempo.

$$\text{-----} \quad (15)$$

A partir dessa mesma ótica é possível se obter índices em outras abordagens, como a relação entre o remanescente do escoamento em pulsos, frente ao aporte superficial total. Assim sendo, de maneira análoga a Equação 16, referindo-se ao aporte de pulsos, V_3 (Figura 13b) e as vazões Q_2 e Q_3 na Figura 13a, define-se o Índice de Pulsos (IP), pela da Equação 16, como:

$$\text{-----} \quad (16)$$

A Figura 15 mostra formas diferenciadas de se trabalhar com os volumes discretizados do hidrograma, para se determinar índices que quantificam a proporção dos potenciais subterrâneo e superficial (a); BFI (b); IP (c); razão entre pulsos e volume superficial (d) e variante do BFI (e), considerando o volume subterrâneo acima do limite mínimo de base.

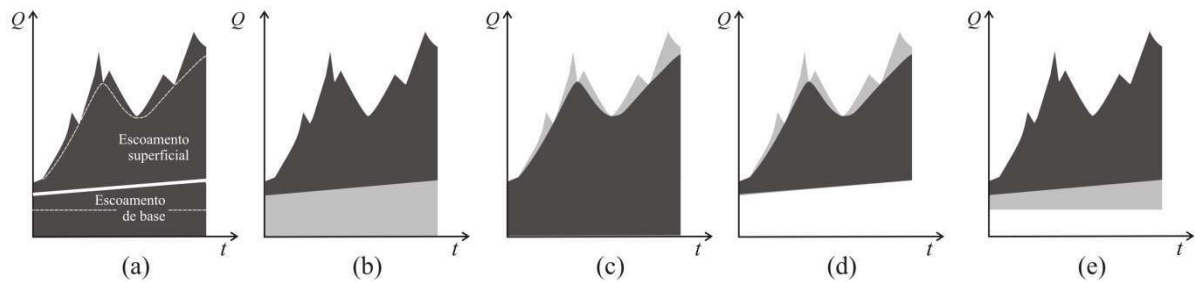


Figura 15: Formas diferenciadas da relação entre volumes em um período Δt (Figura 13b) para a confecção de índices de escoamento, sob os aspectos quantitativo e/ou ambiental. (autoria própria)

O BFI pode ser analisado em escalas temporais diferenciadas (Smakhtin, 2001), como por exemplo, na relação entre dados diários e anuais. Ou ainda quando se considera aspectos físicos do sistema (Eckhardt, 2005; Longobardi e Villani, 2008). Assim sendo, o cálculo do BFI pode-se destacar por sazão, não sendo visto de forma individualizada, mas de forma integrada (inclui períodos chuvoso e seco), haja vista que esse índice sintetiza a análise de escoamentos para o ano hidrológico.

No entanto, numa visão além da escalar, direcionada às amplitudes vetoriais ou matriciais, a razão entre os escoamentos pode oferecer auxílio diferenciado numa abordagem semelhante à análise de séries temporais. Nesse caso se faz uso da Transformada de Wavelet (TW) com índices diários, para detectar ciclos de anomalias entre as vazões.

A análise pela TW pode ser feita em função de dados brutos ou por abordagem estatística normalizando os índices de anomalias das vazões (Da Silva, 2009).

4.0 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - Separação dos escoamentos - estação fluviométrica Ponte da Batalha

As Figuras 16 e 17 mostram a separação dos escoamentos da fluviometria diária da estação Ponte da Batalha, nos períodos de 01/01/1971 a 31/12/1973 e 01/01/1990 a 31/12/1993, respectivamente. Nelas podem ser vistas as delimitações do escoamento de base e os pulsos de vazão superficial. As áreas hachuradas representam os volumes escoados, cuja subdivisão está relacionada com a Figura 13b da metodologia. Os apêndices 1 e 2: mostram os totais mensais e a média diária das vazões escoadas (em m^3/s), respectivamente, para os períodos supracitados; observam-se, ainda, as vazões de base e a total sem o aporte dos pulsos. . O Apêndice 3 mostra os volumes totais escoados em $1.000 m^3$, nos dois períodos do estudo, nos aportes total, de base e de pulsos.

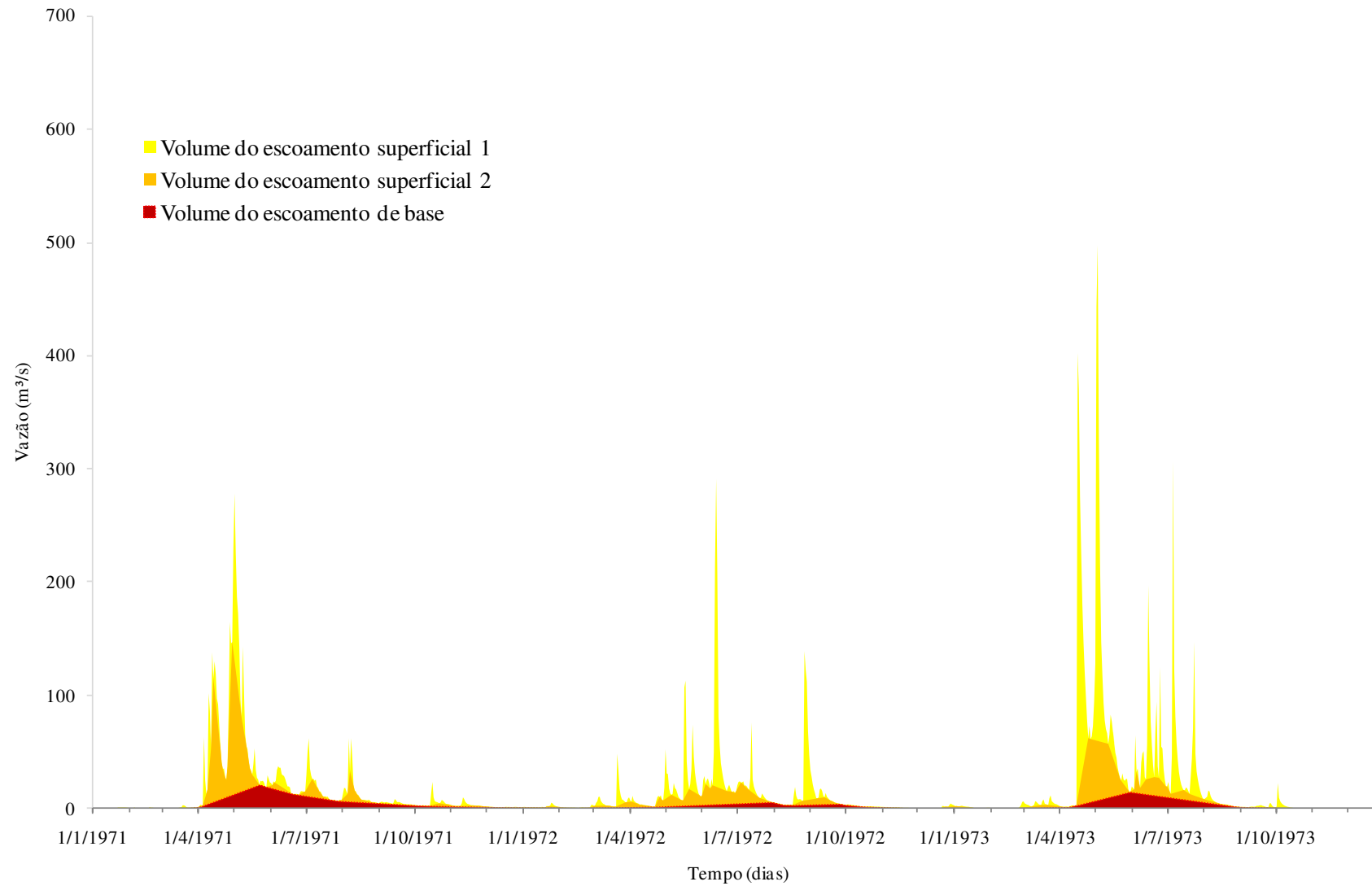


Figura 16: Separação dos escoamentos da fluviometria diária da estação Ponte da Batalha, com áreas que representam o volume escoado em três aportes: base, superficial 1 e superficial 2 (período: 01/01/1971 a 31/12/1973)

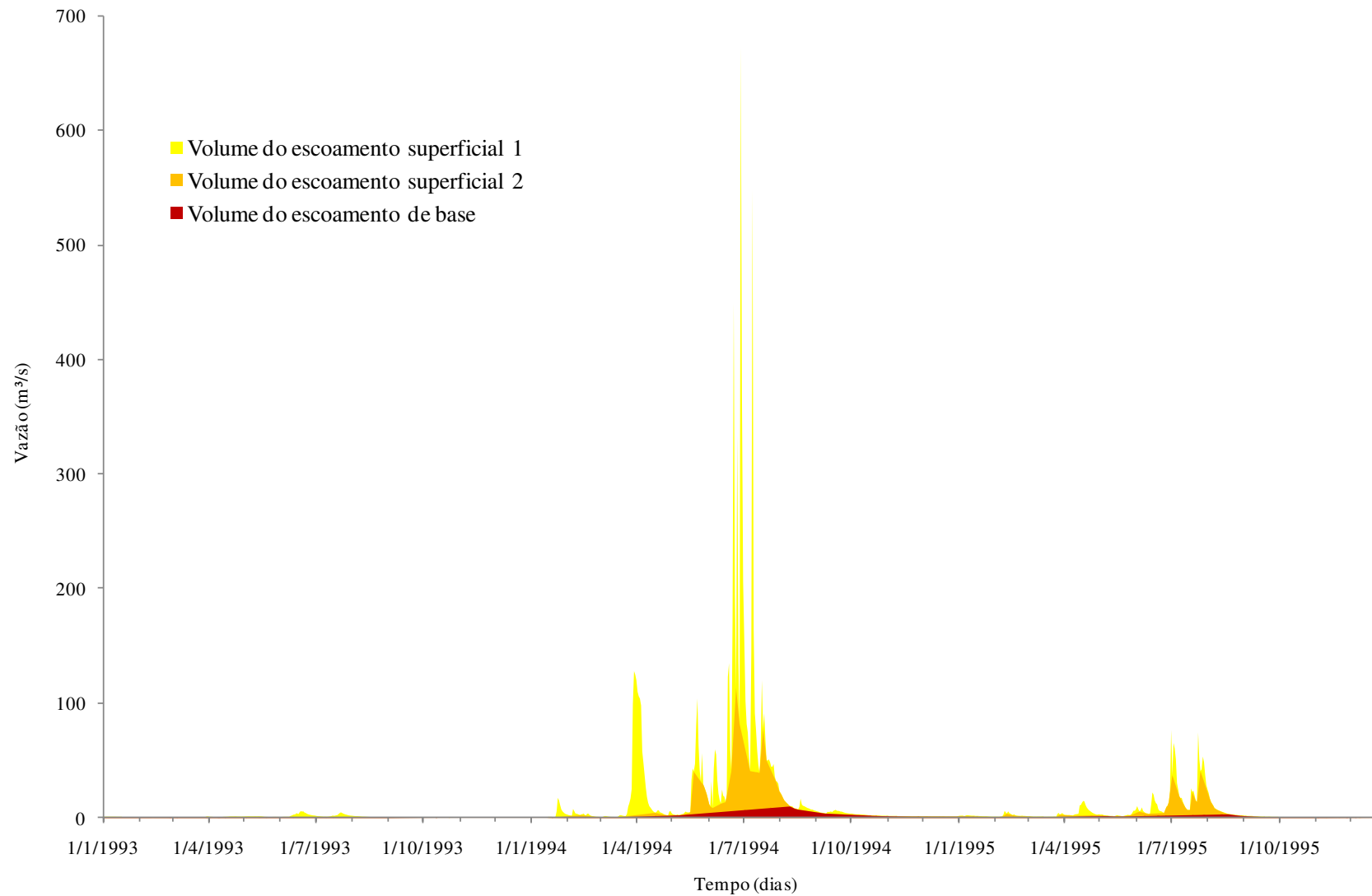


Figura 17: Separação dos escoamentos da fluviometria diária da estação Ponte da Batalha, com áreas que representam o volume escoado em três aportes: base, superficial 1 e superficial 2 (período: 01/01/1993 a 31/12/1995)

4.2 - Precipitação pluvial

Para a análise de periodicidades em sinais pluviométricos diários, foram escolhidos dois períodos de dados ininterruptos: 01/01/1970 a 31/12/1976 (estações Ponte da Batalha e Itabaiana); e 01/01/1990 a 31/12/1996 (estação Ponte da Batalha). A Figuras 18 e 19 mostram essas séries temporais comparadas com as séries de vazões na estação Ponte da Batalha, escolhidas nesta pesquisa:

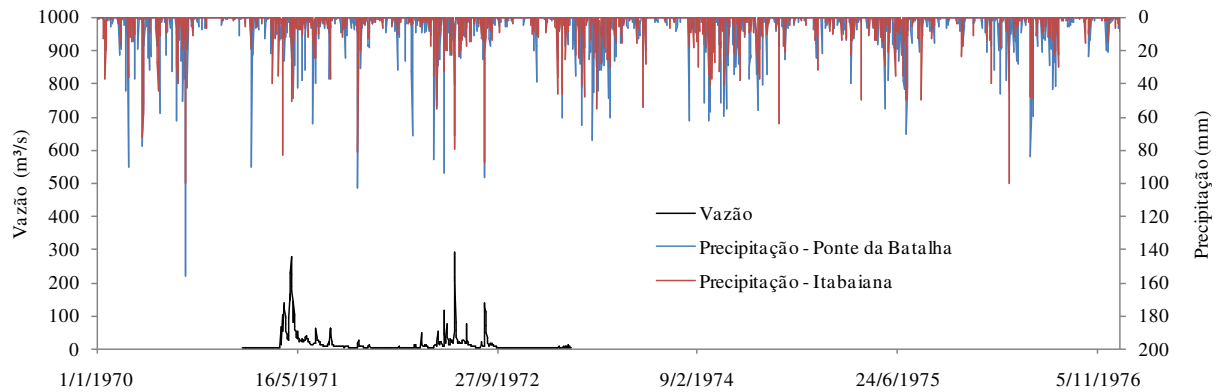


Figura 18: Pluviometria diária nas estações Ponte da Batalha e Itabaiana (Período de 01/01/1970 a 31/12/1976); e vazões diárias, estação Ponte da Batalha, para o período de La Niña (01/01/1971 a 31/12/1973).

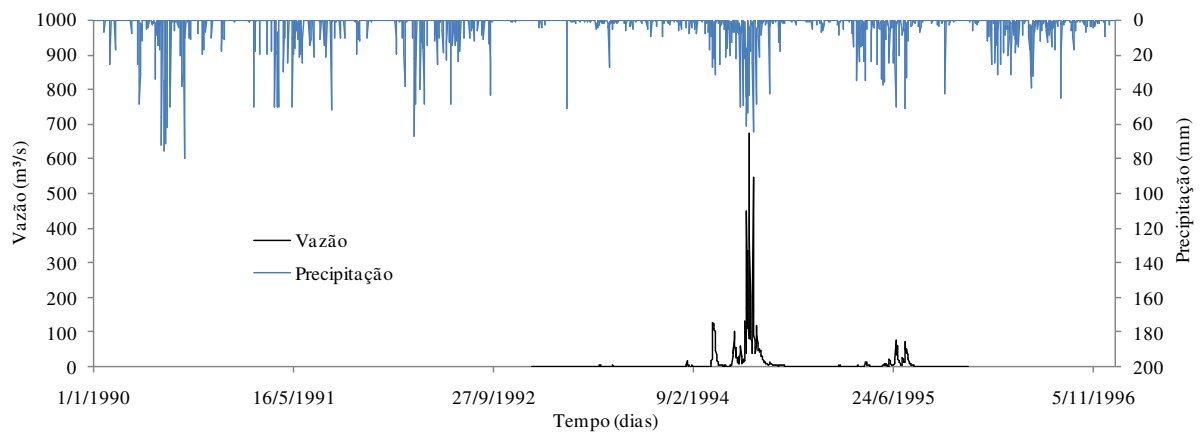


Figura 19: Estação Ponte da Batalha: pluvimetria diária (período: 01/01/1990 a 31/12/1996) e vazões diárias para o período de El Niño (01/01/1993 a 31/12/1995)

4.3 – Definição dos índices de escoamento

Tendo em vista a necessidade de considerar os aportes superficiais e subterrâneos, bem como a questão ambiental na relação dos pulsos de vazões, foram analisados dois índices de escoamento: a razão entre o volume escoado de base e o total, *BFI* (Equação 15, Figura 15b); e a razão entre o volume escoado em pulsos e o total, *IP* (Equação 16, Figura 15c). A Tabela 3 apresenta os índices no contexto global, que considera a razão entre os volumes ao

longo de toda série. As Figuras 20 e 21 mostram ambos os índices em escala diária para o volume escoado nos dois períodos da série fluviométrica deste estudo. A comparação entre os índices auxilia na percepção do domínio dos escoamentos. Nessas figuras pode-se notar a primazia do fluxo de base nos dois períodos.

Tabela 3: Índices de escoamento no contexto global

Índice	01/01/1971 a 31/12/1973	01/01/1991 a 31/12/1993
BFI	0,2104	0,1478
IP	0,4780	0,5208

De posse desses dois índices, obtêm-se diretamente o índice do volume “intermediário” do hidrograma referente ao aporte superficial 1, da Figura 15b, pela subtração da unidade (volume total) e a soma dos demais índices (base e pulsos) para cada mês. A Figura 22 mostra a proporção do escoamento em relação ao volume total escoado nos meses do ano, nos períodos: (a) 01/01/1971 a 31/12/1973; e (b) 01/01/1993 a 31/12/1995. Esse índice do *aporte superficial 1* é citado neste tópico, porém não foi abordado neste trabalho.

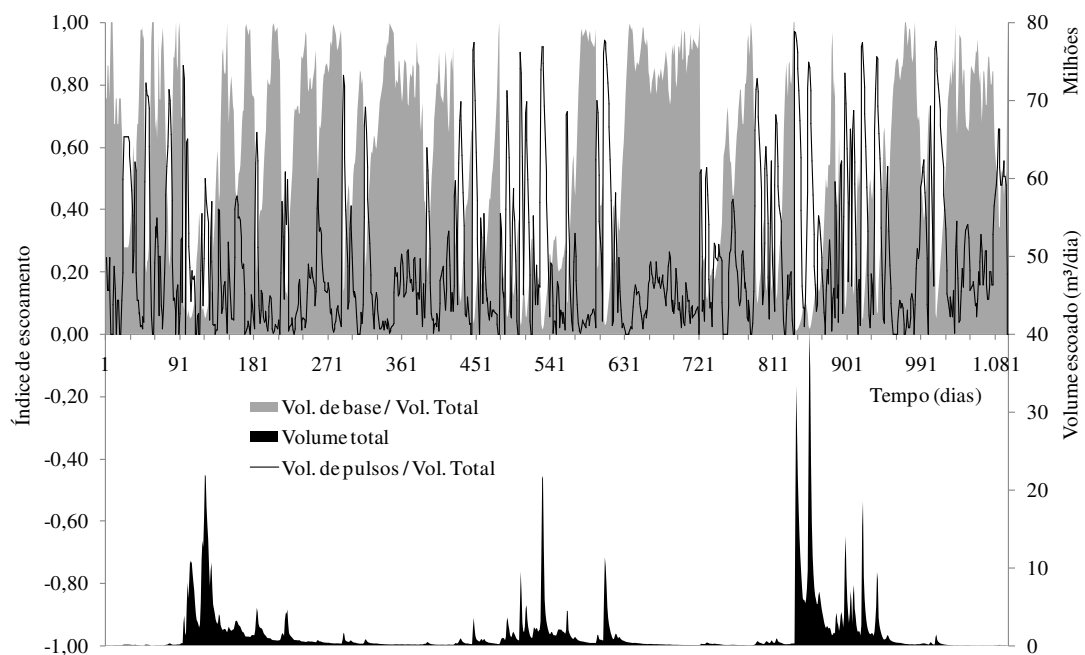


Figura 20: Índices de escoamento de base e o de pulsos de vazões em relação ao volume total escoado na estação Ponte da Batalha (período: 01/01/1971 a 31/12/1973)

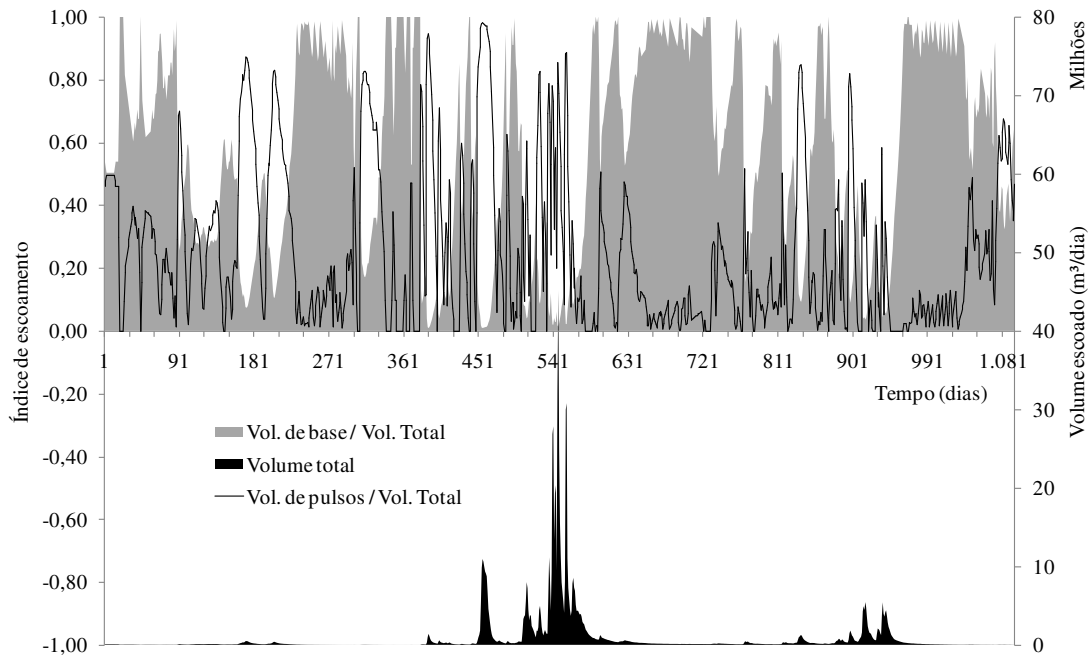
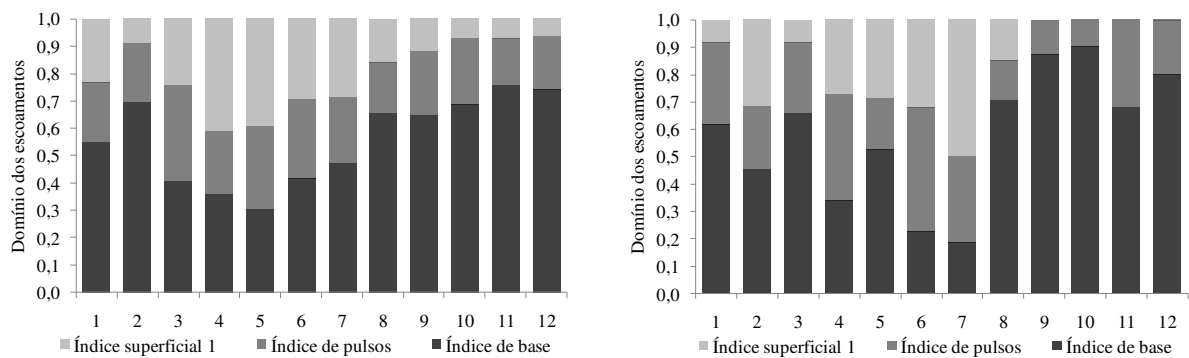


Figura 21: Índices de escoamento de base e o de pulsos de vazões em relação ao volume total escoado na estação Ponte da Batalha (período: 01/01/1993 a 31/12/1995)



(a) Período: 01/01/1971 a 31/12/1973

(b) Período: 01/01/1993 a 31/12/1995

Figura 22: Índices de escoamento frente ao volume total escoado na estação Ponte da Batalha.

4.4 - Cálculos das anomalias

4.4.1 - Anomalias das vazões e dos índices de escoamento

Os períodos relacionados ao escoamento se referem aos supracitados: 01/01/1971 a 31/12/1973 e 01/01/1993 a 31/12/1995, respectivamente. E estão associados aos anos de El Niño e La Niña (Gerólamo e Kayano, 2010).

Pelo uso da Equação 14, foram estimados os índices de anomalia das vazões (z_{qi}). De maneira similar foram obtidos os índices de anomalia dos escoamentos: z_{BFI} e z_{IP} , respectivamente.

Os gráficos das anomalias estão ilustrados em conjunto com as CWT's no item 4.5.

4.4.2 - Anomalias da precipitação pluvial

De modo a analisar os dados fluviométricos diários cujos períodos estejam inseridos em séries de mais de uma estação pluviométrica, foram calculadas anomalias para os anos de 1970 a 1976, e 1990 a 1997. Os gráficos das demais anomalias estão ilustrados em conjunto com as CWT's no item seguinte.

4.5 - Aplicação da Transformada de Wavelet (TW)

Com uso da Transformada de Wavelet Contínua (CWT) é possível rapidamente detectar concentrações de energia em várias faixas de escala, revelando periodicidades que, dependendo do tamanho da série e tipo de variável, poderá ser diagnosticada como persistente ou isolada (singularmente ou em grupos).

A CWT foi aplicada aos parâmetros hidroclimatológicos com período maior ou igual aos da vazão no posto fluviométrico Ponte da Batalha, 01/01/1971 a 31/12/1973 e 01/01/1993 a 31/12/1995.

As Figuras 23 a 33 apresentam os espectros de energia das wavelets (Torrence e Compo, 1998b). Foi utilizada a wavelet complexa de Morlet por ter as melhores propriedades de preenchimento do plano tempo-frequência com relação a todas as wavelets contínuas (Oliveira, 2007) com frequência $\omega_0 = 6$, com vasta aplicabilidade na área hidroclimatológica. De maneira geral as figuras estão assim dispostas: Primeiramente é ilustrado o sinal, em dados diários, a ser submetido à Transformada. Em seguida, logo abaixo, observa-se o escalograma, diagrama de período no domínio tempo-frequência onde, para cada escala do tempo, verifica-se a magnitude (espectro de energia) da respectiva wavelet ao longo da série temporal. Os espectros variam em níveis de cores, da menor (azul) para a maior frequência (vermelha), no plano escala (eixo das ordenadas) e tempo (eixo da abscissa).

As escalas ou períodos (em dias) se apresentam sequencialmente na potência de 2. Dessa forma configura-se assim a análise de multiresolução, através do periodograma de wavelet, variação dos parâmetros de escala e deslocamento.

O traçado em negrito corresponde a 95% do nível de confiança (5% de significância estatística). Por considerar o uso de funções de tempo finito, Torrence e Compo (1998b) utilizam o *cone de influência* – CI, região em branco, abaixo do espectro de energia, para desconsiderar os efeitos de borda, truncadas nas extremidades (Leão, 2008), pois tal região é suscetível a erros e não há confiança estatística. Integrado ao escalograma, do lado direito, apresenta-se o diagrama do espectro global de potência das wavelets, que mostra os períodos com maior energia (Bolzan, 2004), cujo traçado tracejado, em vermelho, também é

estatisticamente significativo a 95% (Trigo et al., 1999). Inicialmente apresenta-se a CWT aplicada às séries fluviométricas, em função das anomalias de vazão (Figuras 23 e 24).

Com o interesse de verificar tendências, ciclos ou oscilações pluviométricas em períodos mais abrangentes que os das séries fluviométricas analisadas, foram geradas, também, CWT na pluviometria e respectiva anomalia das estações Ponte da Batalha e Itabaiana, ambas para o mesmo período, de 01/01/1970 a 31/12/1976 (Figuras 25 a 29).

Em seguida as Figuras 30 a 33, mostram a aplicação de CWT nos índices de escoamentos e de pulsos de vazões, bem como nas anomalias dos mesmos, nos períodos de análise fluviométrica (01/01/1971 a 31/12/1973 e 01/01/1993 a 31/12/1995).

4.5.1 - CWT aplicada às anomalias das vazões

A Figura 23 mostra a série fluviométrica (a) e o respectivo sinal das anomalias (b) calculada para o mesmo período. O espectro de potência global de wavelet (d) mostra a maior variabilidade de energia entre as escalas de 32 a 64 dias. Comparando-se com o diagrama de espectro de energia de wavelet (c), verificam-se maiores energias de frequência na escala de 32 dias na estação chuvosa de 1971 e entre as escalas de 32 a 64 dias no período de recessão de 1972. Analisando o espectro de energia na escala de frequência de 16 dias, uma periodicidade anual é observada no mês de abril (destaques A, B e C na Figura 23c). Ao longo da série, sinais de menos intensidade ocorreram com frequências de 2 a 8 dias, com padrões distintos na escala temporal, na maioria dos casos entre 30 a 60 dias.

Para o período de 1993 a 1995, a Figura 24, o sinal das anomalias da vazão (a) revela dois picos, o primeiro não tendo relevância quantitativa, tendo em vista que o ano de 1993 o escoamento foi insignificante. Já o segundo pico, está associado a elevada vazão no mês de junho.

O espectro de wavelet (c) mostra energias entre as escalas 32 a 64 dias em quatro contornos ao longo do tempo, porém com períodos temporais em situações diferenciadas ao comportamento da vazão (a). Para 1993, o escoamento é muito baixo, sendo assim a consideração espectral não relevante. Em 1994, a energia de frequência portou-se maior no período de janeiro a julho, estatisticamente significativa de fevereiro a maio. As outras escalas temporais com significativa energia de frequência compreendem os meses de outubro de 1994 a fevereiro de 1995 e o dos meses de julho a dezembro de 1995, do pico à recessão deste ano. A escala de frequência de energia em 16 dias apresenta alguns pontos isolados, porém sem relevância periódica em escala temporal.

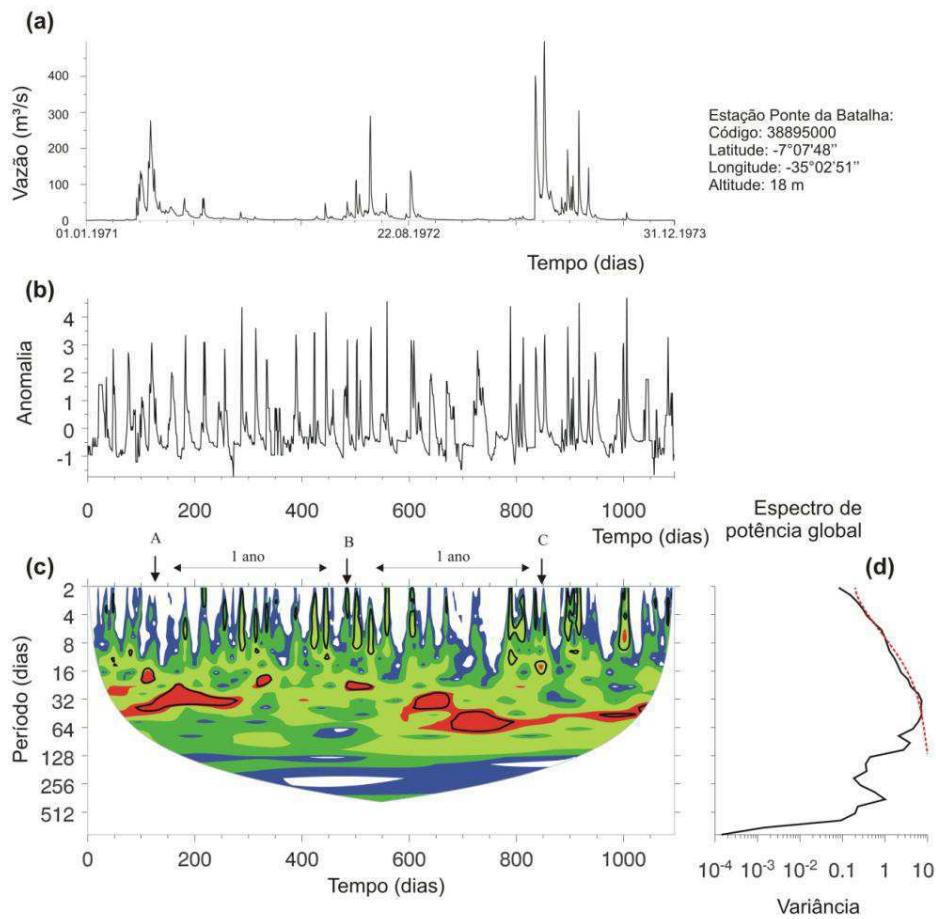


Figura 23: Análise de Wavelet das anomalias da vazão. Ponte da Batalha. Período de 01/01/1971 a 31/12/1973.

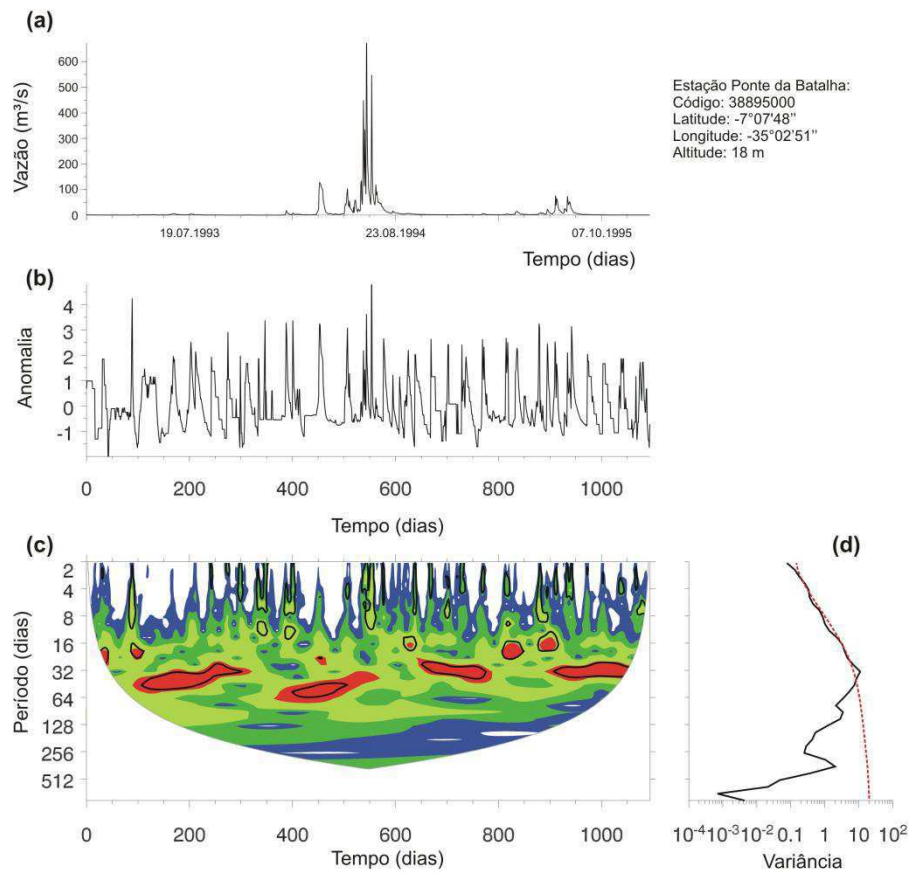


Figura 24: Análise de Wavelet das anomalia da vazão. Ponte da Batalha, Período de 01/01/1993 a 31/12/1995

4.5.2 - CWT aplicada aos sinais de precipitação pluviométrica

Período de 1970 a 1976

A Figuras 25 e 26 mostram a CWT aplicada nas estações Ponte da Batalha e Itabaiana. A análise comparativa do Espectro Global de Potência de Wavelet nessas figuras, tanto nos valores da precipitação (Figura *b_{iii}*), como nos sinais das anomalias (Figura *b_{vi}*) mostram inicialmente fortes indícios de similaridades entre os dados. Assim sendo com o objetivo de identificar sinais comuns, foi utilizada a discretização dos sinais mais fortes e das curvas de significância do Espectro de Energia e de Potência Global de Wavelet nas séries analisadas. Posteriormente foi empregada a sobreposição dessas partes discretizadas de maneira a analisar de forma integrada os espectros de wavelet.

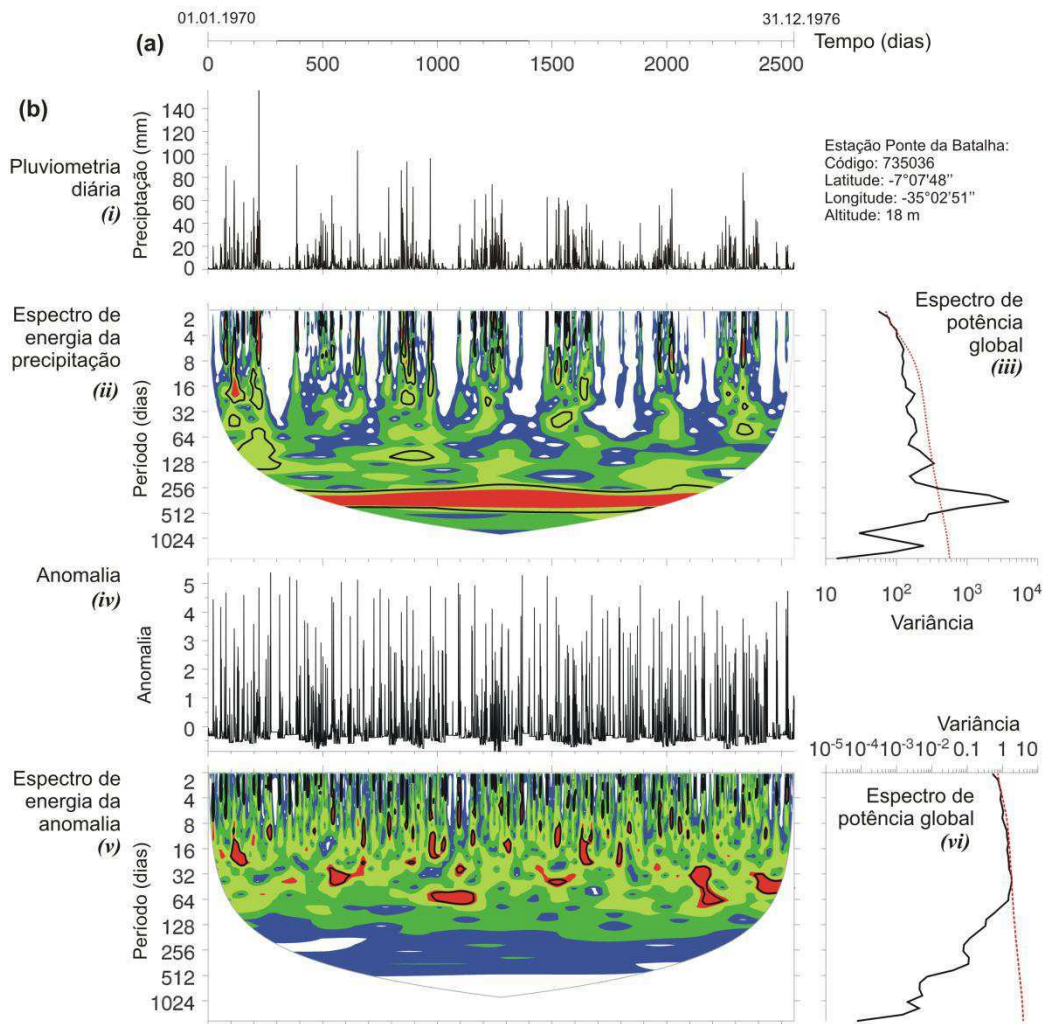


Figura 25: Análise de Wavelet para precipitação diária em Ponte da Batalha no período de 01/01/1970 a 31/12/1976.

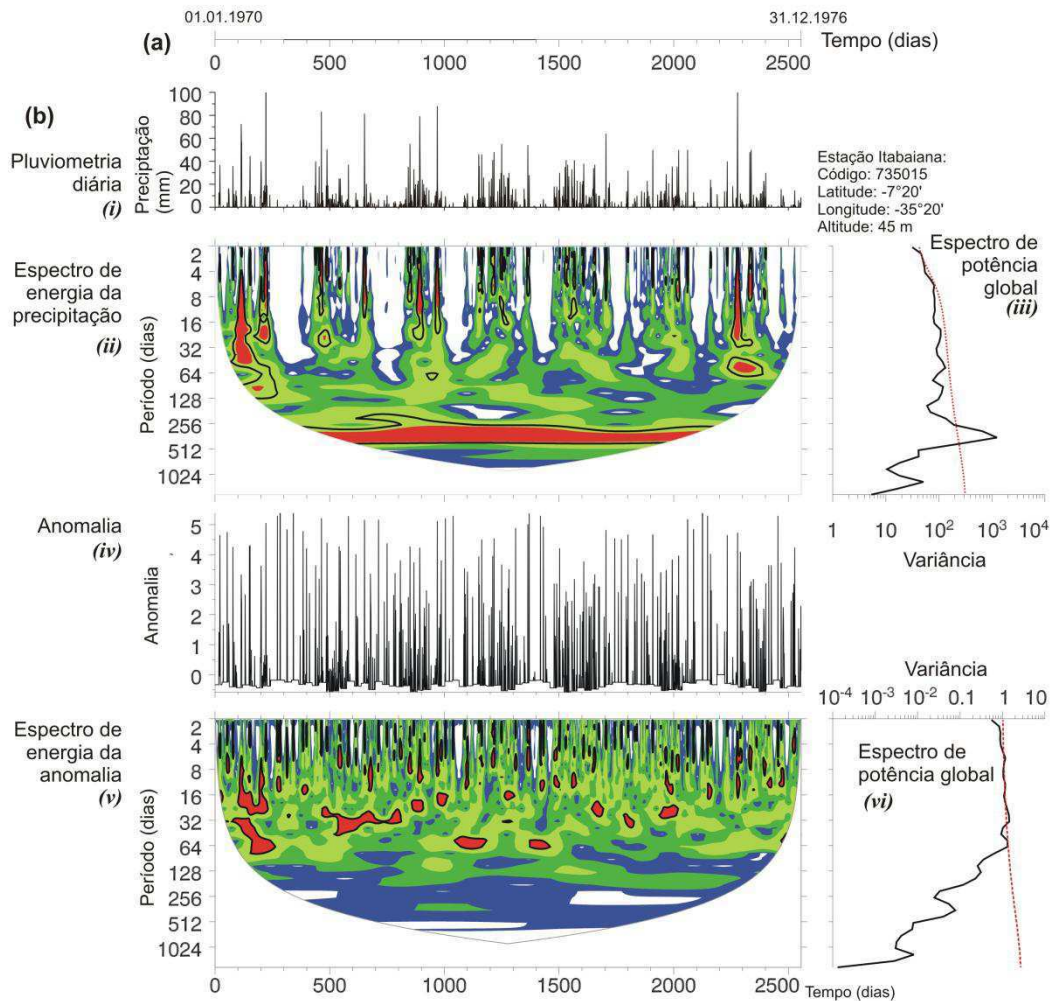


Figura 26: Análise de Wavelet para precipitação diária em Itabaiana no período de 01/01/1970 a 31/12/1976.

A análise sobreposta teve ênfase nos dois aspectos mais relevantes do escalograma de wavelet: o traçado de significância estatística ao nível de 5%, sendo na cor azul para estação Ponte da Batalha e na cor vermelha para a estação Itabaiana; e as manchas de espectro vermelho (do sinal mais forte) com 50 % de transparência para cada estação. De modo que, na ocorrência do cruzamento de ambos os espectros mostram a intersecção dos sinais mais fortes, com destaque no vermelho 100% e na significância estatística. A Figura 27 mostra alguns exemplos dessas aproximações, como: (A) contornos de significância estatística e espectro da frequência mais forte bastante coincidentes; (B) contornos de significância aproximadamente coincidentes circundando o espectro vermelho; (C) contornos seccionados parcialmente e presença de sinais de forte frequência; e (D) apenas traçados de significância aproximados.

Precipitação pluvial

A imagem sobreposta do espectro global de wavelet (Figura 27b) mostra uma diferença aparentemente linear de magnitude da energia, com comportamento do sinal ao longo das escalas bastante semelhante.

Na Figura 27a, o espectro de energia da série pluviométrica mostra, para cada ano (exceto 1975 e 1976), conjuntos de frequência de 2 a 8 dias localizados na banda de inverno (março a agosto), notadamente nos três primeiros meses desta sazão. Os anos de borda da série, 1970 e 1976, apresentaram sinais continuamente significativos em períodos superiores a 32 dias, com espectro de energia mais expressivo na estação Itabaiana.

Nessa mesma figura quando se situa na escala anual de frequência do espectrograma de wavelet, o respectivo espectro de potência global, Figura 27b, mostra que nessa escala compreende as maiores energias, tanto as curvas de significância estatística como no sinal de energia mais forte das wavelets, comportam-se bastante coincidentes em toda escala temporal. Tal fato revela que periodicidade anual de chuvas é relativamente regular.

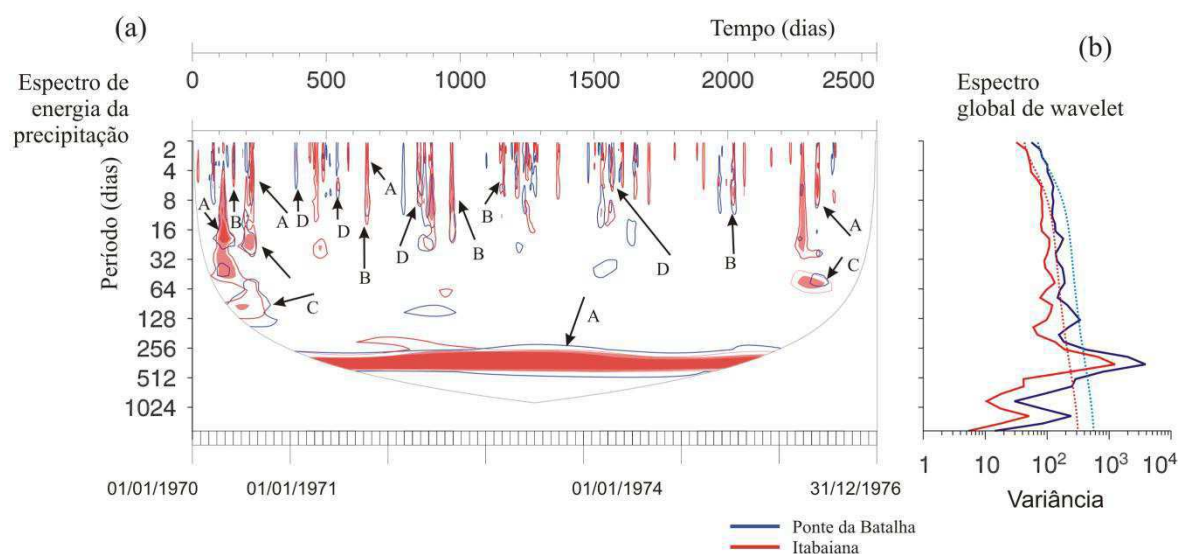


Figura 27: Sobreposição dos escalogramas e espectro de energia global de wavelet dos sinais de precipitação pluviométrica em Ponte da Batalha e Itabaiana (01/01/1970 a 31/12/1976).

Anomalias da precipitação

A Figura 28a, apresenta a sobreposição da CWT aplicada nas anomalias dos sinais de precipitação nas estações Ponte da Batalha e Itabaiana, respectivamente Figuras 25bv e 26bv. O espectro global de wavelet (Figura 28b), bem como os intervalos do sinal vermelho no escalograma, indicam que os sinais de maiores energias de frequência estão setorizadas nas faixas de 2 a 64 dias em multiescalas temporais. Nas escalas de 2 a 8 dias, praticamente em todos os meses da série o espectro apresenta forte energia do sinal. Na escala de 16 dias, a

energia de wavelet é mais evidente em 1971 e em 1976, entre fevereiro e março (estação Itabaiana), já para os anos 1972 a 1974, o espectro significativo se concentra entre junho a agosto. Para escala de 32 a 64 dias períodos sinais fortes ocorrem entre 3 a 4 meses em diferentes períodos do ano.

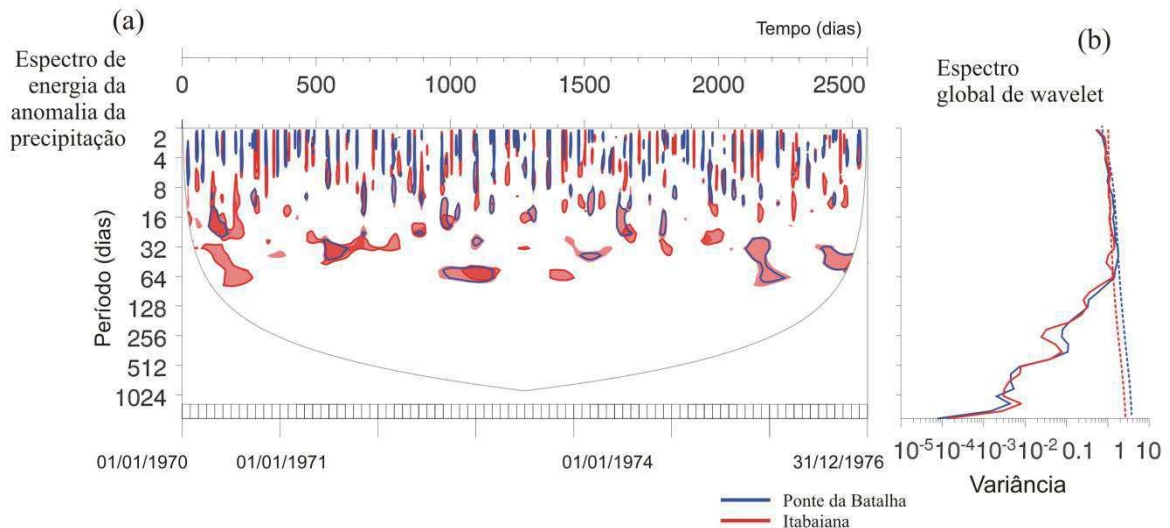


Figura 28: Sobreposição dos escalogramas e espectro de energia global de wavelet dos sinais das anomalias em Ponte da Batalha e Itabaiana (01/01/1970 a 31/12/1976).

Período de 1990 a 1996

Precipitação pluvial

Na Figura 29, observam-se no espectro de energia de wavelet (Figura 29c) da série pluviométrica, grupos de sinais com menos energia, porém alguns com significância estatística, entre as escalas de 2 a 8 dias espaçados pelos períodos chuvosos na escala temporal. O sinal mais forte no espectro de potência global de wavelet (Figura 29d) observa-se na escala anual (365 dias), que foi apenas suprimida pelo ano de 1973 em função dos baixíssimos índices pluviométricos, com significância estatística contornando de forma espaçada e irregular frente ao fundo vermelho.

Anomalias da precipitação

Referente às anomalias pluviométricas no período de 1990 a 1996 na estação Ponte da Batalha, observa-se no escalograma da Figura 29f, fortes energias com significância estatística para as escalas de 2 a 64 dias. Ao longo de toda série, entre as escalas de 2 a 8 dias, as curvas com significativa relevância de energia compreendem, na maioria das vezes, periodicidades entre 30 a 60 dias. Próximo a escala de 16 dias, sinais mais fortes da anomalia em diferentes escalas de tempo-frequência, não permite detectar visualmente alguma

periodicidade. O mesmo ocorre na escala de 32 e 64 dias, com algumas regiões de energia significativa da anomalia.

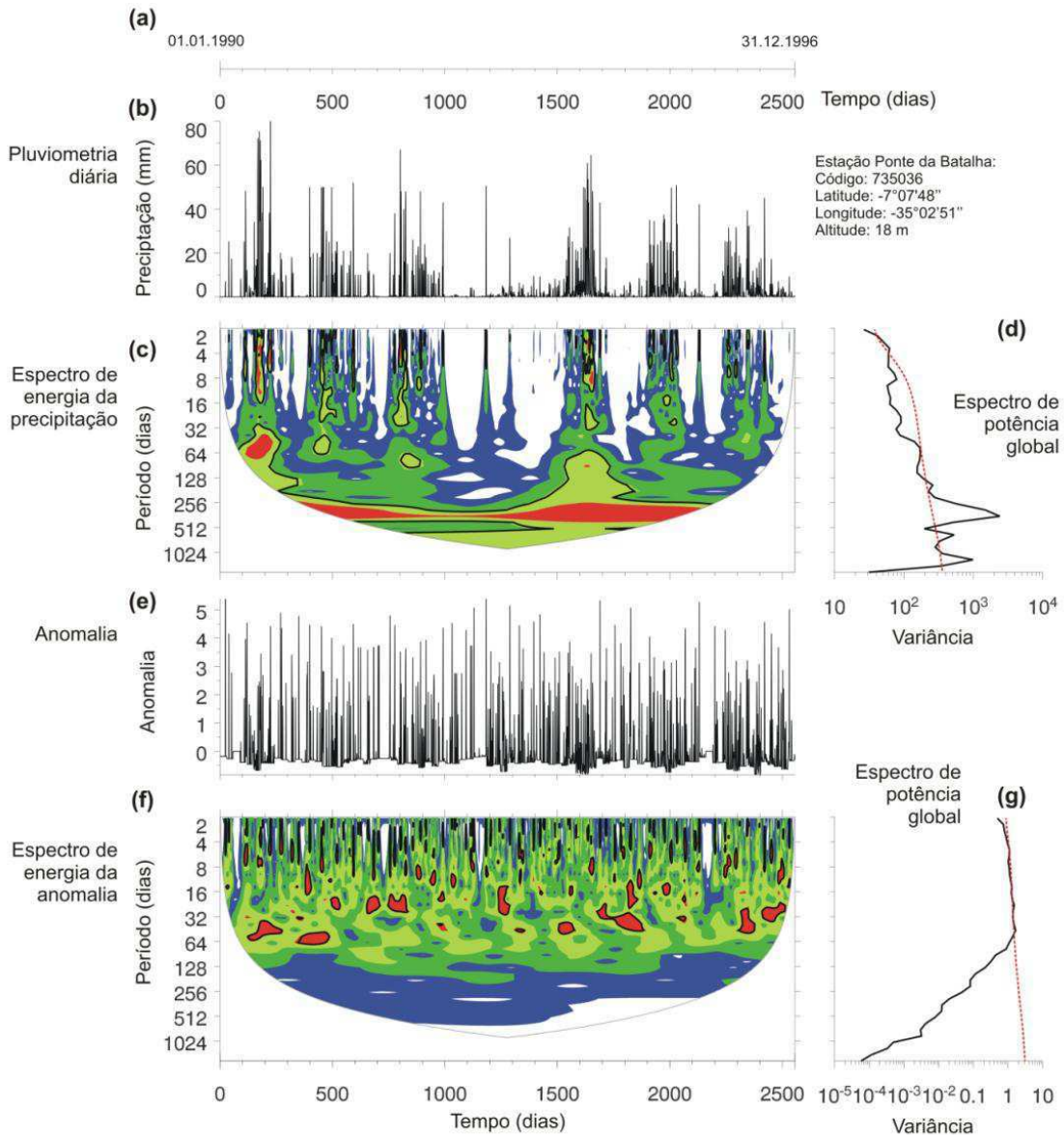


Figura 29: Análise de Wavelet em precipitação diária: Período de 01/01/1990 a 31/12/1996 na estação Ponte da Batalha

4.5.3 - CWT aplicada aos índices de escoamento

As Figuras 30 a 33 mostram a CWT aplicada aos índices e anomalias de escoamento de base (BFI) e de pulsos de vazões (IP), respectivamente. Os índices calculados em função das Equações 15 e 16 e as anomalias calculadas através da Equação 14.

Período associado a La Niña (1971 a 1973)

CWT aplicada ao BFI

Observa-se na Figura 30a o sinal do BFI, cuja frequência e amplitude tem comportamento bastante irregular, de difícil localização visual de alguma periodicidade. A Figura 30c mostra o espectro de potência global de wavelet do BFI, onde se observa energia crescente desde as escalas menores, 2 dias, até as maiores, escala anual. Esta última condicionada pelas mudanças significativas o BFI de abril a julho. Os períodos de 2 a 8 dias, observados no escalograma, não apresentam fortes energias apenas alguns contornos apontam significância estatística de 5%, especialmente no início de ascensão do escoamento.

O BFI portou-se com energia um pouco mais elevada nas escalas quinzenais e mensais no ano de 1971 e de junho de 1972 a junho de 1973. Em geral o BFI não apresentou características significativas no espectro de energia de wavelet.

CWT aplicada às anomalias do BFI

As anomalias do BFI (z_{BFI}) mostram o comportamento do sinal normalizado em cada mês. Facilita-se assim, a análise comportamental do domínio do escoamento de base numa ótica mensal.

Não diferente da CWT no BFI, o espectro de energia das anomalias dos índices de base (z_{BFI}) nas escalas de frequência de 2 a 8 dias, portou-se sem variâncias significativas. Porém, observando-se o sinal da anomalia, Figura 30d, percebe-se mudanças expressivas relacionadas as fases final e inicial do escoamento de base (detalhe A e B). O espectro de potência global de wavelet revela que o sinal mais forte encontra-se entre as escalas de 16 e 64 dias. O escalograma mostra a energia mais forte e os contornos de significância estatística do z_{BFI} ao longo da escala temporal: do início de 1971 a junho de 1972, nas escalas de frequência de 16 a 32 dias; e de julho de 1972 ao fim da série, nas escalas de 32 a 64 dias.

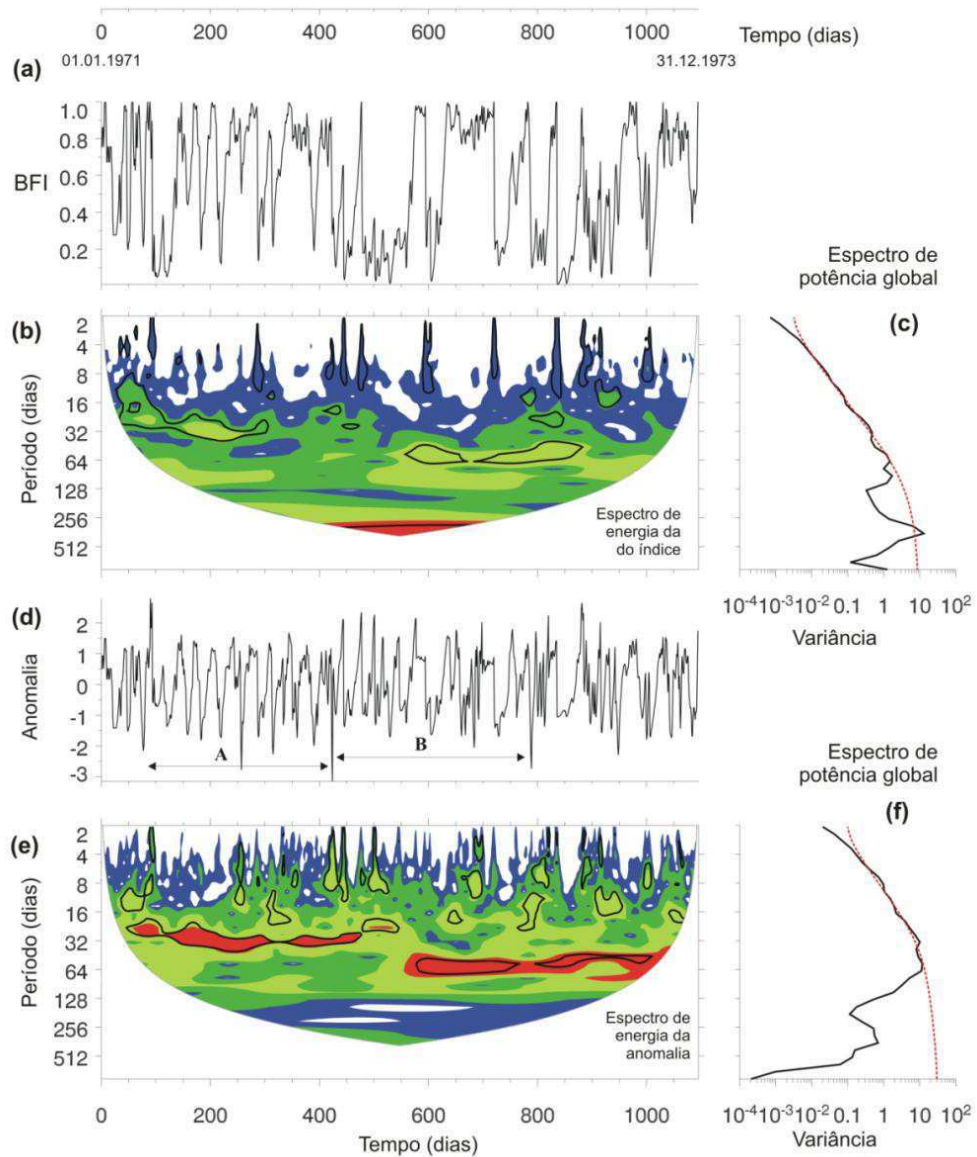


Figura 30: Análise de Wavelet no escoamento (01/01/1971 a 31/12/1973): BFI - Índice de escoamento de base

CWT aplicada ao IP

A Figura 31 apresenta a aplicação da CWT no sinal do IP diário. O uso da transformada de wavelet nesse índice pode configurar o comportamento dos pulsos frente ao volume total do rio, indicando as escalas de frequências mais significativas, oferecendo suporte técnico do desempenho do escoamento nas zonas ripárias.

A Figura 31a, mostra o comportamento do IP, mais intenso no início de 1971 e nos períodos chuvosos de 1972 e 1973. O espectro de potência global de wavelet (Figura 31c) indica que os valores mais significativos do espectro de energia (Figura 31b) estão na escala de frequência de 64 dias, observado nos 1972 e 1973 nos meses de junho a setembro. Outras ocorrências com energias bem menos expressivas compreendem as frequências de 4 a 16 dias.

De maneira geral, não é revelada alguma periodicidade nem predominância de fortes energias em todo o sinal do IP.

CWT aplicada às anomalias do IP

Mais uma vez, a análise das anomalias como ferramenta para detectar picos relevantes facilita a localização temporal de ciclos. Na Figura 31d observa-se uma periodicidade anual nas anomalias do IP (z_{IP}): picos entre os meses de junho e julho (trechos A e B) com período de 12,5 meses.

A figura 31f mostra que as maiores energias configuram nas escalas de frequência de 32 a 64 dias, com fortes energias de julho a dezembro em cada ano (Figura 31e). Outros setores de energia significativa compreendem as escalas de frequência de 8 a 16 dias, de fevereiro a abril de 1971 e de janeiro a agosto de 1973.

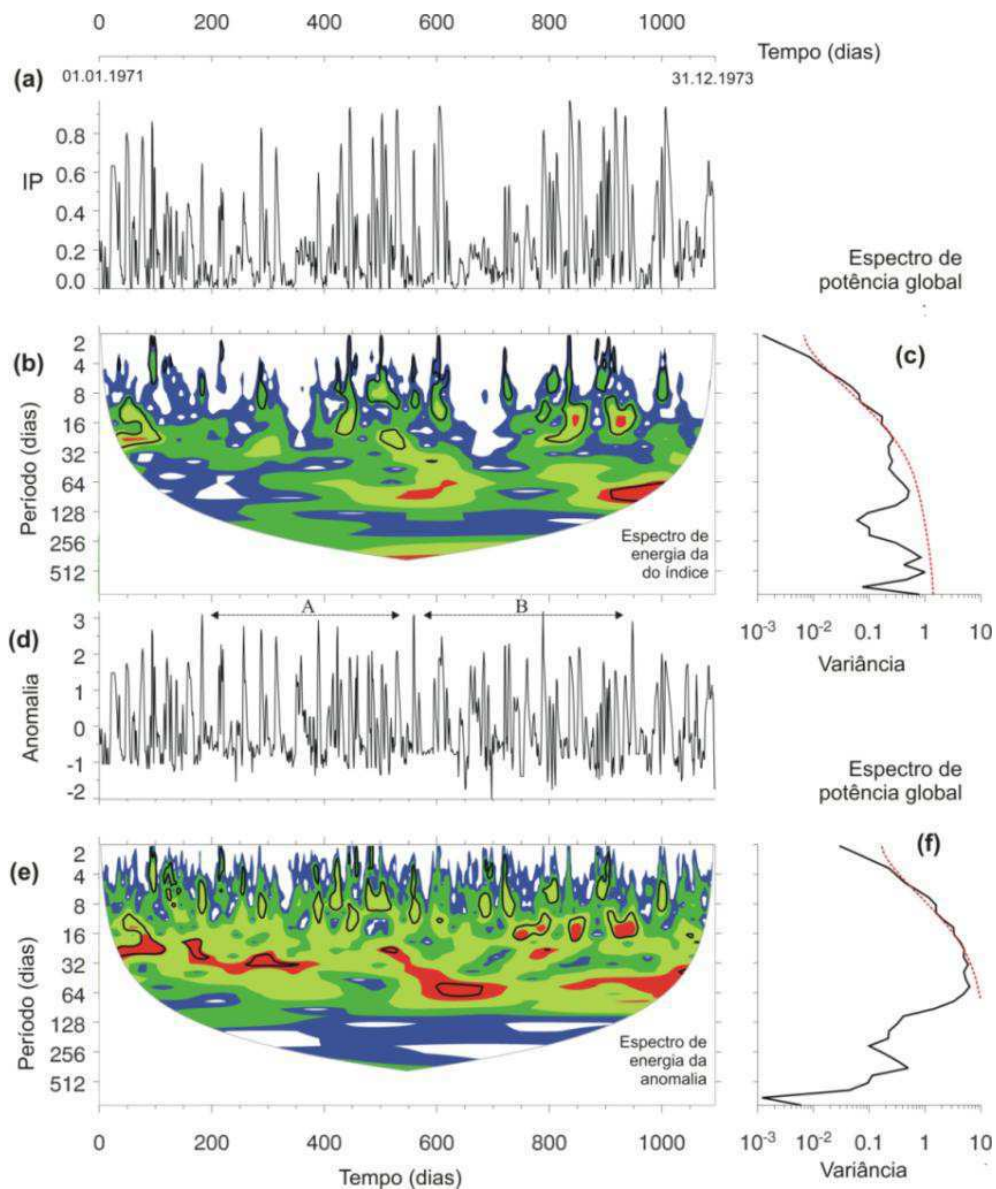


Figura 31: Análise de Wavelet no escoamento diário. (01/01/1971 a 31/12/1973): IP – Índice de pulsos.

Período associado a El Niño (1993 a 1995)

CWT aplicada ao BFI

A Figura 32b mostra que, assim como no período de 1971 a 1973, o BFI entre 1993 a 1995, não apresentou características significativas no espectro de energia de wavelet. Apenas dois períodos com significância estatística ao nível de 5%, porém de baixa energia: no ano de 1994 e entre o final de 1994 e início de 1995. Um pequeno trecho próximo ao vértice do cone de influência mostra que na escala anual ocorreu maior energia no espectro, condicionado pelos altos valores do escoamento de 1994 no período chuvoso.

CWT aplicada às anomalias do BFI

A Figura 32d mostra que a anomalia do BFI apresentou um forte pico em março de 1993, porém sem relevância quantitativa, tendo em vista que as vazões foram bastante baixas nesse ano.

O espectro global de wavelet (Figura 32f) mostra que a maior energia de frequência está associada à escala de 32 a 64 dias, paralelamente observado no espectrograma de wavelet, com contornos distribuídos irregularmente na escala temporal. A informação mais relevante refere-se ao ano de 1994, em função da forte influência do escoamento, com contornos de maior energia e significância estatística no período de fevereiro a agosto. A caracterização de multiescalas de frequência espaçadas irregularmente no tempo, não permite revelar alguma periodicidade em todo o sinal.

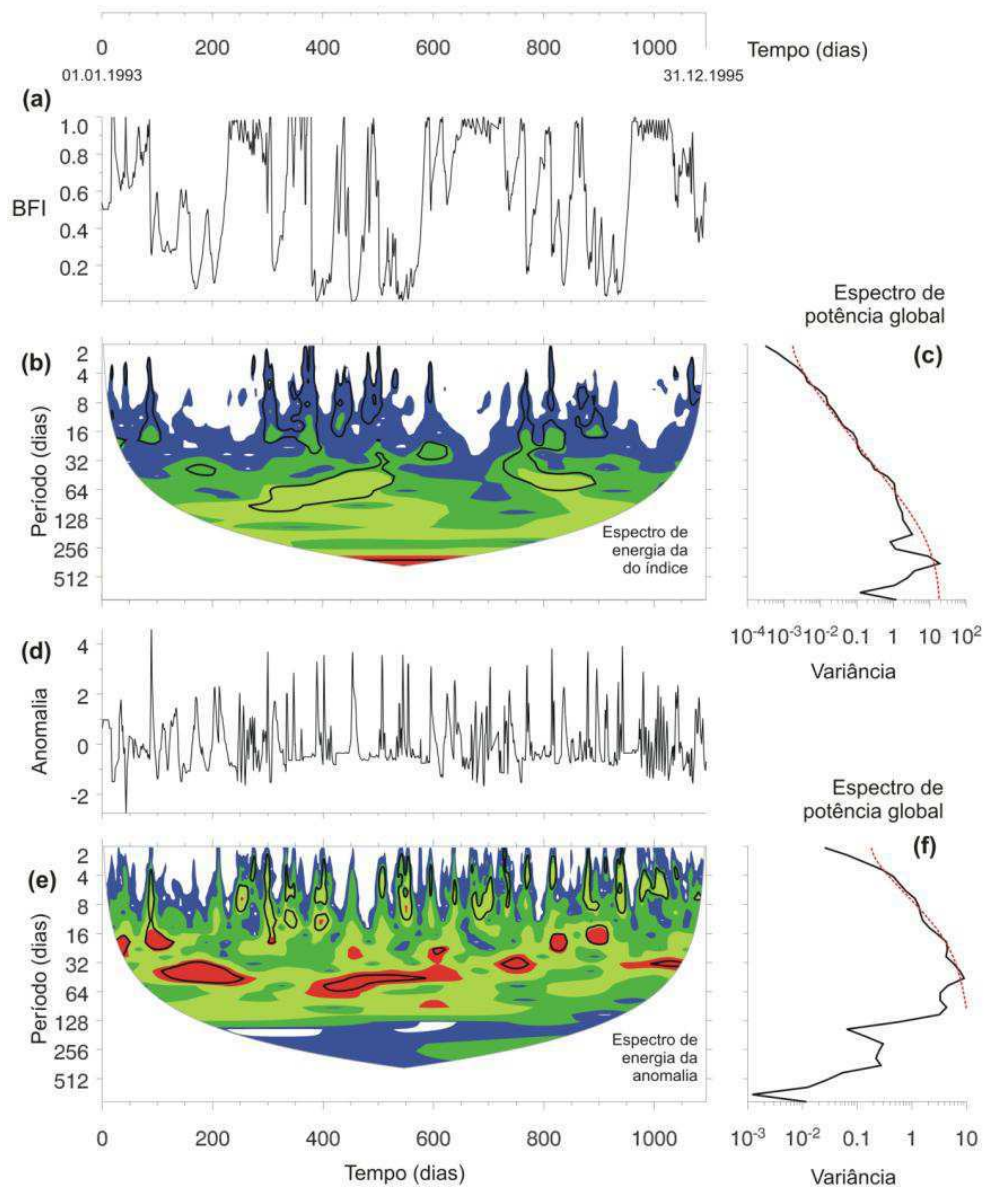


Figura 32: Análise de Wavelet no escoamento (01/01/1993 a 31/12/1995): BFI – Índice de escoamento de base

CWT aplicada ao IP

A Figura 33b mostra o espectro de energia de wavelet no sinal do IP para o período de 1993 a 1995. Apenas a escala de frequência de 64 dias apresentou significância estatística ao nível de 5% com forte energia no período de novembro de 1993 ao final de julho de 1994.

CWT aplicada às anomalias do IP

Na análise das wavelets aplicadas às anomalias do IP, observa-se que o espectro de potência global (Figura 33f) associado ao escalograma (Figura 33e) aponta que as escalas de frequência entre 16 e 64 dias apresentam as maiores energias, sendo a escala de 32 dias dominante. No ano de 1993, tendo em vista os baixos valores de escoamento, o IP não tem

relevância quantitativa na abordagem de instrumentos de gestão hídrica. Já em 1994, ano com altos valores de escoamento, as energias mais significativas compreenderam os meses de janeiro a outubro nas escalas de frequência de 32 a 64 dias. Em 1995 as maiores energias ocorreram nas escalas quinzenal e mensal, em três pequenos intervalos espaçados, com destaque para o período de maio a junho, na ascensão do escoamento.

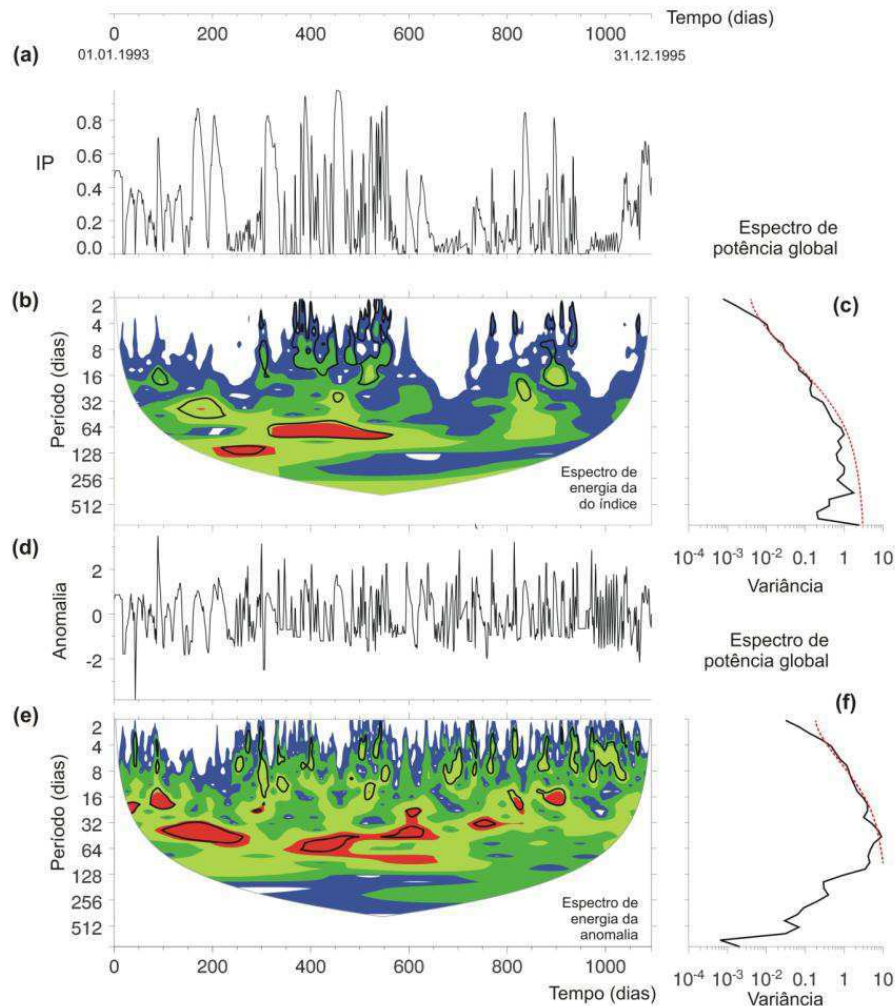


Figura 33: Análise de Wavelet no escoamento diário. (01/01/1993 a 31/12/1995): IP – Índice de pulsos.

4.6 - Confeção dos hidrogramas

Os hidrogramas representam a vazão média mensal cuja discretização espaço-temporal está associada à metodologia aplicada às informações diárias dos períodos de escoamento supracitados (01/01/1971 a 31/12/1973 e 01/01/1993 a 31/12/1995). A subdivisão do escoamento na escala temporal compreendeu três fases: ascensão, recessão inicial e escoamento de base. As abordagens conclusivas do escoamento consideram aspectos pluviométricos, índices de escoamento e as anomalias calculadas, segundo a Análise de Wavelet Contínua. Uma característica peculiar em cada um dos hidrogramas é a análise da

amplitude dos pulsos de vazões diárias (destaque entre a variabilidade dos pulsos nas Figuras 46 e 47).

A Figura 34 mostra o comparativo das curvas de volumes diários acumulados ao longo dos três anos de dados de vazões, tanto para o período de La Niña como El Niño. Observa-se que o período de La Niña foi mais úmido que o El Niño. **Atenta-se que, mesmo com tal característica, a relação entre El Niño e as secas no NEB não é unívoca (Araújo e Da Silva, 2011),**

A média da vazão acumulada no período de La Niña foi de 9.696,08 m³/s, e o desvio-padrão de 5.873,10 m³/s, cujo coeficiente de variação foi de 0,61. Para o período de El Niño, a vazão média foi de 5.083,97 m³/s e o desvio-padrão de 4.629,66 m³/s, com coeficiente de variação de 0,91.

Assim sendo, pode ser visto que há maior variabilidade da vazão no período de El Niño do que nos de La Niña.

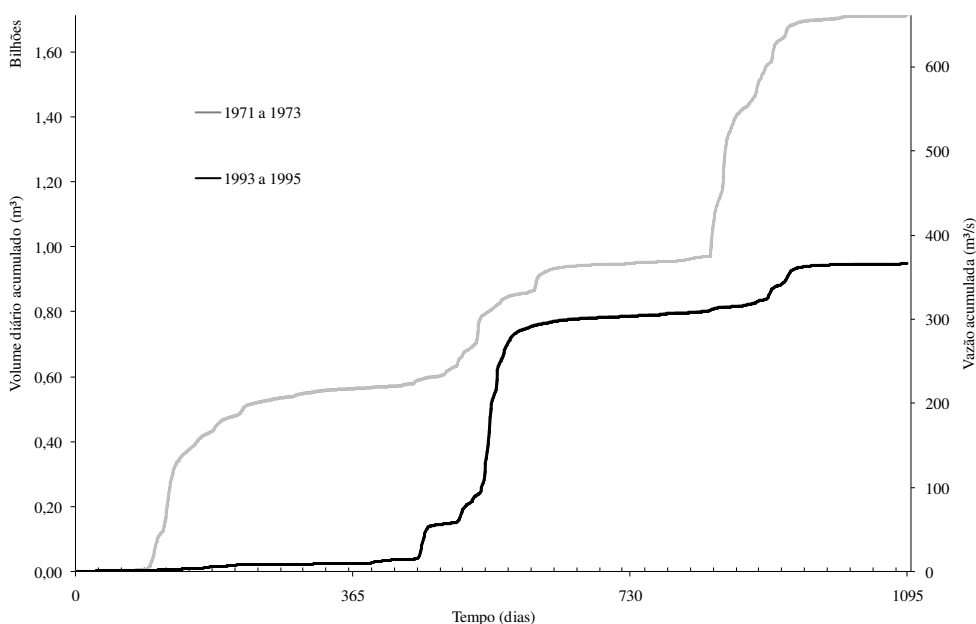


Figura 34: Comparação entre os volumes (ou vazões) diários acumulados nos três anos para os períodos de El Niño e de La Niña.

A Figura 35 mostra as curvas de permanência das vazões referentes aos eventos de La Niña e de El Niño. Pode ser visto na Tabela 4 os valores da Q90, 20% da Q90, e as vazões ambientais para o período de base proposta neste estudo (Figuras 38 e 39). A vazão ecológica comumente sugerida ao longo do ano, que é 20% da Q90. Isso representa 33,1% e 24,9% da vazão mínima de base dos hidrogramas de La Niña (Figura 38) e de El Niño (Figura 39), respectivamente. Desse modo, as vazões habitualmente utilizadas estão aquém das propostas neste estudo.

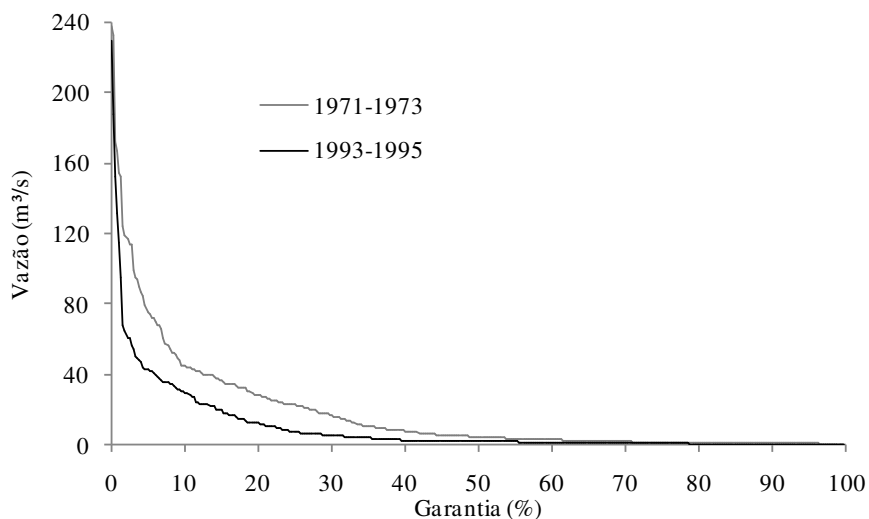


Figura 35: Curvas de permanência das vazões referente aos dois períodos: de La Niña e de El Niño

Tabela 4: Valores das vazões Q90, 20%.Q90 e vazão mínima de base para o escoamento ambiental

	La Niña	El Niño
Q90	0,8773	0,5243
20% Q90	0,1755	0,1049
Limite mínimo de base	0,5293	0,4214

Adaptação dos hidrogramas à análise espectral dos sinais

A Análise de Wavelets mostrou relevâncias de energia de frequência nas escalas diárias, notadamente nos períodos de 2 a 8 dias nos sinais de precipitação e respectivas anomalias. Nos índices, mesmo apresentando baixa energia de frequência, foram observadas significâncias ao nível de 5%, especialmente nos índices de pulsos.

A Figura 36 mostra o sinal das vazões médias diárias de cada semana nas situações de ascensão, recessão e estabilidade do escoamento para o período de La Niña. Nessa mesma figura, note que a linha tracejada refere-se ao sinal comum da variabilidade da vazão. A maior variabilidade é observada entre meados de abril e meados de maio, e no mês de junho, este último foi enfatizado nas anomalias do sinal do IP (Figura 31d). Variabilidades menores ocorrem de julho a setembro, meses também relacionados à períodos de forte energia observados na CWT das anomalias do IP (Figura 31e). Os valores de vazões estáveis se apresentam relativamente pequenos ao longo do ano.

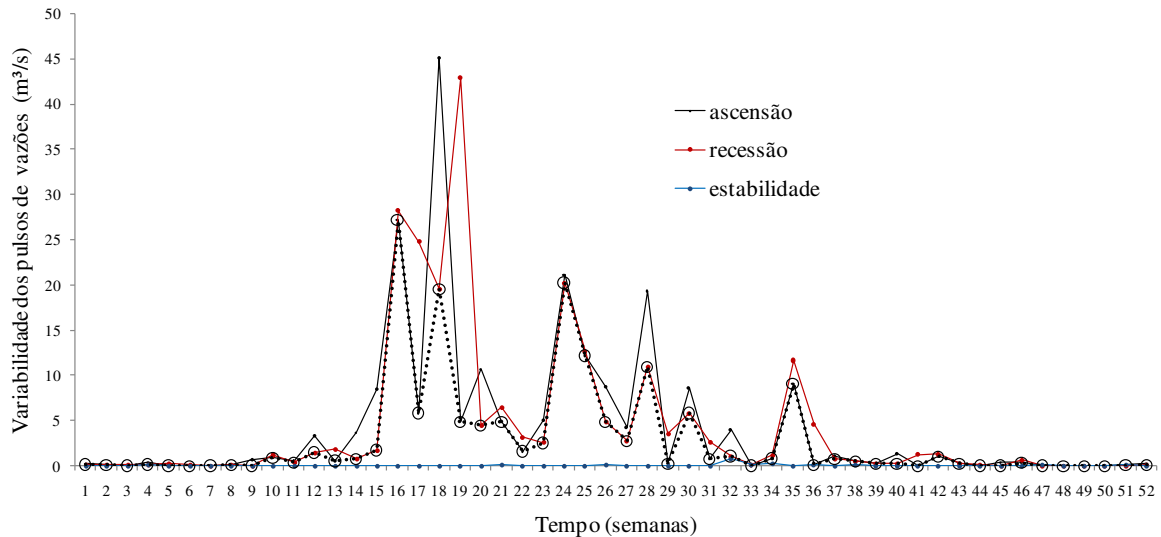


Figura 36: Variabilidade dos pulsos em m^3/s - média diária para cada semana – Período (01/01/1971 a 31/12/1973)

Na Figura 37 observa-se a variabilidade dos pulsos de vazões médias diárias de cada semana na ascensão, recessão e estabilidade para o período de El Niño. O traçado comum da variabilidade tem grandeza proporcional bem menor do que a amplitude do sinal, delimitando forte diferença entre a ascensão e recessão. As maiores variabilidades ocorreram entre o final de março e início de abril e entre a primeira semana de junho a meados de julho, meses também relacionados com períodos de forte energia de frequência observados na CWT do IP (Figura 33b). Menores variabilidades ocorreram entre meados de maio e início de junho. De forma similar ao período de La Niña, o comportamento estável do pulso apresenta valores baixos ao longo do ano.

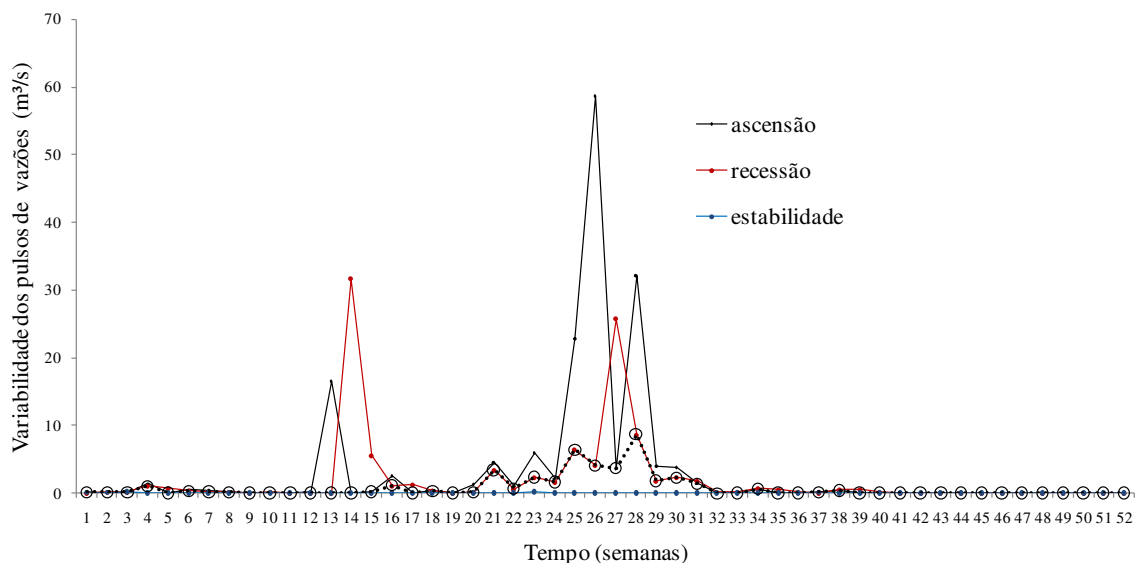


Figura 37: Variabilidade dos pulsos em m^3/s - média diária para cada semana Período (01/01/1993 a 31/12/1995)

Hidrograma em anos de La Niña

A Figura 38 mostra o hidrograma obtido para vazões médias diárias em cada mês. Foi subdividido na escala temporal a partir do mês de março, para melhor representar as três subdivisões: ascensão, recessão e escoamento de base. O Anexo 4 apresenta os volumes e as vazões correspondentes a essas subdivisões.

A curva de volume acumulados na Figura 38, mostra as três etapas com comportamentos característico dos períodos de ascensão e de estabilidade do escoamento de base. Esse fato condicionou um hidrograma médio bem mais representativo nesse triênio do que o período de El Niño.

Considerando a Análise de Wavelet nos períodos relacionados à série de La Niña, alguns pontos relevantes devem ser considerados:

- Anomalia da vazão (z_Q): Na banda de 2 a 8 dias, apresentou contornos de significância estatística ao nível de 5%, porém com baixa energia e padrões distintos na escala temporal. Na escala de 16 dias, foi detectada uma periodicidade anual no mês de abril. Fortes energias de frequência foram reveladas na escala mensal, porém não foi possível detectar periodicidades.
- Precipitação (P): A frequência na escala de 2 a 8 dias foi estatisticamente significativa ao nível de 5% na escala temporal de março a maio. A periodicidade anual de chuvas comportou-se de forma regular.
- Anomalia de precipitação (z_p): Revelou forte energia nas escalas de 2 a 8 dias. Nas escalas mensais de frequência, as energias mais fortes apresentam-se espaçamentos temporais de 3 a 4 meses.
- Índice do escoamento de base (BFI): Não há relevância em todo o espectro de energia.
- Anomalia do BFI (z_{BFI}): Picos significativos no início e final do escoamento de base foram observados. Energia intensa de frequência em toda série foi verificada na escala mensal.
- Índice de pulsos (IP): Nenhuma periodicidade foi revelada em todo o sinal da série temporal.
- Anomalia em índice de pulsos (z_{IP}): Foi revelada, periodicidade anual nos meses de maior pico, junho e julho.

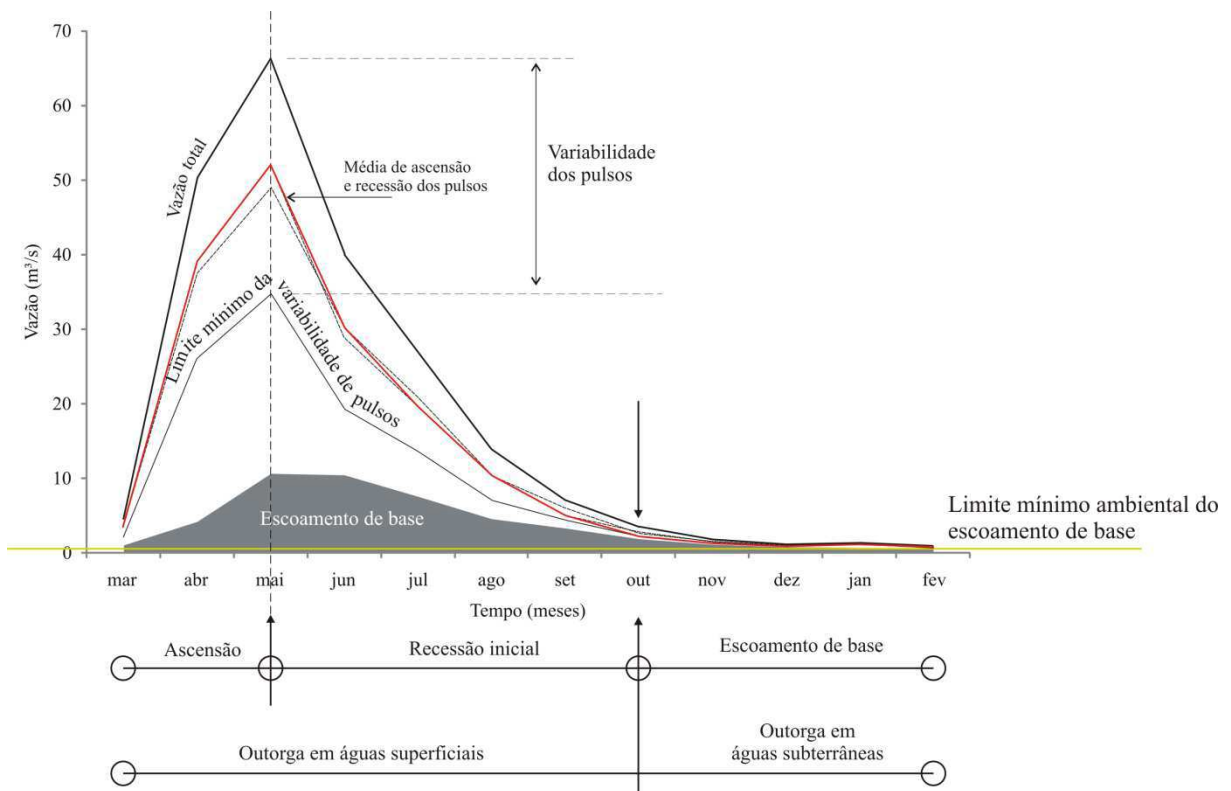


Figura 38: Separação dos escoamentos e subdivisão temporal do hidrograma para os anos de La Niña (Período de análise: 01/01/1971 a 31/12/1973)

Hidrograma em anos de El Niño

No período de El Niño o hidrograma representa a média diária de 1993 a 1995. O ano de 1994 foi o ano que mais contribuiu para o traçado geral do hidrograma.

Considerando a Análise de Wavelets aplicada em períodos relacionados à série de El Niño, se destacam-se:

- Anomalia da vazão (z_Q): Apesar de quatro concentrações de energia na escala mensal, a relação escala temporal dessas concentrações não revela periodicidade. O escoamento do ano de 1994 foi responsável pela forte energia de janeiro a julho.
- Precipitação (P): Em períodos de chuva, na escala de frequência de 2 a 8 dias, ocorreram menores energia ao nível de significância de 5%.
- Anomalia de precipitação (z_p): Foi revelada forte energia de frequência no período de 2 a 64 dias, ao nível de 5%, na escala de 2 a 8 dias, com periodicidade mensal. Nas demais escalas, não foi possível detectar periodicidades. Evidencia-se, portanto, a irregularidade do sinal.
- Índice do escoamento de base (BFI): Não apresentou características significativas no espectro de energia de wavelet.

- Anomalia do BFI (z_{BFI}): Verificou-se vários intervalos de energias em diferentes escalas de frequência e tempo, porém há maior relevância em 1994, de fevereiro a agosto nas escalas mensais.
- Índice de pulsos (IP): Foi claramente destacada forte energia de frequência da ascensão à zona de pico, de novembro de 1993 a julho de 1994.
- Anomalia em índice de pulsos (z_{IP}): Foi observada energia relevante na escala mensal, de janeiro a outubro, condicionado à escala temporal de 1994.

Observando o hidrograma na Figura 39, verifica-se uma anomalia no período março a maio. Os aportes superficiais em 1994 caracterizaram o traçado. A expressiva amplitude dos pulsos, com sensíveis variações de ascensão e recessão, resume o comportamento da variabilidade média nas regiões de pico: mês de abril; e meses de junho a julho.

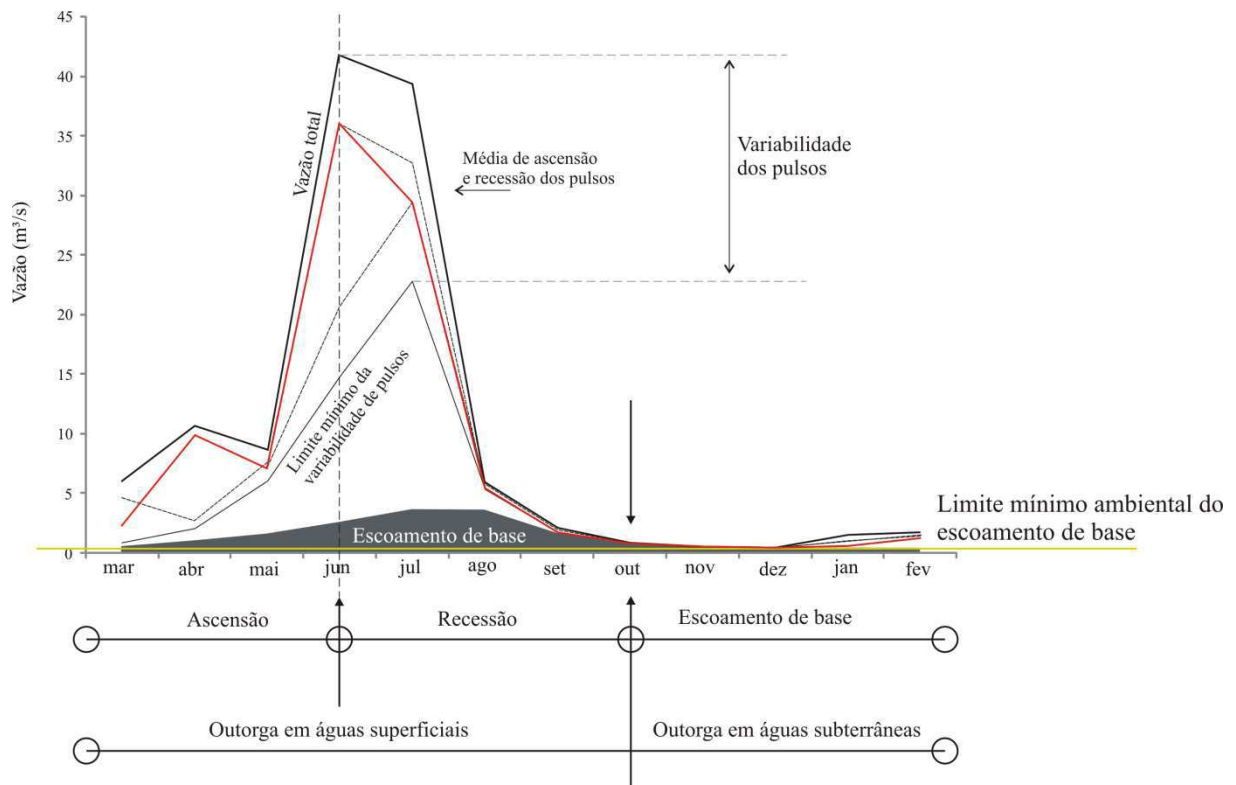


Figura 39: Separação dos escoamentos e subdivisão temporal do hidrograma para os anos de El Niño (Período de análise: 01/01/1993 a 31/12/1995)

5 - CONCLUSÕES

O uso comparativo da Transformada de Wavelet Contínua (CWT) em anomalias facilitou a análise do comportamento dos sinais em diferentes escalas, a primeira focou toda a série de dados diários e a segunda condicionou a abordagem mensal.

Na busca de periodicidades nos sinais das variáveis através da CWT, alguns resultados não foram satisfatórios, como por exemplo, no Índice de escoamento de Base (BFI), devido ao tamanho da amostra da série fluviométrica. Esse fato reforça a necessidade de se monitorar sistematicamente o sistema hidrométrico, com melhores bancos de dados quali-quantitativos.

A aplicação da CWT no BFI, não mostrou sinais com significância estatística e de energia relevante. Esse fato caracteriza que a análise contínua dos dados no domínio de base não mostrou intervalos expressivos em escala e frequência ao longo do tempo. No entanto ao considerar a anomalia do BFI, verificou-se que a abordagem mensal destaca o domínio de base.

A sobreposição dos espectros de energias de potência de wavelet configura uma nova abordagem na análise de similaridades entre os sinais das séries temporais, apoiando fortemente o estudo de regiões com características hidroclimáticas e homogêneas.

Dentre as considerações destacadas na Análise de Wavelet, tanto no período de La Niña como no de El Niño, a variabilidade dos pulsos em escala semanal deve ser considerada. Tal fato é reforçado pela Análise de Wavelet nos índices de pulsos, pluviometria e respectivas anomalias. Essa técnica mostrou-se robusta na análise das séries temporais.

A interação dos aspectos ecológicos com os hidrológicos da RSBP foi apoiada pela separação dos escoamentos do hidrograma. Ou seja, enfatizam-se os limites mínimos e máximos, frequências, amplitudes, de maneira a subsidiar os estudos ecológicos de modo que não compromete o sistema hidrológico nos diferentes níveis sazonais.

A concepção do hidrograma ambiental requer tempo, dados de qualidade e abrange interdisciplinaridade, como por exemplo, a ótica do desenvolvimento sustentável, compreendendo as internalidades e externalidades presentes no contexto da determinação da vazão ambiental.

As subdivisões sugeridas nos hidrogramas confeccionados nesta pesquisa mostram que é possível adicionar os aportes de pulsos (ascensões e recessões), proporcionando novas abordagens à questão ambiental.

O critério de subdivisão do ano hidrológico em três regiões com características do sistema hídrico diferenciados: ascensão, recessão inicial e aporte de base, também mostra que há maior controle quantitativo e ambiental da vazão.

O modelo semi-automático de separação de escoamento desenvolvido planilha Excel 2007, proporcionou rapidez e precisão dos resultados.

Referente aos instrumentos de gestão dos recursos hídricos, a discretização dos hidrogramas nesta pesquisa subsidia a outorga dos direitos de uso da água. Tanto o enquadramento dos corpos de água como os modelos de cobrança pelo uso da água de caráter arrecadatório e/ou econômicos serão beneficiados.

Na fase de ascensão do escoamento, nas proximidades do pico, muitas vezes não se atenta a continuidade do escoamento superficial após o término das chuvas, principalmente em bacias com longo tempo de concentração. Estudos adicionais relacionados à variabilidade de pulsos nessa fase podem otimizar o comportamento do hidroambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADDISON, P. S. The Illustrated Wavelet Transform Handbook. Taylor & Francis, 353p., Jul. 2002
- AESA. 2006. AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA. Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba. Relatório Final.
- AESA. AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA. (2008). <<http://www.aesa.pb.gov.br/perh/>>. Acesso em junho de 2008.
- ADAMOWSKI, J. E 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
- ALBUQUERQUE, J. P. T.; RÊGO, J. C. 1998. Conceitos e definições para avaliação e gerenciamento conjunto de recursos hídricos superficiais e subterrâneos. In: IV SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, Proceedings... Campina Grande, 1998. 1 CD-ROM.
- ALLEY, W. M.; RICHARD W. H.; LABAUGH, J. W.; REILLY, T. E. Flow and Storage in Groundwater Systems. The dynamic nature of groundwater. Science. v.296, p.1985-1990. junho. 2002.
- ALMEIDA, E. P. L. Desenvolvimento de técnica de sensoriamento do espectro embasada em detecção de energia para aplicações em sistemas rádio-cognitivos. Dissertação de Mestrado. UNB, Novembro de 2010.
- ALVES, M. H. & BERNARDO, J. M. 2000. Contribuição para uma metodologia de determinação do caudal ecológico em cursos e água temporários. Proceedings... 5º Congresso da água, Lisboa, Portugal. 17p, 2000.
- ANA. 2008. AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. Hidroweb. Séries históricas. Disponível na internet. Acesso em outubro de 2008: <www.hidroweb.ana.gov.br/>
- AKSOY, H. Markov chain-based modeling techniques for stochastic generation of daily intermittent streamflows. Advances in Water Resources. v. 26 p. 663–671, 2003.
- AKSOY, H.; KURT, I.; ERIS, E. Filtered smoothed minima baseflow separation method. Journal of Hydrology. V.372, p.94–101, 2009.
- 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.G., ALLEN, P.M. Validation of automated methods for estimating baseflow and groundwater recharge from stream flow records. Journal of the American Water Resources Association. V.35, p.411–424 1999.
- ASUB. Integração dos Instrumentos de Outorga, Enquadramento e Cobrança para a Gestão das Águas Subterrâneas. Relatório Parcial de Execução II. Campina Grande, 2010.
- BARBOSA, A. C. B.; BLITZKOW, D. Ondaletas: Histórico e Aplicação. Trabalho de Doutorado do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo. IAG/USP, 2008.
- BENDA, L.; POFF, L.; MILLER, D.; DUNNE, T.; REEVES, G.; PESS, G.; POLLOCK, M. The Network Dynamics Hypothesis: How Channel Networks Structure Riverine Habitats. Bioscience, v. 54, n. 5, p. 413-427, 2004.

- BENEDETTO, J. J. Sampling Theory and Wavelets. Signal Processing for Multimedia. .S. Byrnes. 1999.
- BENETTI, A. D.; LANNA, A. E. L; COBALCHINI, M. S. Metodologias para Determinação de Vazões Ecológicas em Rios. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v.8, n.2, p.149-160, 2003.
- BJERKÅS, M.; SKIPLEB, A.; RØE O. Applications of continuous wavelet transforms on ice load signals. Engineering Structures. Elsevier. V.29, p. 1450–1456, 2007.
- BOASHASH, B. "Time–Frequency Signal Analysis and Processing: A Comprehensive Reference", Elsevier Science, Oxford, 2003.
- BOLZAN, M. J. A. Análise da Transformada em Ondeletras Aplicada em Sinal Geofísico. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 26, n. 1, p. 37-41, 2004.
- BOLZAN, M. J. A. Transformada em Ondeletra: Uma necessidade. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 28, n. 4, p. 563-567, 2006
- BOULTON, J. A.; BOYERO L.; COVICH, A. P.; DOBSON, M.; LAKE S.; PEARSON, R.b. Are Tropical Streams Ecologically Different from Temperate Streams?. Tropical Stream Ecology. p.257-284, 2008.
- BRASIL. Lei Federal nº. 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos hídricos.
- BRODIE, R.; SUNDARAM, B.; TOTTENHAM R.; HOSTETLER, S.; RANSLEY, T. An Overview of Tools for Assessing Groundwater-Surface Water Connectivity. Bureau of Rural Sciences, Canberra. 2007.
- BRODIE, R.; SUNDARAM, B.; TOTTENHAM R.; HOSTETLER, S.; RANSLEY, T. An Adaptive Management Framework for Connected Groundwater-Surface Water Resources in Austrália. Bureau of Rural Sciences, Canberra. 179p., 2007b.
- BROWN, R. A., PASTERNAK, G. B. Engineered channel controls limiting spawning habitat rehabilitation success on regulated gravel-bed rivers. Geomorphology. v. 97 p. 631–654., 2008
- BRUNO, M. C., LOFTUS W. F; REID, J. W., PERRY S. A. Diapause in copepods (Crustacea) from ephemeral habitats with different hydroperiods in Everglades National Park (Florida, U.S.A.). Hydrobiologia. v. 453/454, p. 295–308, 2001.
- BUENO, R. F.; BLITZKOW; D.; FONSECA JUNIOR, E. S.; PACILÉO NETTO, N; BARBOSA, A. C. B. Aplicação da Transformada de Fourier e em Ondaleta às séries temporais de diferenças de altitude, determinadas por GPS, acoplado a Shaker na base USP. Bol. Ciênc. Geod., sec. Artigos, Curitiba, v. 14, n.4, p.557-570, 2008.
- 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.
- BURCHER, C. L. Using simplified watershed hydrology to define spatially explicit ‘zones of influence’. Hydrobiologia. Springer Netherlands. 2008.
- BUSS, S.; ZUANSI, C.; CARDENAS, B.; FLECKENSTEIN, J.; HANNAH, D.; HEPPELL, K.; HULME, P.; IBRAHIM, T.; KAESER, D.; KRAUSE, S.; LAWLER, D.; LERNER, D.; MANT, J.; MALCOLM, I; OLD, G.; PARKIN, G.; PICKUP, R.; PINAY, G.; PORTER, J.; RHODES, G.; LANCASTER, B.; RICHIE, A.; RILEY, J.; ROBERTSON, A.; SEAR, D.; SHIELDS, B.; SMITH, J.; TELLAM, J.; WOOD, P. The Hyporheic

- Handbook . A handbook on the groundwater–surface water interface and hyporheic zone for environment managers. Head of Science, 2009.
- CALLANAN, M.; BAARS, J. R.; KELLY-QUINN, M. Critical influence of seasonal sampling on the ecological quality assessment of small headwater streams. *Hydrobiologia*. V.610. n.1. 2008.
- CARLISLE, D. M.; FALCONE, J.; WOLOCK, D. M.; MEADOR, M. R.; NORRIS, R. H. Predicting the natural flow regime: models for assessing hydrological alteration in streams. *River Research and Applications*. Wiley InterScience., 2009.
- CARLSON, G. E. Signal and linear system analysis. John Wiley Professional. 1994.
- CARRERA-FERNANDEZ, J. “Cobrança e Preços Ótimos pelo Uso e Poluição da Água de Mananciais”. *Revista Econômica do Nordeste*, v.28, n.3, p.249-277, 1997.
- 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.
- CEY, E. E.; RUDOLPH, D. L.; PARKIN, G. W.; ARAVENA, R. Quantifying groundwater discharge to a small perennial stream in southern Ontario, Canada. *Journal of Hydrology*. v. 210 p. 21–37, 2008.
- CHANG, F.; TSAI, M.; TSAI, W.; HERRICKS E. E. Assessing the ecological hydrology of natural flow conditions in Taiwan. *Journal of Hydrology*. v. 354, p. 75– 89, 2008.
- 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.
- CHIERICE JUNIOR, N.; CAMPANHA, J. R.; CHIERICE, ROSELI A. F. O uso da análise de Fourier, de wavelets e dos expoentes de Lyapunov no estudo de um oscilador não-ideal com atrito seco e excitação externa.. In: 7th Brazilian Conference on Dynamics, Control and Their Applications - DINCON'2008, Presidente Prudente – SP, 2008.
- CHOU, C. M. & WANG, R. Y. Application of wavelet-based multi-model Kalman filters to real-time flood forecasting. *Hydrological Processes*. V.18, p.987–1008, 2004.
- CIESIELKA, I. K & BAILEY, R. C. Hierarchical structure of stream ecosystems: consequences for bioassessment. *Hydrobiologia*. v.586. n.1, 2007.
- CNRH– Conselho Nacional de Recursos Hídricos (2001). Resolução nº. 15, de 11 de janeiro de 2001. Estabelece diretrizes gerais para a gestão de águas subterrâneas. Brasília.
- CNRH– Conselho Nacional de Recursos Hídricos (2001). Resolução nº. 16, de 8 de maio de 2001. Estabelece critérios gerais para a outorga de direito de uso dos recursos hídricos. Brasília.
- CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos (2002). Resolução nº. 22, de 24 de maio de 2002. Estabelece diretrizes para inserção das águas subterrâneas no instrumento Planos de Recursos Hídricos.
- COLLISCHONN, W.; SOUZA, C. F.; FREITAS, G. K.; PRIANTE, G. R.; AGRA, S. G.; TASSI, R. Em Busca do Hidrograma Ecológico. *Proceedings...* João Pessoa : XVI SBRH. 1 CD-ROM, 2005.
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente (2008). Resolução nº. 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de, efluentes, e dá outras providências. Brasília.

- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente (2008). Resolução nº. 396, de 03 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Brasília.
- COSTA, M. L. M. Estabelecimento de critérios de outorga de direitos de uso para águas subterrâneas. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2009.
- COSTA, W. D.; ALBUQUERQUE, J. do P. T.; BRANCO, R. L. C.; MARANHÃO, C. M. L.; GOLDFABER, M. Estudo de caracterização e verificação da disponibilidade hídrica da vertente litorânea do estado da Paraíba. Estudos Hidrogeológicos. Relatório Final. Tomo I – Texto. Ministério da Integração Nacional, 2007.
- CRUZ, J. C. Disponibilidade Hídrica para Outorga: Avaliação de Aspectos Técnicos e Conceituais. 2001. Tese de Doutorado em Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- CRUZ, R. C. Prescrição de Vazão Ecológica: Aspectos Conceituais e Técnicos para Bacias com Carência de Dados. 2005. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- Da SILVA, D. F.; SOUSA, F. A. S.; KAYANO, M. T. Escalas temporais da variabilidade pluviométrica na bacia hidrográfica do Rio Mundaú. Revista Brasileira de Meteorologia. v. 25, p.147-155, 2010.
- Da SILVA. Análise de aspectos climatológicos, agroeconômicos, ambientais e de seus efeitos sobre a Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú (AL e PE). UFCG. Tese de Doutorado. 2009.
- DAHL, M.; NILSSON B.; LANGHOFF J. H.; REFSGAARD J. C. Review of classification systems and new multi-scale typology of groundwater–surface water interaction. Journal of Hydrology. v.344, p.1-16, September 2007.
- DAMÁSIO, J. “Efeitos da cobrança do recurso água sobre agregados da economia brasileira”. Disponível em CD, 2004.
- DANIELESCU, S.; MACQUARRIE. K. T. B.; FAUX, R., N. The integration of thermal infrared imaging, discharge measurements and numerical simulation to quantify the relative contributions of freshwater inflows to small estuaries in Atlantic Canada. Hydrological Processes. Wiley InterScience. 2009.
- DAUBECHIES, I. & SWELDONS. W. Factoring wavelet transforms into lifting steps, J. Fourier Analysis and Applications, 4., 1998.
- DAUBECHIES, I. Ten Lectures on Wavelets, volume 61 of CBMS-NSF Conf. Lect. Notes Ser. Appl. Math., Soc. Ind. Appl. Math., Philadelphia, PA.1992.
- DAVIS, R. e HIRJ, R. Environmental Flows: Concepts and Methods. Water Resources and Environment. Vol.C1, C2, C3. The Word Bank. Washington, D.C. 2003.
- DEITCH, M. J.; KONDOLF, G. M.; MERENLENDER, A. M. Hydrologic impacts of small-scale instream diversions for frost and heat protection in the California wine country. River Research and Applications. Wiley InterScience.v. 25. p. 118-134, 2009.
- DEITCH, M. J.; KONDOLF, G. M.; MERENLENDER, A. M. Surface water balance to evaluate the hydrological impacts of small instream diversions and application to the Russian River basin, California, USA. Aquatic conservation: marine and freshwater ecosystems. Wiley InterScience.v. 19. p.274-284, 2009b.

- DING, L.; MA, L.; LUO, H.; YU, M.; WU, X. Wavelet Analysis for tunneling-induced ground settlement based on a stochastic model. *Tunnelling and Underground Space Technology*. Elsevier. v.26, p.619–628, 2011;
- DOMINGUES, M. O.; MENDES JR., O. E; COSTA, A. M. On wavelet techniques in atmospheric sciences *Advances in Space Research* v.35, p.831–842, 2005.
- DONALD E. WELLER, THOMAS E. JORDAN, DAVID L. CORRELL. Heuristic Models For Material Discharge From Landscapes With Riparian Buffers. *Ecological Applications*: v. 8, n.4, p. 1156-1169, 1998.
- EAMUS, D.; HATTON, T.; COOK, P.; COLVIN, C. *Ecohydrology: Vegetation Function, Water and Resource Management*. 2006
- EBRAHIMI, F. & SAHIMI, M. Multiresolution Wavelet Scale Up of Unstable Miscible Displacements in Flow Through Heterogeneous Porous Media. *Transport in Porous Media*. Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands, v.57, p.75–102, 2004.
- ECKHARDT, K. How to construct recursive digital filters for baseflow separation. *Hydrological Processes*. V.19, p. 507–515, 2005.
- ECKHARDT, K. A comparison of baseflow indices, which were calculated with seven different baseflow separation methods. *Journal of Hydrology*, v.352., p.168– 173, 2008.
- ECKSTEIN, Y. & ECKSTEIN, G. Transboundary Aquifers: Conceptual Models for Development of International Law. *Ground Water*. v.43, n.5., p.679-690, September–October, 2005.
- FEITOSA, F.A.C. Pesquisa de água subterrânea. In FEITOSA F.A.C. & MANOEL FILHO. J. *Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações*. CPRM, LABHID-UFPE. Fortaleza-CE, 389pp, 1997.
- FERRAZ, F. F. B; MORTATTI, J. Avaliação da relação entre distribuição espacial da precipitação e os componentes do escoamento em bacia tropical de Meso-escala, GeoUsp, São Paulo, p.13. 2003. Disponível em: <www.geografia.fflch.usp.br/publicacoes/Geousp/Geousp13/Geousp13G_Ferraz_Mortatti.htm>
- FITTS, C. *Groundwater Science*. Academic Press . Elsevier Science, 2002.
- FORGIARINI, F. R.; SILVEIRA, G. L.; CRUZ, J. C. Modelagem da Cobrança pelo uso da Água Bruta na Bacia do Rio Santa Maria/RS: I Estratégia Metodológica e Adaptação à Bacia. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 13, p. 65-77, 2008.
- GABOR, D. *Theory of communication*, J.IEE London, v.93, p.429–457, 1946.
- GALASSI, D. M. P. Groundwater copepods: diversity patterns over ecological and evolutionary scales. *Hydrobiologia*. v.453/454: p.227–253, 2001.
- GAO, Y.; VOGEL, R. M.; KROLL, C. N.; POFF, N. L.; OLDEN, J. D. Development of representative indicators of hydrologic alteration. *Journal of Hydrology*. v.374. p.136–147, 2009.
- GERÓLAMO, R. O. P. & KAYANO, M. T. Variações do ciclo anual da Temperatura da Superfície do Mar do Pacífico Tropical. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.25, n.2, p.237 – 245, 2010.
- GORE, J. A. *Discharge Measurements and Streamflow Analysis. Methods in Stream Ecology*. Second Edition. p.51-77, 2007.
- GOUPILLAUD, P.; GROSSMANN, A.; MORLET, J. Cycle-octave and related transforms in seismic signal analysis, *Geoexploration*, v.23, p.85–102, 1984.

- GRAPS, A. An Introduction to wavelets. 1995. IEEE, v. 2, n. 2
- GROSSMANN, A. & MORLET, J. Cycle-octave and related transforms in seismic signal analysis by P Goupillaud, *Geoexploration* (former title). Issue: 1: Elsevier, V.23, p.85-102, 1984.
- GUIMARÃES, P. B. V.; MEDEIROS, P. C.; BARBOSA, D. L.; RIBEIRO, M.M.R. Aspectos institucionais e outorga de águas subterrâneas para uso industrial no Baixo curso do rio Paraíba. *Anais do XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*, Natal-RN, 2008.
- JOSEPH, L E MINH-NGHI, T. A wavelet-based approach for the identification of damping in non-linear oscillators. *International Journal of Mechanical Sciences*. Elsevier. V.47, p.1262–1281, 2005.
- HAAR, A. Zur Theorie der orthogonale Funktionensysteme, *Math. Annalen*, v.69, p.331–371, 1909.
- HALL, R. E. & LIEBERMAN, M. *Microeconomia: Princípios e Aplicações*. 1Ed. Editora: Thomson Learning. São Paulo – SP, 2003.
- HAN, D. & HAMMOND, M. Recession curve estimation for storm event separations. *Journal of Hydrology*. v.330, p.573– 585, 2006.
- HARDISTY, J. *Estuaries: Monitoring and Modeling the Physical System*. Blackwell Publishing, 2007.
- HARVEY F. E., SWINEHART J. B. & KURTZ, T.M. Sustenance of Nebraska’s Unique Sand Hills Peatland Fen Ecosystems. *Ground Water*. v.45, n.2, p.218–234, 2007.
- HAYS, R. L. & ULLMAN, W. Direct determination of total and fresh groundwater discharge and nutrient loads from a sandy beachface at low tide (Cape Henlopen, Delaware). *Limnology and oceanography*. v.52, n.1, p.240-247, 2007.
- HENNESSY, R., J. Studying milk coagulation kinetics with laser scanning confocal microscopy, image processing, and computational modeling. Faculty of California Polytechnic State University. Master of Science in Biomedical Engineering, 2011.
- HENRIQUES, M. V. C. *Ondaletas e Movimento Browniano Fracionário: Aplicação à Caracterização de Poços de Petróleo*. Dissertação de Mestrado. UFRN. Fevereiro, 2008.
- HISCOCK, P. K. M. *Hydrogeology: principles and practice*. Blackwell Science Ltd. 2005.
- HOLANDA, S. C.; GOMES FILHO, M. F.; FEDOROVA, N.; GOMES, H. B. . Transformada Wavelet aplicada à análise de dados horários de vento à superfície para o AZP/AL. In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2006, Florianópolis - SC. *Anais do XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia*. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2006.
- HSU. K. & LI, S. Clustering spatial–temporal precipitation data using wavelet transform and self-organizing map neural network. *Advances in Water Resources*. V.33, p.190–200, 2010.
- HU, W.; WANG, G.; DENG, D.; LI, S. The influence of dams on ecohydrological conditions in the Huaihe River basin, China. *Ecological Engineering*. v.33. p.233–241, 2008.
- HUMPHREYS, W. F. Hydrogeology and groundwater ecology: Does each inform the other?. *Hydrogeology Journal*, V.17, p.5–21, 2009
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. www.ibge.gov.br
- IDEIÃO, S. M. A.; COSTA, I.Y.L.G.; SANTOS, C. A. G. 2006. Análise da viabilidade do uso de água de chuva em condomínios horizontais através da Transformada Wavelet. VI

- SEMINÁRIO IBEROAMERICANO SOBRE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO URBANO DE ÁGUA, João Pessoa. Proceedings...VI SEREA, v.1, p 1-8, 2006. 1 CD-ROM.
- IZADIFAR, Z. Modeling and Analysis of Actual Evapotranspiration Using Data Driven and Wavelet Techniques. Degree of Master of Science. Thesis Degree of Master of Science. University of Saskatchewan. Saskatoon, Saskatchewan, Canada, 2010.
- 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.
- JAIN, A. & SRINIVASULU, S. Integrated approach to model decomposed flow hydrograph using artificial neural network and conceptual techniques. *Journal of Hydrology*. v.317, p.291–306, 2006.
- JEMCOV, I & 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.
- JØRGENSEN, S. E.; FATH, B.; BASTIANONI, S.; MARQUES, J.; MULLER, F.; NIELSEN, S. N.; PATTEN, B.; TIEZZI, E.; ULANOWICZ, R. Ecosystem principles have broad explanatory power in ecology. *A New Ecology. Systems Perspective*. Elsevier B.V. 2007.
- KALBUS, E.; REINSTORF, F.; SCHIRMER, M. Measuring methods for groundwater, surface water and their interactions: a review. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*. v.3. p.1809–1850, 2006.
- KANG, S. & LIN, H. Wavelet analysis of hydrological and water quality signals in an agricultural watershed. *Journal of Hydrology* v.338,p.1– 14, 2007.
- KEENER, V.W.; FEYEREISEN, G.W. LALL, U.; JONES, , J.W.; BOSCH, D.D.; LOWRANCE, R. El-Niño/Southern Oscillation (ENSO) influences on monthly NO₃ load and concentration, stream flow and precipitation in the Little River Watershed, Tifton, Georgia (GA). *Journal of Hydrology* 381v., p. 352–363, 2010.
- KELLER, W. *Wavelets in Geodesy and Geodynamics*. Walter de Gruyter. 2004
- KING, A. J.; Z. TONKIN, Z.; MAHONEY, J. Environmental flow enhances native fish spawning and recruitment in the Murray River, Australia. *River Research and Applications*. Wiley InterScience.v.25. p.1205–1218, 2008.
- KIŞI, Ö. Neural Networks and Wavelet Conjunction Model for Intermittent Streamflow Forecasting.*Journal of Hydrologic Engineering*. ASCE, v.14, p.773-782, 2009a.
- KIŞI, Ö. Wavelet regression model as an alternative to neural networks for monthly streamflow forecasting; *Hydrological Processes*. Wiley InterScience. V.23, p.3583–3597, 2009b.
- KIŞI, Ö. Wavelet regression model for short-term streamflow forecasting. *Journal of Hydrology*. V. 389, Issues 3-4, p. 344-353, 2010.
- KRIEGER, S.; POLITO, P. S. Variabilidade espectral de ondas de Rossby baroclínicas próximo à região do Arquipélago de Abrolhos, Brasil. VIII Seminário sobre Ondas, Marés, Engenharia Oceânica e Oceanografia por Satélite, Arrail do Cabo, RJ — Brazil, 2009.
- LABAT, D. Recent advances in wavelet analyses: Part 1.A review of concepts *Journal of Hydrology*. V.314, p.275–288, 2005.
- LABAT, D. Wavelet analysis of the annual discharge records of the world's largest rivers. *Advances in Water Resources*, v.31, p.109–117, 2008.

- LABAT, D. Cross wavelet analyses of annual continental freshwater discharge and selected climate indices. *Journal of Hydrology*. V.385, p.269–278, 2010.
- LABAT, D.; ABABOU, R.; MANGIN, A. Introduction of Wavelet Analyses to Rainfall/Runoffs Relationship for a Karstic Basin: The Case of Licq-Atherey Karstic System (France). Volume 39, Issue 4, p.605–615, 2001.
- LABAT, D.; RONCHAIL, J.; GUYOT, J. L. Recent advances in wavelet analyses: Part 2—Amazon, Parana, Orinoco and Congo discharges time scale variability. *Journal of Hydrology*. V.314, p. 289–311, 2005.
- 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.
- 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.
- LEAP, D. I. Geological Occurrence of Groundwater. *The Handbook of Groundwater Engineering*. Edited by Jacques Delleur, 1999.
- LI, C.H.; YANG, Z.F.; HUANG, G.H.; LI, Y.P. Identification of relationship between sunspots and natural runoff in the Yellow River based on discrete wavelet analysis. *Expert Systems with Applications*. V.36 p.3309–3318, 2009.
- LIU, Y.; BROWN, J.; DEMARGNE, J. SEO, D. A wavelet-based approach to assessing timing errors in hydrologic predictions. *Journal of Hydrology*. V.397; p.210–224, 2011.
- LIU, D.; LIU, X.; LI, B.; ZHAO, S.; LI, X. Multiple Time Scale Analysis of River Runoff Using Wavelet Transform for Dagujia River Basin, Chin. *Geogra. Sci. Springer*. 19(2) p.158–167 Yantai, China, 2009.
- LUZ, L. D., AMORIN, R.B., AMORIM, F. B. MEDEIROS Y. Aplicabilidade do Conceito de Vazões Ecológicas ao Semiário Brasileiro. In: II CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE ÁGUA EM REGIÕES ÁRIDAS E SEMI-ÁRIDAS, Gravatá, PE, 2007.
- LUZ, L. D.; SANTOS, P. F.; LORDELO, F.; GÓES, T. 2008. Fluxos de base: equipamento destinado a medições – desenvolvimento e primeiros experimentos. 2008. X SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE. Novembro, 2008, Salvador-BA: Proceedings... Salvador:. 1 CD-ROM.
- LYNE, V.D., HOLLICK, M. Stochastic time-variable rainfall runoff modelling. *Hydrology and Water Resources Symposium*. Institution of Engineers, Australia, Perth, p.89–92, 1979.
- MACÊDO, R. M., SILVA, S. B. da, MEDEIROS, P. da C., RIBEIRO, M. M. R. 2005 “Cobrança pela retirada da água bruta e impactos no setor usuário urbano”, 2005. Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. João Pessoa: ABRH. Disponível em CD-ROM.
- MAGALHÃES, P. C., MARANHÃO, N., THOMAS, P., THOMAZ, F.; CAMPOS, J. D. “Estudos Comparativos de Quatro metodologias para a Cobrança pelo uso da Água”. In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Curitiba – PR, 2003. Anais em CD-ROM
- MALLAT, S. Multiresolution approximations and wavelet orthonormal bases of $L^2(\mathbb{R})$, *Trans. Amer. Math. Soc.*, 315, p.69–87, 1989.

- MALTCHIK, L. G. Ecologia de rios intermitentes tropicais. In: Marcelo L.M. Pompeo. (Org.). *Perspectivas da limnologia no Brasil*. São Luís: Gráfica e editora União, p.77-89, 1999.
- MARKOVIC, D.; M. KOCH, M. Characteristic scales, temporal variability modes and simulation of monthly Elbe River flow time series at ungauged locations. *Physics and Chemistry of the Earth*. v.31, p.1262–1273, 2006.
- MANRIQUE, A. F. Q. Análisis tiempo-frecuencia por métodos no paramétricos orientado a la detección de patologías en bioseñales. Universidad Nacional de Colombia. Tesis de Magíster, 2009.
- MANTHA S. PHANIKUMAR, M. S; ASLAM, I; SHEN, C.; LONG, D. T.; VOICE, T. C. Separating surface storage from hyporheic retention in natural streams using wavelet decomposition of acoustic Doppler current profiles. *Water Resources Research*, v.43, 16pp. 2007
- MARTIN, H. T. *MATLAB, Recipes for Earth Sciences*. Third Edition, Springer, 2010.
- MARTINS, C. A.; SA, L. D. A.; MORAES, O. L. L.; SILVA, R. Ondeleta de Morlet aplicada à análise de correlações por escala entre grandezas escalares medidas acima de uma lavoura de arroz. *Ciência e Natura*, v. Especial, p.65-68, 2009.
- MASSEI, N.; DUPONT ,J.P.; MAHLER, B.J.; LAIGNEL, B.; FOURNIER, M.; VALDES, D.; OGIER, S. Investigating transport properties and turbidity dynamics of a karst aquifer using correlation, spectral, and wavelet analyses. *Journal of Hydrology*. V.329, p.244–257, 2006.
- MASIH, I.; AHMAD, M.; UHLENBROOK, S.; TURRAL, H.; KARIMI, P. Analysing streamflow variability and water allocation for sustainable management of water resources in the semi-arid Karkheh river basin, Iran. *Physics and Chemistry of the Earth*. v.34, p.329–340, 2009.
- MAYER, P. W. et al. *National Multiple Family Submetering and Allocation Billing Program Study - Executive Summary*, 2004.
- MCCLAIN; M.E., BOYER, E.W, DENT, C.L.; GERGEL, S.E.; GRIMM, N.B.; GROFFMAN, P.M.; HART, S.C.; HARVEY, J.W.; JOHNSTON CA, MAYORGA, E; MCDOWELL, W.H.; PINAY, G.; Biogeochemical hot spots and hot moments at the interface of terrestrial and aquatic ecosystems. *Ecosystems*. v.6: p.301-312, 2003.
- MEDEIROS, Y. D. P.; LUZ, L. D.; AMORIM, F. B.; GONÇALVES, M. S.; BERETTA, M. CAMPOS, V. P.; CIDREIRA, T. S.; FARIA, A. S. 2006. Alocação de águas em bacias hidrográficas – uma abordagem ambiental. VIII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE. Gravatá. Proceedings... Gravatá: VIII SRHNE, 2006. 1CD-ROM.
- MELESSE, A.; ABTEW, W.; DESSALEGNE, T.; XIXI, W. Low and high flow analyses and wavelet application for characterization of the Blue Nile River system. *Hydrol. Process*, Issue: 3, John Wiley & Sons, V.24, p.241–252 2009.
- MEYER, A.; MEYER, E. I; MEYER, C. Lotic communities of two small temporary karstic stream systems (East Westphalia, Germany) along a longitudinal gradient of hydrological intermittency. *Limnologica - Ecology and Management of Inland Waters*, v.33, p.271-279, 2003.
- MEYER, Y. *Wavelets: Algorithms & Applications*. Society for Industrial and Applied Mathematics. Philadelphia, 1993.
- MEYER, Y. *Ondelettes et Operateurs*, Hermann Science, Paris, 1990.

- MCKENZIE, R. B. & LEE, D. R. *Microeconomics for MBAs. The Economic Way of Thinking for Managers*, Cambridge University Press, Cambridge, 2006.
- MILLER, D. C., & ULLMAN, W. J. Ecological consequences of groundwater discharge to Delaware Bay, United States. *Ground Water*. v.42: p.959–970, 2004.
- MILNE, A.E.; MACLEOD, C.J.A.; HAYGARTH, P.M.; HAWKINS, J.M.B.; LARK, R.M. The wavelet packet transform: A technique for investigating temporal variation of river water solutes. *Journal of Hydrology*. V.379, p.1–19, 2009.
- MINSHALL, G. W.; RUGENSKI, A. *Riparian Processes and Interactions. Methods in Stream Ecology (Second Edition)*, p.721-742, 2007.
- MOLIERE, D. R.; LOWRY, J. B. C.; HUMPHREY, C., L. Classifying the flow regime of data-limited streams in the wet-dry tropical region of Australia. *Journal of Hydrology*. v. 367 p. 1–13, 2009.
- MONTGOMERY, D. R. Process domains and the river continuum. *Journal of the American Water Resources Association*. v.35 n.2. p.397–410, 1999.
- MORETTIN, P. A. Ondas e ondaletas: da análise de Fourier à análise de ondaletas. EDUSP, 1999.
- MORLET J, 1983. *Sampling Theory and Wave Propagation*. NATO ASI Series, FI. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, p.233– 261.
- MORLET, J.; ARENSZ, G.; FOURGEAU, E. GIARD, D. Wave propagation and sampling theory—Part I: Complex signal and scattering in multilayered media. *Geophysics* V.47, Issue: 2. SEG, p.203-221, 1982
- MORLET, J.; ARENSZ, G.; FOURGEAU, E. GIARD, D. Wave propagation and sampling theory-Part II: Sampling theory and complex waves. *Geophysics*. V.47. Issue: 2. SEG, p.222-236, 1982b.
- MOUTINHO, A., M.; BIONDI NETO, L.; COELHO, P. H. G.; REY, M. J.F., 2003. Preprocessamento em Sistemas Conexiónistas usando-se Wavelets e Componentes Principais. In: XXXV SBPO, 2003, Natal - Rio Grande do Norte. XXXV SBPO - Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional.
- MWALE, D.; GAN, T. Y.; SHEN, S. S. P.; SHU, T. T.; KIM, K. Wavelet Empirical Orthogonal Functions of Space-Time-Frequency Regimes and Predictability of Southern Africa Summer Rainfall. *Journal of Hydrologic Engineering*. V.12, p.513-523, 2007.
- NAIMAN, R., J.; LATTERELL, J. J.; PETTIT, N. E.; OLDEN, J. D. Flow variability and the biophysical vitality of river systems. *C. R. Geoscience*. v.340, p.629–643, 2008.
- NATHAN, R.J. & MCMAHON, T.A. Evaluation of automated techniques for baseflow and recession analysis. *Water Resources Research* v.26. n.7, p.1465–1473, 1990.
- NEUBAUER; C. P.; HALL, G., B.; LOWE, E. F.; ROBISON, C. P.; HUPALO, R. B.; KEENAN, L. W. Minimum Flows and Levels Method of the St. Johns River Water Management District, Florida, USA. *Environmental Management*. v.42: p.1101–1114, 2008.
- OLIVEIRA, H. M. Wavelets: Entrando na Onda. Disponível na internet. 2002. <http://www2.ee.ufpe.br/codec/livro_wavelets.PDF>; <<http://www2.ee.ufpe.br/codec/CHESFsummary.pdf>>
- OLIVEIRA, H.M. *Análise de Sinais para Engenheiros: Uma Abordagem via Wavelets*, Editora, Rio de Janeiro, Brasport, 2007.

- OLIVEIRA, M. A. e FAVERO, L. P. L. Uma Breve Descrição de Algumas Técnicas para Análise de Séries Temporais: Séries de Fourier, Wavelets, Arima, Modelos Estruturais para Séries de Tempo e Redes Neurais, 2002.VI Seminários em Administração – FEA/USP.
- 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.
- PARAÍBA Decreto nº. 19.260, de 31 de outubro de 1997. Regulamenta a Outorga do Direito de Uso dos Recursos Hídricos e dá outras providências.
- PARAÍBA. Decreto n.º 26.224, de 14 de setembro de 2005, Dispõe sobre a Regulamentação e a Estrutura Básica da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA e determina outras providências.
- PARAÍBA. Lei Estadual nº. 6.308, de 02 de julho de 1996. Institui a Política Estadual de Recursos Hídricos, suas diretrizes e dá outras providências.
- PARAÍBA Lei Estadual nº 8.446, de 28 de dezembro de 2007. Dá nova redação e acrescenta dispositivos à Lei nº 6.308, de 02 de julho de 1996, que institui a Política Estadual de Recursos Hídricos, e determina outras providências.
- PARAÍBA (2006). Plano Estadual de Recursos Hídricos. Relatório Final. João Pessoa: Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba.
- PETTS, G. E. A perspective on the abiotic processes sustaining the ecological integrity of running waters. *Hydrobiologia*. v. 422-423, p.15-27, 2000.
- PINDER, G. F. & CELIA, M. A. *Subsurface Hydrology*. John Wiley & Sons. United States of America. 2006.
- POFF, L.N.; 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.
- POEHLS, D. J. & SMITH, G. J. *Encyclopedic Dictionary of Hydrogeology*. Academic Press Elsevier. 2009.
- POLIKAR, R. (2001) The story of wavelets. 2001. Disponível em: <www.bo.infn.it/~masotti/Papers/wavelets_story.pdf>. acesso em set/2010.
- POSTEL, S. & RICHTER, B. *Rivers for Life: Managing Water for People and Nature*. Washington, D.C.: Island Press. 2003, 253 p.
- QUEIROZ, M. M. F. de; BOAS, M.A.V.; OLIVEIRA, L.M. 2005. Análise de Vazões Mínimas Q1,10 e Q7,10 de Rios do Paraná Através da Distribuição Gev. XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. João Pessoa. Proceedings... João Pessoa: XVI SBRH, 2005. 1CD-ROM.
- RAMÍREZ, M. C. V.; WEIGANG, L.; FERREIRA, N. J. Aplicação de Redes Neurais Artificiais e Transformada de Ondículas para Estimativas de Precipitação usando imagens do satélite GOES-8 : Resultados Preliminares. Proceedings of the IV Brazilian Conference on Neural Networks. Julho. p.252-256, 1999. ITA, São José dos Campos - SP – Brazil
- REES, J. M.; REGUNATH, G.; WHITESIDE, S. P.; WADNERKAR, M. B.; COWELL, P. E. Adaptation of wavelet transform analysis to the investigation of biological variations in speech signals. *Medical Engineering & Physics*. Elsevier. V.30 , p.865–871, 2008.
- REID, J. W. A human challenge: discovering and understanding continental copepod habitats. *Hydrobiologia* v.453/454, p.201–226, 2001.

- REMESAN, R.; SHAMIM, M. A.; HAN, D.; MATHEW, J. Runoff prediction using an integrated hybrid modelling scheme. *Journal of Hydrology*. V.372, p.48–60, 2009.
- RENSCHLER, C. S.; DOYLE, M.W.; THOMS, M. Geomorphology and ecosystems: Challenges and keys for success in bridging disciplines. *Geomorphology*, v.89. p.1-8, 2007.
- RIVERA, D. R. Contributions to the Wavelet-based Characterization of Network Traffic. PhD Program on Telematics Engineering. Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona, 2007.
- RIBEIRO, M. M. R., LANNA, A. E. “Instrumentos regulatórios e econômicos: aplicabilidade à gestão das águas e à bacia do rio Pirapama-PE”. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos RBRH*, 2001 vol. 6, n.4, p.41-70, 2001.
- ROCHA, B. V. Uma abordagem de wavelets aplicada à combinação de previsões. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2008.
- ROSENBERRY, D. O.A seepage meter designed for use in flowing water. *Journal of Hydrology*. v. 359, p. 118– 130, 2008.
- SÁ, L. D. A.; SAMBATTI, S. B. M.; GALVAO, G. P. Aplicação da Transformada em Ondeletas a Análise de Série Temporal Referente ao Nível do Rio Paraguai em Ladário, Ms. In: Encontro sobre Sensoriamento Remoto aplicado a estudos no Pantanal, Corumbá, MS. Livro de Resumos. São José dos Campos, SP : Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, p.65-67, 1995.
- SÁ, A. L. D.; SAMBATTI, S. B. M.; GALVÃO, G. P. Ondeleta de Morlet aplicada ao estudo da variabilidade do Nível do rio Paraguai em Ladário, MS; Número Especial, p.1775-1785, Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v..33, out, 1998.
- SALERNO, F. TARTARI, G. A coupled approach of surface hydrological modelling and Wavelet Analysis for understanding the baseflow components of river discharge in karst environments. *Journal of Hydrology*, v.376, p.295–306, 2009.
- SANCHES, I, J. Compressão sem perdas de projeções de tomografia computadorizada usando a transformada wavelet. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2001. Dissertação de Mestrado.
- SANDERSON, J. S.; KOTLIAR, N. B.; STEINGRAEBER, D. A.; BROWNE, C. Simulated natural hydrologic regime of an intermountain playa conservation site. *Wetlands*, v.28, n.2, p. 363–377, 2008.
- SANTOS C. A. G & MORAIS, B. S. Hydrological zones of San Francisco river basin by wavelet transform. *Proceedings of HydroPredict – Prague, Czech Republic, Bruthans-Kovar-Hrkal*, 2008.
- SANTOS, C. A. G.; GALVÃO, C. O.; SUZUKI, K.; TRIGO, R. M. Matsuyama city rainfall data analysis using wavelet transform. *Ann. J. Hydraul. Engng, JSCE*, v.45. p.211-216, 2001.
- SANTOS, V. S.; VIEIRA, A. S.; CURI, W. F.; CURI, R.C. 2006. Análise de Metodologias de Outorga dos Direitos de Uso da Água para a Sub-Bacia do Rio Piancó – PB. VIII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE. Gravatá. Proceedings...Gravatá:. VIII SRHNE, 2006. 1CD-ROM.
- SHAW, E. M. *Hydrology in Practice*. Third edition. British Library. 2005.

- SILVA, A.; PROTÁZIO, J. M. B.; REMACRE, A. Z. Análise wavelet aplicada na mudança de escala em perfis geofísicos do campo de namorado. *Revista Brasileira de Geociências*. V.33, p.121-126, 2003.
- SILVA JUNIOR, O. B. da; DINIZ, L. da S. Simulação da Cobrança pelo Uso dos Recursos Hídricos no Estado da Paraíba”. In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Curitiba, novembro de 2003. Anais em CD-ROM
- SILVA, F. C. Análise Integrada de Usos de Água Superficial e Subterrânea em Macro-Escala numa Bacia Hidrográfica: O Caso do Alto Rio Paranaíba, 188p. Dissertação de mestrado, 2007. UFRGS.
- SILVA, M; OLESKOVICZ, M.; COURY, D, V. Uma nova ferramenta baseada na transformada wavelet para localização digital de faltas. *Revista Controle & Automação*. V.16 n3.Julho, Agosto e Setembro, 2005.
- SINGH , C. B.; CHOUDHARY, R.; JAYAS, D. S.; PALIWAL, J. Wavelet Analysis of Signals in Agriculture and Food Quality Inspection. *Food Bioprocess Technol* v.3,n.1, p.2–12, 2010.
- SMAKHTIN, V.U. Low flow hydrology: a review. *Journal of Hydrology*. v.240. p.147–186, 2001.
- SOARES, A. S. Aproximação de Nuvens de Pontos de dados por meio se Superfícies de Bézier. Tese de Doutorado. Universidade federal de Uberlândia. Uberlândia, Fevereiro, 2007.
- TALLAKSEN, L. M. A review of baseflow recession analysis. *Journal of Hydrology*. v.165. p.349-370, 1995.
- TANG, C. & PIECHOTA T. C. Spatial and temporal soil moisture and drought variability in the Upper Colorado River Basin. *Journal of Hydrology*, V.379, p.122–135, 2009.
- TANG, K. T. *Mathematical Methods for Engineers and Scientists 3. Fourier Analysis, Partial Differential Equations and Variational Methods*. Springer, 2007.
- TAVARES, V. E. Q.; RIBEIRO, M. M. R.; LANNA, A. E. “Valoração monetária de bens e serviços ambientais: revisão do estado-da-arte sob a ótica da gestão das águas”. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 4, n. 3, p.97-116, 1999.
- TOOD, D. K. *Groundwater Hydrology*. Second Edition. United States. 1987.
- TORRENCE, C. & WEBSTER, P. Interdecadal Changes in the ENSO-Monsoon System, *J. Clim.*, v.12, p.2679 – 2690, 1999.
- TORRENCE, C. A & COMPO, G., P. A Practical Guide to Wavelet Analysis. *Bulletin of the American Meteorological Society*. V. 79, No. 1, January, 1998.
- TORRENCE, C. A & COMPO, G., P. A Practical Guide to Wavelet Analysis. *Interactive Wavelet Plot*. 1998b <<http://paos.colorado.edu/research/wavelets/>> Acesso em 17 de julho de 2011.
- TRIGO, R.M., GALVÃO, C.O., TRIGO, I.F. 1999. Aplicação de Wavelets ao estudo da variabilidade de caudais diários: uma comparação entre algumas bacias portuguesas e brasileiras. IV SILUSBA, Coimbra, Portugal, 15 pp. 1999.
- TUCCI, C. E. M. *Escoamento Superficial. Hidrologia Ciência e Aplicação*. Tucci, C. E. M. (org.). Ed. Da Universidade. ABRH. EDUSP. 2003. Porto Alegre.
- TUCCI, C. E. M. *Hidrograma ambiental*. Outubro. 2009. Disponível em: <<http://blog.rhama.net/2009/10/04/hidrograma-ambiental/>>

- VANNOTE, R.L.; MINSHALL, G.W.; CUMMINS, K.W.; SEDELL, J.R.; CUSHING, C.E. The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. v.37, p.130–137. 1980.
- VIVAS, A. M. M. 2010. Caracterización de señales de precipitación mediante la transformada de fourier y transformada wavelet. Dissertação de Mestrado. Pontificia Universidad Javeriana. Departamento de Ingeniería Civil. Maestría en Hidrosistemas, Bogotá, 2010.
- WEBER K. A. & PERRY, R., G. Groundwater abstraction impacts on spring flow and base flow in the Hillsborough River Basin, Florida, USA. *Hydrogeology Journal* v.14: p.1252–1264, 2006.
- WEN, L. Reconstruction natural flow in a regulated system, the murrumbidgee river, australia, using time series analysis. *Journal of Hydrology*. v. 364. p.216–226, 2009.
- WENDLAND, E., BARRETO, C., GOMES, H. L. Water balance in the Guarani Aquifer outcrop zone based on hydrogeologic monitoring. *Journal of Hydrology* v.342, p.261– 269, 2007.
- WENRONG, D.; Yue, D.; XIXI, L. Suspended sediment flux of river: Wavelet analysis in the Panlong basin of the Upper Red River (Honghe River), China. *Chinese Science Bulletin, Springer*.December, V.52,II, p.172-179, 2007.
- WINTER, T.C., HARVEY, J.W., FRANKE, O.L., ALLEY, W.M. Ground water and surface water a single resource. U.S. Geological Survey Circular 1139, 1998.
- ZEDLER, J. B. Handbook for restoring tidal wetlands. CRC Marine Science Series, 2001.
- ZEILHOFERA, P.; MOURA, R. M. Hydrological changes in the northern Pantanal caused by the Manso dam: Impact analysis and suggestions for mitigation. *Ecological Engineering*. v.35 p.105–117, 2009.
- ZEKAI ŞEN. Wadi Hydrology. Taylor & Francis Group. CRC Press. 2008. Turkey.

APÊNDICE

Apêndice 1: Totais mensais (m³/s) dos hidrogramas das Figuras 26 e 27

mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	média
Ano													
Vazão total													
1971	20,32	15,44	31,60	2.170,35	2.158,50	636,70	538,85	476,74	159,72	165,51	105,57	47,61	543,91
1972	59,74	36,91	247,93	176,73	876,04	1.412,50	538,64	651,78	372,11	76,89	33,35	39,21	376,82
1973	45,58	25,18	147,63	2.358,91	2.989,70	1.547,30	1.384,26	176,01	66,67	73,74	9,00	11,46	736,29
total	125,64	77,53	427,16	4.705,99	6.024,24	3.596,50	2.461,75	1.304,53	598,50	316,14	147,93	98,28	
média	41,88	25,84	142,39	1.568,66	2.008,08	1.198,83	820,58	434,84	199,50	105,38	49,31	32,76	552,34
1993	20,75	10,23	10,51	25,18	29,56	76,43	61,11	24,65	5,50	2,09	4,04	1,40	22,62
1994	78,20	71,89	445,08	835,00	699,23	3.295,77	2.763,70	345,30	154,47	72,99	40,98	36,42	736,59
1995	45,21	62,37	45,28	161,00	71,31	265,69	956,72	199,77	35,81	13,24	9,01	6,71	156,01
total	144,16	144,49	500,87	1.021,18	800,10	3.637,89	3.781,53	569,72	195,78	88,32	54,02	44,54	
média	48,05	48,16	166,96	340,39	266,70	1.212,63	1.260,51	189,91	65,26	29,44	18,01	14,85	305,07
Vazão de base													
1971	10,23	7,71	19,56	217,30	554,13	429,88	273,59	180,12	125,09	79,77	56,69	41,39	166,29
1972	32,35	24,77	38,15	52,41	86,85	121,85	164,69	116,01	124,03	67,19	28,27	15,39	72,66
1973	13,49	12,04	30,23	106,86	345,75	373,41	251,01	114,19	37,68	16,03	7,23	7,00	109,58
total	56,07	44,52	87,93	376,57	986,73	925,13	689,29	410,32	286,80	162,99	92,19	63,78	348,53
média	18,69	14,84	29,31	125,52	328,91	308,38	229,76	136,77	95,60	54,33	30,73	21,26	116,18
1993	12,88	6,83	7,54	8,90	10,78	11,96	13,93	13,74	5,04	1,77	1,23	1,27	7,99
1994	2,70	9,40	22,80	48,82	96,05	166,65	249,63	242,70	116,07	66,88	38,80	34,67	91,26
1995	30,29	22,51	25,48	38,78	45,83	56,10	77,61	85,81	33,57	12,37	6,17	3,39	36,49
total	45,87	38,74	55,81	96,50	152,65	234,70	341,17	342,24	154,68	81,02	46,20	39,33	
média	15,29	12,91	18,60	32,17	50,88	78,23	113,72	114,08	51,56	27,01	15,40	13,11	45,25
Vazão total sem o aporte dos pulsos													
1971	12,48	8,72	19,56	1.606,89	1.513,68	501,20	416,01	352,84	125,09	106,26	76,21	42,93	398,49
1972	44,29	29,61	99,69	140,66	363,19	519,55	410,78	154,59	226,97	67,19	28,27	28,19	176,08
1973	36,69	14,57	78,33	693,15	1.283,03	726,00	421,31	142,23	42,68	18,92	7,23	7,00	289,26
total	93,46	52,91	197,58	2.440,70	3.159,89	1.746,75	1.248,10	649,65	394,73	192,36	111,70	78,12	
média	31,15	17,64	65,86	813,57	1.053,30	582,25	416,03	216,55	131,58	64,12	37,23	26,04	287,94
1993	12,88	6,83	7,62	18,09	21,72	20,48	24,16	15,53	5,04	1,77	1,23	1,27	11,39
1994	13,15	47,75	33,57	98,23	477,46	1.106,07	1.447,25	302,88	116,07	66,88	38,80	34,67	315,23
1995	35,81	50,39	36,67	67,29	58,76	169,80	677,49	195,01	33,57	12,37	6,17	3,39	112,23
total	61,85	104,97	77,85	183,61	557,94	1.296,34	2.148,90	513,42	154,68	81,02	46,20	39,33	
média	20,62	34,99	25,95	61,20	185,98	432,11	716,30	171,14	51,56	27,01	15,40	13,11	146,28

Apêndice 2: Vazões médias diárias (m³/s) dos hidrogramas das Figuras 26 e 27

mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	média
ANO	Vazão total												
1971	0,66	0,55	1,02	72,35	69,63	21,22	17,38	15,38	5,32	5,34	3,52	1,54	17,83
1972	1,93	1,27	8,00	5,89	28,26	47,08	17,38	21,03	12,40	2,48	1,11	1,26	12,34
1973	1,47	0,90	4,76	78,63	96,44	51,58	44,65	5,68	2,22	2,38	0,30	0,37	24,12
total	4,05	2,72	13,78	156,87	194,33	119,88	79,41	42,08	19,95	10,20	4,93	3,17	
média	1,35	0,91	4,59	52,29	64,78	39,96	26,47	14,03	6,65	3,40	1,64	1,06	18,09
1993	0,67	0,37	0,34	0,84	0,95	2,55	1,97	0,80	0,18	0,07	0,13	0,05	0,74
1994	2,52	2,57	14,36	27,83	22,56	109,86	89,15	11,14	5,15	2,35	1,37	1,17	24,17
1995	1,46	2,23	1,46	5,37	2,30	8,86	30,86	6,44	1,19	0,43	0,30	0,22	5,09
total	4,65	5,16	16,16	34,04	25,81	121,26	121,98	18,38	6,53	2,85	1,80	1,44	
média	1,55	1,72	5,39	11,35	8,60	40,42	40,66	6,13	2,18	0,95	0,60	0,48	10,00
	Vazão de base												
1971	0,33	0,28	0,63	7,24	17,88	14,33	8,83	5,81	4,17	2,57	1,89	1,34	5,44
1972	1,04	0,85	1,23	1,75	2,80	4,06	5,31	3,74	4,13	2,17	0,94	0,50	2,38
1973	0,44	0,43	0,97	3,56	11,15	12,45	8,10	3,68	1,26	0,52	0,24	0,23	3,59
total	1,81	1,56	2,84	12,55	31,83	30,84	22,24	13,24	9,56	5,26	3,07	2,06	11,40
média	0,60	0,52	0,95	4,18	10,61	10,28	7,41	4,41	3,19	1,75	1,02	0,69	3,80
1993	0,42	0,24	0,24	0,30	0,35	0,40	0,45	0,44	0,17	0,06	0,04	0,04	0,26
1994	0,09	0,34	0,74	1,63	3,10	5,55	8,05	7,83	3,87	2,16	1,29	1,12	2,98
1995	0,98	0,80	0,82	1,29	1,48	1,87	2,50	2,77	1,12	0,40	0,21	0,11	1,20
total	1,48	1,38	1,80	3,22	4,92	7,82	11,01	11,04	5,16	2,61	1,54	1,27	
média	0,49	0,46	0,60	1,07	1,64	2,61	3,67	3,68	1,72	0,87	0,51	0,42	1,48
	Vazão total sem o aporte dos pulsos												
1971	0,40	0,31	0,63	53,56	48,83	16,71	13,42	11,38	4,17	3,43	2,54	1,38	13,06
1972	1,43	1,02	3,22	4,69	11,72	17,32	13,25	4,99	7,57	2,17	0,94	0,91	5,77
1973	1,16	1,80	1,18	2,24	1,90	5,66	21,85	6,29	1,12	0,40	0,21	0,11	3,66
total	2,99	3,13	5,03	60,49	62,44	39,69	48,53	22,66	12,85	5,99	3,69	2,40	
média	1,00	1,04	1,68	20,16	20,81	13,23	16,18	7,55	4,28	2,00	1,23	0,80	7,50
1993	0,42	0,24	0,25	0,60	0,70	0,68	0,78	0,50	0,17	0,06	0,04	0,04	0,37
1994	0,42	1,71	1,08	3,27	15,40	36,87	46,69	9,77	3,87	2,16	1,29	1,12	10,30
1995	1,16	1,80	1,18	2,24	1,90	5,66	21,85	6,29	1,12	0,40	0,21	0,11	3,66
total	2,00	3,75	2,51	6,12	18,00	43,21	69,32	16,56	5,16	2,61	1,54	1,27	
média	0,67	1,25	0,84	2,04	6,00	14,40	23,11	5,52	1,72	0,87	0,51	0,42	4,78

Apêndice 3: Volumes totais escoados (em 1.000 m³) dos aportes discretizados no hidrograma das Figuras 28 e 29: volume total; volume de base; volume superficial 1 (volume total sem o aporte dos pulsos); e volume superficial 2 (volume em pulsos).

Ano	Mês												total	Média
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
Volume total														
1971	1.736,90	1.362,92	2.672,44	177.648,77	195.428,16	55.356,48	46.872,00	41.317,78	13.895,28	14.277,17	9.188,21	4.145,04	563.901,13	46.991,76
1972	5.149,01	3.111,00	21.134,74	14.915,23	76.018,18	121.828,32	46.957,54	54.503,71	34.955,28	6.721,49	2.921,79	3.269,38	391.485,66	32.623,80
1973	4.048,06	1.951,82	12.891,31	199.859,18	261.714,24	133.509,60	120.029,47	15.557,18	5.779,30	6.424,70	779,16	989,80	763.533,82	63.627,82
total	10.933,96	6.425,74	36.698,49	392.423,18	533.160,58	310.694,40	213.859,01	111.378,67	54.629,86	27.423,36	12.889,15	8.404,21	1.718.920,61	143.243,38
Média	3.644,65	2.141,91	12.232,83	130.807,73	177.720,19	103.564,80	71.286,34	37.126,22	18.209,95	9.141,12	4.296,38	2.801,40	47.747,79	4.747,79
1993	58,23	31,81	28,27	72,63	82,86	218,35	170,45	70,85	15,58	5,92	11,60	3,94	770,49	64,21
1994	213,79	225,36	1.067,31	2.576,29	1.928,49	8.988,54	8.177,06	995,02	434,86	206,08	118,66	101,28	25.032,73	2.086,06
1995	126,65	191,74	123,59	464,10	194,51	741,37	2.658,25	593,67	101,73	37,54	26,03	18,78	5.277,96	439,83
total	398,67	448,90	1.219,16	3.113,02	2.205,86	9.948,26	11.005,76	1.659,54	552,17	249,55	156,28	124,00	31.081,18	2.590,10
Média	132,89	149,63	406,39	1.037,67	735,29	3.316,09	3.668,59	553,18	184,06	83,18	52,09	41,33	863,37	863,37
Volume de base														
1971	883,87	671,46	1.631,66	18.288,76	47.635,50	37.444,80	23.837,82	15.639,10	10.888,88	6.930,96	4.925,25	3.592,92	172.370,99	14.364,25
1972	2.806,81	2.137,81	3.274,55	4.499,14	7.448,25	10.474,04	14.185,81	10.108,58	10.723,84	5.894,43	2.478,03	1.335,34	75.366,62	6.280,55
1973	1.167,87	1.032,02	2.579,71	8.987,48	29.542,64	32.447,13	21.878,42	10.051,64	3.294,40	1.410,95	626,31	603,59	113.622,15	9.468,51
total	4.858,55	3.841,29	7.485,92	31.775,37	84.626,40	80.365,96	59.902,05	35.799,32	24.907,11	14.236,34	8.029,59	5.531,85	361.359,76	30.113,31
Média	1.619,52	1.280,43	2.495,31	10.591,79	28.208,80	26.788,65	19.967,35	11.933,11	8.302,37	4.745,45	2.676,53	1.843,95	120.453,25	10.037,77
1993	36,02	21,24	20,95	25,57	29,97	34,36	38,75	38,57	14,31	4,99	3,54	3,54	271,83	22,65
1994	7,30	28,59	62,59	139,24	264,64	476,40	692,21	682,08	326,94	188,26	112,35	96,73	3.077,30	256,44
1995	84,76	69,59	70,70	110,85	127,76	160,66	215,41	240,59	95,25	35,04	17,92	9,56	1.238,08	103,17
total	128,08	119,42	154,24	275,66	422,37	671,41	946,37	961,24	436,49	228,29	133,80	109,82	4.587,21	382,27
Média	42,69	39,81	51,41	91,89	140,79	223,80	315,46	320,41	145,50	76,10	44,60	36,61	127,42	127,42
Volume total sem o aporte dos pulsos														
1971	1.073,39	763,91	1.631,66	132.913,22	135.901,80	43.515,36	36.258,61	30.612,38	10.893,24	9.173,35	6.638,28	3.745,82	413.121,03	34.426,75
1972	3.805,82	2.546,70	8.437,46	12.066,38	31.263,22	44.677,44	35.920,74	13.258,34	19.795,20	5.894,43	2.478,03	2.370,23	182.514,00	15.209,50
1973	3.238,63	1.235,02	6.719,01	57.367,32	112.806,86	62.538,48	36.867,67	12.601,08	3.715,20	1.671,41	626,31	603,59	299.990,59	24.999,22
total	8.117,84	4.545,62	16.788,14	202.346,92	279.971,89	150.731,28	109.047,02	56.471,81	34.403,64	16.739,19	9.742,63	6.719,64	895.625,62	74.635,47
Média	2.705,95	1.515,21	5.596,05	67.448,97	93.323,96	50.243,76	36.349,01	18.823,94	11.467,88	5.579,73	3.247,54	2.239,88	24.878,49	24.878,49
1993	36,02	21,24	21,12	51,27	60,97	58,70	67,48	43,86	14,31	4,99	3,54	3,54	387,06	32,26
1994	34,69	148,46	91,19	283,38	1.305,09	3.110,20	4.098,80	873,12	326,94	188,26	112,35	96,73	10.669,19	889,10
1995	100,13	154,92	100,32	194,02	161,72	462,24	1.883,81	576,79	95,25	35,04	17,92	9,56	3.791,70	315,98
total	170,84	324,62	212,63	528,67	1.527,78	3.631,15	6.050,08	1.493,77	436,49	228,29	133,80	109,82	14.847,96	1.237,33
Média	56,95	108,21	70,88	176,22	509,26	1.210,38	2.016,69	497,92	145,50	76,10	44,60	36,61	412,44	412,44
Volume em pulsos														
1971	663,51	599,01	1.040,77	44.735,54	59.526,36	11.841,12	10.613,39	10.705,39	3.002,04	5.103,82	2.549,92	399,22	150.780,11	12.565,01
1972	1.343,19	564,30	12.697,27	2.848,85	44.754,95	77.150,88	11.036,79	41.245,37	15.160,08	827,06	443,76	899,15	208.971,66	17.414,31
1973	809,42	716,80	6.172,30	142.491,86	148.907,38	70.971,12	83.161,80	2.956,10	2.064,10	4.753,30	152,84	386,21	463.543,23	38.628,60
total	2.816,12	1.880,12	19.910,35	190.076,26	253.188,69	159.963,12	104.811,99	54.906,87	20.226,21	10.684,17	3.146,53	1.684,57	823.295,00	68.607,92
Média	938,71	626,71	6.636,78	63.358,75	84.396,23	53.321,04	34.937,33	18.302,29	6.742,07	3.561,39	1.048,84	561,52	22.869,31	22.869,31
1993	22,20	10,56	7,14	21,36	21,89	159,65	102,97	26,99	1,27	0,93	8,05	0,40	383,42	31,95
1994	179,10	76,90	976,11	2.292,91	623,40	5.878,33	4.078,27	121,90	107,92	17,82	6,31	4,56	14.363,54	1.196,96
1995	26,52	36,82	23,27	270,08	32,79	279,13	774,44	16,87	6,49	2,51	8,12	9,23	1.486,26	123,86
total	227,83	124,28	1.006,53	2.584,35	678,08	6.317,11	4.955,68	165,77	115,68	21,26	22,48	14,18	16.233,22	1.352,77
Média	75,94	41,43	335,51	861,45	226,03	2.105,70	1.651,89	55,26	38,56	7,09	7,49	4,73	450,92	450,92

Apêndice 4: Volumes e vazões - estação ponte da Batalha (Período: 01/01/1971 a 31/12/1973)

Período: 1971 a 1973	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Volumes (milhoes de m ³)												
Volume total	3,645	2,142	12,233	130,808	177,720	103,565	71,286	37,126	18,210	9,141	4,296	2,801
Volume mensal sem os pulsos	2,706	1,515	5,596	67,449	93,324	50,244	36,349	18,824	11,468	5,580	3,248	2,240
Separação dos pulsos												
Volume de pulsos	0,939	0,627	6,637	63,359	84,396	53,321	34,937	18,302	5,289	3,561	1,049	0,562
Volume de ascensão	0,343	0,403	3,491	29,545	38,260	28,345	19,806	8,852	1,218	1,634	0,437	0,316
Volume de recessão	0,394	0,189	3,132	33,814	46,018	24,893	15,107	8,773	3,908	1,830	0,498	0,156
Volume estável	0,202	0,035	0,014	0,000	0,118	0,084	0,024	0,677	0,162	0,098	0,113	0,090
Escoamento de base												
Volume de base	1,620	1,280	2,495	10,592	28,209	26,789	19,967	11,933	8,302	4,745	2,677	1,844
Volume mínimo de base	1,280	1,280	1,280	1,280	1,280	1,280	1,280	1,280	1,280	1,280	1,280	1,280
Vazões diárias (m ³ /s)												
Vazão total	1,361	0,885	4,567	50,466	66,353	39,956	26,615	13,861	7,025	3,413	1,658	1,046
Vazão sem os pulsos	1,010	0,626	2,089	26,022	34,843	19,384	13,571	7,028	4,424	2,083	1,253	0,836
Variabilidade dos pulsos	0,350	0,259	2,478	24,444	31,510	20,571	13,044	6,833	2,601	1,330	0,405	0,210
Vazão de base	0,605	0,529	0,932	4,086	10,532	10,335	7,455	4,455	3,203	1,772	1,033	0,688
Vazão mínima de base	0,478	0,529	0,478	0,494	0,478	0,494	0,478	0,478	0,494	0,478	0,494	0,478

Apêndice 5: Volumes e vazões da estação ponte da Batalha (Período: 01/01/1993 a 31/12/1995)

Período: 1993 a 1995	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Volumes (milhoes de m ³)												
Volume total	4,105	4,221	16,151	27,745	23,294	108,478	105,527	15,857	5,584	2,514	1,546	1,283
Volume mensal sem os pulsos	1,758	3,060	2,288	5,271	16,308	38,445	61,135	14,233	4,407	2,310	1,323	1,129
Separação dos pulsos												
Volume de pulsos	2,347	1,161	13,863	22,473	6,985	70,033	44,392	1,624	1,147	0,204	0,222	0,153
Volume de ascensão	0,965	0,616	10,156	1,868	4,214	54,900	26,531	0,411	0,320	0,004	0,064	0,067
Volume de recessão	1,151	0,489	3,643	20,566	2,672	15,009	17,859	1,200	0,748	0,118	0,079	0,049
Volume estável	0,230	0,056	0,065	0,039	0,099	0,124	0,003	0,013	0,078	0,081	0,079	0,038
Escoamento de base												
Volume de base	1,317	1,126	1,621	2,801	4,427	6,803	9,871	9,782	4,407	2,310	1,323	1,129
Volume mínimo de base	1,126	1,126	1,126	1,126	1,126	1,126	1,126	1,126	1,126	1,126	1,126	1,126
Vazões diárias (m ³ /s)												
Vazão total	1,533	1,745	6,030	10,704	8,697	41,851	39,399	5,920	2,154	0,939	0,596	0,479
Vazão sem os pulsos	0,656	1,265	0,854	2,034	6,089	14,832	22,825	5,314	1,700	0,862	0,510	0,422
Variabilidade dos pulsos	0,876	0,480	5,176	8,670	2,608	27,019	16,574	0,606	0,454	0,076	0,086	0,057
Vazão de base	0,492	0,465	0,605	1,080	1,653	2,625	3,685	3,652	1,700	0,862	0,510	0,421
Vazão mínima de base	0,420	0,465	0,420	0,434	0,420	0,434	0,420	0,420	0,434	0,420	0,434	0,420