

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E
SANEAMENTO AMBIENTAL**

**LIMITAÇÕES DO CRITÉRIO DE VAZÃO ECOLÓGICA DO ESTADO DO
TOCANTINS: O CASO DAS PCHs AGROTRAFO E PALMEIRAS.**

Rubens Pereira Brito

**Porto Alegre,
Junho de 2010**

Rubens Pereira Brito

**LIMITAÇÕES DO CRITÉRIO DE VAZÃO ECOLÓGICA DO ESTADO DO
TOCANTINS: O CASO DAS PCHs AGROTRAFO E PALMEIRAS.**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito para a obtenção do título de Mestre em recursos hídricos e saneamento ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Walter Collischonn

Banca Examinadora:

Prof. Dr. André Luiz Lopes da Silveira – IPH/UFRGS

Prof. Dr. Carlos André Bulhões Mendes - IPH/UFRGS

Dr. Luciano Meneses Cardoso da Silva - ANA

Porto Alegre,
Junho de 2010

**Dedico este trabalho às minhas filhas Camila e
Melissa, à minha esposa Luciane e a toda minha
família.**

AGRADECIMENTOS

- Agradeço primeiramente a Deus, a quem eu pedia todos os dias, saúde e iluminação para escrever esta dissertação.
- A todos os colegas do Minter que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão desse trabalho.
- A Secretaria de Recursos Hídricos e Meio Ambiente, na pessoa do secretario Clemente Barros pelo apoio, confiança e por investir na qualificação de seus técnicos.
- Ao Banco Mundial por confiar e apoiar financeiramente a proposta do Minter.
- A FAPTO/UFT na pessoa da professora Liliana Pena Naval pela parceria na implementação desse mestrado.
- Ao IPH/UFRGS na pessoa do professor André Silveira por tornar esse mestrado uma realidade.
- Ao professor e amigo Antônio Eduardo Leão Lanna por ter sido o “mentor” da idéia do Minter que hoje se tornou real.
- Ao meu orientador Walter Collischonn pelas críticas, sugestões e orientação que contribuíram para esta dissertação.
- Aos colegas da secretaria Belí, Dalvani, Fernanda e Ana Iracy, pela amizade que se fortaleceu ainda mais durante o mestrado.
- Aos meus pais: Audifacis e Bezinha pela educação de base, o que me fez enxergar o presente, o futuro e a entender o “mundo lá fora”.
- Aos meus irmãos: Mônica, Simone, Tião e Dizim por me apoiarem sempre.

RESUMO

A pressão exercida sobre os recursos hídricos nas últimas décadas, principalmente por setores como irrigação, abastecimento público, indústria e geração de energia tem sido um dos principais fatores para ampliar as bases de discussão sobre a importância da manutenção de uma parcela de água nos rios para garantir a sua integridade ecológica. Vazão ecológica foi o termo utilizado neste trabalho para definir a parcela a ser mantida nos cursos d'água, para esse fim. Dessa forma, este trabalho tem como objetivo avaliar as limitações do critério de vazão ecológica do Estado do Tocantins, tendo como estudo de caso as Pequenas Centrais Hidrelétricas - PCHs Agrotrafo e Palmeiras na bacia hidrográfica do rio Palmeiras-TO, a qual reúne condições adequadas para o escopo do trabalho, além de ser o único dos sete aproveitamentos hidrelétricos do rio Palmeiras a gerar energia a partir de um Trecho de Vazão Reduzida – TVR, é atualmente a bacia com maior vocação para a geração de energia no Estado. Para alcançar o objetivo proposto para o trabalho, a metodologia foi dividida em três etapas: a) levantamento das características das PCHs Agrotrafo e Palmeiras, b) levantamento da caracterização e limites de uso e manutenção de água na bacia, c) disponibilidade de informações hidrológicas a serem utilizadas. A partir da aplicação da metodologia foi possível identificar quatro categorias de limitações: i) limitações de ordem hidrológica, neste caso como a vazão de referência para outorga é um valor fixo com base na Q_{90} , em determinadas épocas do ano, inclusive em período de cheia, a vazão natural é menor que a Q_{90} ; ii) limitações de ordem econômica, que indicam que caso o órgão outorgante estadual resolva seguir com rigor o que estabelece o critério de vazão ecológica, onde cada usuário tem direito de captar 25% de 75% da Q_{90} haveria uma drástica redução da energia a ser gerada em Agrotrafo e Palmeiras, podendo tornar o aproveitamento inviável economicamente; iii) limitações de ordem ambiental, considerando que a vazão ecológica com base em um valor fixo não leva em consideração aspectos da sazonalidade do regime de vazões, podendo haver um intenso desequilíbrio, principalmente no TVR, afetando hábitos alimentares e de migração espécies de peixes e organismos aquáticos, bem como comunidades ribeirinhas, aspectos paisagísticos e prática de esportes de corredeiras; e, iv) limitações de ordem legal ao não estabelecer uma solução operacional viável quando há disputa entre usuários, principalmente quanto à ordem de prioridade dos usos.

Palavras-chave: Outorga, vazão ecológica, Trecho de Vazão Reduzida.

ABSTRACT

The pressure on the water resources in the last decades, mainly by sectors as irrigation, utility, industry and energy generation have been one of the main factors to enlarge the basis for discussion about the importance of maintaining a portion of water in rivers to ensure its ecological integrity. Ecological flow was the term used in this work to define that portion to be maintained in watercourses. That way, this work is aiming to evaluate the criteria limitations for ecological flow in Tocantins, taking as a case study on the Small Hydroelectric Centrals – “Agrotrafo” and “Palmeiras” in Palmeiras – TO river watershed, which meets appropriate conditions for the work scope, besides being the only one of seven hydropower recoveries in Palmeiras river, to generate energy from a reduced flow section – RFS, and nowadays it's the watershed with greater vocation for energy generation in Tocantins. To achieve the proposed goal for the work, the methodology was divided into three stages: a) characteristics survey of SHC – “Agrotrafo” and “Palmeiras”; b) characterization survey, use limits and water maintenance in the watershed; c) availability of hydrologic information to be used. From the methodology application was possible to identify four limitations categories: i) hydrologic limitations, in this case as the flow reference for the grant is a fixed value based on “Q90”, at certain times of the year, including in flood times, the natural flow is less than “Q90”; ii) Economic limitations, indicating that if the state licensing agency decides to follow rigorously what establishes the criteria for ecological flow, where each user is entitled to capture 25% of 75% from “Q90” would be a drastic energy reduction to be generated in “Agrotrafo” and “Palmeiras”, can make use uneconomical; iii) Environmental limitations, considering that the ecological flow based on a fixed value does not consider flow regime seasonality, there may be an intense imbalance especially in RFS, affecting feeding habits and migration, fish species and aquatic organisms, as well as riparian communities, landscapes features and river sports; and iv) legal limitations by failing to establish a viable operational solution when there is contention among users, especially regarding the order of uses priority.

KEYWORD – right water uses, ecological flow, reduced flow section

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1. Justificativa	15
1.2. Objetivo	16
1.3. Organização do texto.....	16
2. REVISÃO DE CONCEITOS E MÉTODOS SOBRE VAZÃO ECOLÓGICA.....	18
2.1. Métodos Hidrológicos:	25
2.1.1. Vazão Q7,10.....	25
2.1.2. Curva de Permanência de Vazões	26
2.1.3. Método Tennant/Montana.....	27
2.1.4. Método da Vazão Aquática de Base.....	28
2.1.5. Método da Mediana das Vazões Mensais;.....	29
2.1.6. Método da Área de Drenagem	29
2.2. Métodos Hidráulicos	30
2.2.1. Método do Perímetro Molhado	31
2.3. Métodos de Classificação de Habitats	32
2.3.1. Método Idaho	32
2.3.2. Método do Departamento de Pesca de Washington	33
2.3.3. Método Instream Flow Incremental Methodology - IFIM	34
2.4. Métodos Holísticos	36
2.5. Comentários sobre os métodos	38
3. ARCABOUÇO LEGAL.....	39
3.1. Cenário Internacional.....	39
3.1.1. França.....	39
3.1.2. Espanha	39
3.1.3. Suíça	41
3.1.4. Inglaterra	42
3.1.5. Portugal.....	42
3.1.6. Estados Unidos.....	43
3.1.7. África do Sul	44
3.1.8. Outros países	44
3.2. Arcabouço legal no Brasil.....	45
3.3. Legislação no Estado do Tocantins.....	52
4. ÁREA DE ESTUDO E METODOLOGIA.....	56
4.1. Características físicas principais da bacia.....	60
4.1.1. Hidrogeologia.....	61
4.1.2. Clima.....	63
4.1.3. Precipitação	63
4.1.4. Fauna aquática.....	64
4.1.5. Aspectos sócio-econômicos	65
4.2. Descrição da metodologia	66
4.2.1. Características dos aproveitamentos PCHs Agrotrafo e Palmeiras.....	66
4.3. Levantamento das características e limites de uso e manutenção da água na bacia.	70

4.4. Informações hidrológicas utilizadas	71
<u>5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</u>	<u>72</u>
5.1. Limitações de ordem hidrológica.....	72
5.2. Limitações de ordem econômica.....	75
5.2.1. $Q_{7,10}$	77
5.2.2. Método de Tennant.....	78
5.3. Limitações de ordem ambiental.....	79
5.4. Limitações de ordem legal.....	81
<u>6. CONCLUSÕES.....</u>	<u>83</u>
<u>7. RECOMENDAÇÕES</u>	<u>86</u>
<u>8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	<u>88</u>

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Método do Perímetro Molhado para estimar vazões máximas.....	32
Figura 4.1	Diagrama unifilar dos aproveitamentos hidrelétricos identificados no rio Palmeiras.....	59
Figura 4.2	Inserção da área de estudo na bacia do rio Palmeiras.....	60
Figura 4.3	Mapa hidrogeológico da bacia do rio Palmeiras.....	62
Figura 4.4	Soja irrigada por pivô-central no município de Luis Eduardo Magalhães – BA – Vista 1.....	63
Figura 4.5	Soja irrigada por pivô-central no município de Luis Eduardo Magalhães – BA – Vista 2.....	63
Figura 4.6	Precipitação média anual – Bacia do rio Palmeiras.....	65
Figura 4.7	Relação entre comprimento do TVR e QTVR/Q ₉₅	69
Figura 4.8	Traçado do TVR e posição das PCHs.....	72
Figura 4.9	Arranjo local do TVR e estruturas de geração.....	72
Figura 4.10	Curva de não-atendimento anual da Q ₉₀	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Comportamento de alguns aproveitamentos com TVR no Brasil.....	22
Tabela 2.2	Diferentes vazões a serem mantidas, Tenant, 1976.....	29
Tabela 2.3	Vazões ecológicas recomendadas pelo Método Nova Inglaterra – ABF.....	29
Tabela 2.4	Requerimentos para algumas espécies de peixes selecionados.....	33
Tabela 3.1	Critério para cálculo da vazão ecológica no principado das Astúrias.....	41
Tabela 3.2	Vazão ecológica a manter nos rios de regime permanente segundo a Lei de Proteção das Águas da Suíça – 1992.....	42
Tabela 3.3	Metodologias para determinação da vazão ecológica nos EUA.....	45
Tabela 3.4	Critérios e vazões de referências para outorga nas cinco regiões do Brasil.....	50
Tabela 4.1	Situação dos aproveitamentos hidrelétricos na bacia do rio Palmeiras.....	57
Tabela 4.2	Espécies de peixes mais encontradas e seus hábitos.....	66
Tabela 4.3	Comparações entre PCHs Agrotrafo/Palmeiras com outros aproveitamentos no Brasil.....	68
Tabela 4.4	Resumo das características das PCHs Agrotrafo/Palmeiras.....	70
Tabela 4.5	Equação de regionalização obtida para a região 1.....	75
Tabela 5.1	Situação da geração de energia em Agrotrafo/Palmeiras com cenário 1 e 2 – Método Q ₉₀	79
Tabela 5.2	Situação da geração de energia em Agrotrafo/Palmeiras com cenário 1 e 2 – Método Q _{7,10}	80
Tabela 5.3	Situação da geração de energia em Agrotrafo/Palmeiras com cenário 1 e 2 – Método Tennant.....	81

LISTA DE SIGLAS

- ABF** – Aquatic Base Flow
- ANA** – Agência Nacional de Águas
- ANEEL** – Agência Nacional de Energia Elétrica
- BBM** – Método de Construção de Blocos
- CBHSF** – Comitê da Bacia Hidrográfica do São Francisco
- CONAMA** – Conselho Nacional de Meio Ambiente
- CT-HIDRO** – Fundo Setorial de Recursos Hídricos
- CTPOAR** – Câmara Técnica de Procedimentos de Outorga e Ações Reguladoras
- DBO** – Demanda Bioquímica de Oxigênio
- DNAEE** – Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
- DWF** – Water Affairs and Forestry
- EIA** – Estudo de Impacto Ambiental
- FATEC/UFSM** – Fundação de Apoio Tecnológico e Científico da Universidade Federal de Santa Maria
- FEPAM-RS** – Fundação Estadual de Proteção Ambiental – Rio Grande do Sul
- IAH** – Índices de Aptidão de Habitat
- IFIM** – Instream Flow Incremental Methodology
- IUNC** – International Union for Conservation of Nature and Natural Resources
- LPU** – Largura Ponderada Utilizável
- LU** – Largura Utilizável
- MMA** – Ministério do Meio Ambiente
- NATURATINS** – Instituto Natureza do Tocantins
- OD** – Oxigênio Dissolvido
- PBH** – Plano de Bacia Hidrográfica
- PCH** – Pequena Central Hidrelétrica
- PHABSIM** – Physical Habitat Simulation System
- PNRH** – Política Nacional de Recursos Hídricos
- QTVR** – Vazão no Trecho de Vazão Reduzida
- RCA** – Regime de Caudais Ambientais
- RDH** – Reserva de Disponibilidade Hídrica

SINGREH – Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos

SISNAMA – Sistema Nacional de Meio Ambiente

SPU – Área de Habitat Disponível

SRH-BA – Superintendência de Recursos Hídricos – Bahia

SRHMA-TO – Secretaria de Recursos Hídricos e Meio Ambiente – Tocantins

TNC – The Nature Conservancy

TVR – Trecho de Vazão Reduzida

UHE – Usina Hidrelétrica

TEIF – Taxa Efetiva de indisponibilidade Forçada

TEIP – Taxa Efetiva de Indisponibilidade Programada

LISTA DE SIMBOLOS

A – Área

C1dA`a` - Clima subúmido seco

C2wA`a` - Clima úmido subúmido

Ea – Energia Assegurada

g – Aceleração da gravidade

H1 – Queda Líquida

K – Produtividade média da Usina

Ln – Logaritmo Neperiano

MW –Megawatts

MWh/ano – Megawatt hora por ano

NAm_{ax} – Nível D`água Máximo

Q – Vazão Média Censurada

Q* - Vazão máxima de engolimento da usina

Q₃₀₀ – Vazão igual ou excedida 300 dias no ano

Q₃₄₇ – Vazão igual ou excedida 347 dias no ano

Q_{7,10} – Vazão crítica com 7 dias consecutivos com período de retorno de 10 anos

Q₉₀ – Vazão com 90% de permanência do tempo

Q₉₅ – Vazão com 95% de permanência do tempo

Q_{crit} – Vazão Crítica

Q_{ec} – Vazão Ecológica

Q_{lt} – Vazão de longo termo

Q_{R90} – Vazão Regularizada com 90% de permanência do tempo

Q_t – Vazão Afluente no tempo

R² – Coeficiente de Correlação

T – Período de Retorno

η – Rendimento global da central

ρ – densidade da água

Σ – Símbolo de soma

1. INTRODUÇÃO

Durante o século XX a população global quadruplicou, a área irrigada multiplicou mais de 6 vezes e as retiradas de água do ecossistema aumentaram mais de 8 vezes (Gleick, 1998; Postel, 1999). Sistemas fluviais naturais de todo mundo foram fortemente modificados para servir uma variedade de fins humanos. Incluindo o uso da água nas cidades e nas zonas rurais, geração de energia, navegação e controle de enchentes. (Richter et.al 2006).

Em consequência da crescente demanda pela água, podem ocorrer danos ambientais, o mais óbvio destes sendo o fato de um rio perene, ou um trecho de rio perene, eventualmente ficar praticamente seco. Entre os esforços para prevenir futuros danos ecológicos, bem como o abastecimento de água, planejadores em várias partes do mundo estão começando a abordar as necessidades de água para os ecossistemas fluviais, reservando uma parte para manter o ecossistema dos rios (Richter et.al 2006).

Alguns estudos (Richter 2004, e TNC, 2005) já identificaram impactos sobre os ecossistemas aquáticos em função da demanda antrópica e das retiradas de água para satisfazer os usos múltiplos nas bacias hidrográficas. No entanto, na maioria dos casos, os estudos utilizam métodos isolados ou em conjunto para analisar o comportamento de determinada espécie aquática e sua relação com componentes como: substrato ou arranjo físico ideal para se reproduzir, habitat e alimentos.

A manutenção desses componentes está associada a uma parcela de água a ser mantida nos rios em diferentes épocas do ano. O conceito pode variar e ainda não há um termo universalmente e cientificamente reconhecido para definir essa parcela de água a ser mantida. Os termos mais utilizados atualmente são: vazão remanescente, vazão ecológica, vazão residual, vazão mínima e vazão ambiental.

Com a crescente demanda sobre os recursos hídricos tornaram-se cada vez importante medidas efetivas para a proteção de habitats aquáticas. Várias metodologias têm tentado associar requerimentos de vazões com as necessidades de manutenção da integridade de habitats aquáticos. No entanto, o maior desafio desses métodos é manter as condições ideais de sobrevivência das espécies aquáticas com pouco comprometimento das possibilidades de usos antrópicos em determinados rios.

Uma vez identificado o comportamento das vazões remanescentes ou ecológicas, espera-se minimizar o nível de incertezas dos tomadores de decisão principalmente quanto à suficiência quantitativa e qualitativa de água para a sustentabilidade ecológica dos rios e suprimento de demandas atuais e potenciais na bacia.

Assim, a presente proposta visa, através de um estudo de caso na bacia do rio Palmeiras, na região sudeste do Estado do Tocantins analisar as limitações do critério de vazão mínima remanescente estabelecido pelo Decreto 2.432/05, que regulamenta a outorga de direito de uso de recursos hídricos no Estado do Tocantins.

1.1. Justificativa

Num cenário de retirada de água numa bacia hidrográfica a definição das vazões a serem mantidas nos rios tem importância fundamental para a sustentabilidade dos ecossistemas, habitats e da integridade dos processos ecológicos. Ao longo dos últimos anos, tem sido um desafio para as instituições gestoras de recursos hídricos e de meio ambiente a definição de um critério que leve em consideração tanto o regime hidrológico de vazões quanto as variáveis ecológicas associadas a esse regime como forma de garantir a permanência de uma parcela de água nos rios, também conhecida como vazão ecológica ou ambiental.

Alguns princípios com indicação da manutenção de uma vazão que permita a conservação e manutenção dos ecossistemas aquáticos estão previstos na legislação brasileira desde o Código de Águas de 1934 até a Lei 9433/97 que cria a Política Nacional de Recursos Hídricos. No entanto, no Brasil e em grande parte do mundo, a definição da vazão ecológica tem se baseado, na maioria dos casos, apenas em métodos hidrológicos e estatísticos, com pouca relevância ecológica.

No Estado do Tocantins o Decreto 2.432/05, estabelece que 75% da Q_{90} é a vazão de referência para outorga e que cada usuário só poderá retirar 25% de 75% da Q_{90} e que a vazão mínima a ser mantida, caso haja barramento é de 25% da Q_{90} . Percebe-se que o estado optou por um valor fixo de referência para outorga e que a vazão remanescente ou ecológica

também seria um valor fixo e estaria “inserida” nos 25% restante da vazão de referência para outorga.

O balanço adequado entre a utilização da água e a manutenção de suas condições naturais permite o uso continuado da água, no presente e no futuro. Quando este balanço não é resguardado, funções oferecidas pela água deixam de existir, com enormes prejuízos sociais (Lanna & Benetti, 2000)

O estabelecimento via decreto, de um valor fixo ao longo do ano de vazões a serem retiradas e mantidas nos corpos d'água do estado pode acarretar limitações de ordem hidrológica, econômica, ambiental, entre outras. Em que magnitude e escala essas limitações podem ocorrer, é o que esta dissertação pretende identificar, através de um estudo de caso junto às Pequenas Centrais Hidrelétricas - PCHs Agrotrafo e Palmeiras na bacia do rio Palmeiras no sudeste do Estado.

1.2. Objetivo

Avaliar as limitações do critério de vazão ecológica no Estado do Tocantins, tendo como estudo de caso as PCHs Agrotrafo e Palmeiras na bacia hidrográfica do rio Palmeiras, na região sudeste do estado.

1.3. Organização do texto

Esta dissertação se divide em oito temas: a) Introdução, b) Revisão de conceitos metodológicos sobre vazão remanescente, c) Arcabouço Legal, d) Área de estudo e metodologia, e) Discussão dos resultados, f) Conclusões, g) Recomendações, h) Referências bibliográficas,

A Introdução apresenta a contextualização das discussões sobre o tema da dissertação numa escala mundial, abordando as incertezas dos métodos atuais de determinação de vazão ecológica, bem como a ausência de um conceito universal para definir a parcela de água a ser mantida nos rios após uma retirada.

A revisão de conceitos e métodos sobre vazão ecológica apresenta um histórico das citações já publicadas sobre o tema, com foco em estudos, experiências e pesquisas realizadas

em outros países. Apresenta também a relação dos métodos de determinação de vazão ecológica mais utilizados, bem como alguns comentários sobre o que foi apresentado.

O arcabouço legal apresenta a legislação relacionada a recursos hídricos com foco no tema da dissertação, considerando os cenários: internacional, do Brasil e do Estado do Tocantins.

O tema área de estudo e metodologia apresenta a caracterização dos aspectos físicos do caso de estudo, com foco principal na hidrogeologia, clima, precipitação, fauna aquática. Em seguida a descrição metodológica com análise das características do empreendimento estudado, das informações hidrológicas utilizadas. Com isso, cotejando com os aspectos legais do critério de outorga do estado foi possível identificar algumas limitações.

No item discussão dos resultados foi possível identificar quatro categorias de limitações: de ordem hidrológica, econômica, ambiental e legal.

Os itens seguintes apresentam as conclusões, recomendações e as referências bibliográficas.

2. REVISÃO DE CONCEITOS E MÉTODOS SOBRE VAZÃO ECOLÓGICA

Durante o século XX a população global quadruplicou, a área irrigada multiplicou mais de seis vezes e as retiradas de água no ecossistema aumentaram mais de 8 vezes (Gleick, 1998; Postel, 1999). Sistemas fluviais naturais em todo mundo foram fortemente modificados para servir a uma variedade de fins humanos, incluindo o uso da água nas cidades e nas zonas rurais, geração de energia, navegação e controle de enchentes (Richter, 2006)

O controle humano das vazões dos rios está onipresente no mundo desenvolvido e cresce rapidamente nos países emergentes. Mais de 800 mil barragens bloqueiam o fluxo dos rios em todo o mundo (Rosenberg et al., 2000).

Apesar do domínio do homem sobre os rios e o planeta, a sociedade já obteve vários benefícios, mas também tem causado vários danos ecológicos e a perda de importantes ecossistemas de valor para a sociedade. (Baron et al., 2002; Postel and Richter, 2003; Fitzhugh and Richter, 2004).

O termo “saúde dos rios” é utilizado no texto para expressar uma condição de qualidade e quantidade satisfatória ou não da água.

O interesse da sociedade pela restauração das vazões ambientais tem aumentado em todo mundo. Grande parte destas atividades está centrada na proteção ou restauração das vazões naturais dos rios necessárias para a manutenção da saúde dos ecossistemas. Mais de 850 projetos de recuperação de vazões ambientais já estão em curso em pelo menos 50 países (TNC, 2005).

É preciso água para manter os ecossistemas dos rios e para o planejamento do suprimento dos abastecimentos. Espera-se que muitos rios sejam protegidos antes que sua saúde seja comprometida pela atividade humana. Um exemplo disso é a Lei Nacional da Água da África do Sul (1998) que apela para a criação de um reservatório de água em cada bacia hidrográfica para satisfazer tanto as necessidades humanas básicas como para proteger a saúde dos ecossistemas fluviais. Do mesmo modo, outras directivas e acordos internacionais, como a Directiva-Quadro da Água da União Européia os quais elaboram mecanismos de proteção de rios, incluindo a gestão adequada de vazões ambientais (Postel e Richter, 2003).

É possível que, na prática, a implementação de vazões ecológicas não seja fácil. Porém, eles são um elemento chave para qualquer esforço para lidar com a destruição dos rios e, conseqüentemente, com a perda da sua biodiversidade e de seus benefícios sociais (IUCN, 2003).

Ecosistemas de águas doces são a base para a formação do capital social, cultural econômico e do bem-estar. Rios, lagos, áreas úmidas e estuários, fornecem água potável, energia, nutrientes e outras vantagens para apoiar a economia e os meios de subsistência em todo o mundo. Eles são essenciais ao bem-estar e à saúde humana, (Brisbane, 2007).

Após mais de duas décadas de estudos e avaliações, algumas certezas são claras, principalmente o fato da necessidade de se ter regras de retirada e manutenção de águas nos corpos de água, em função de demanda de usos e do atendimento às necessidades do ecossistema dos rios. E esses estudos se concentraram ao longo dos anos naquilo que se denomina Environmet flow ou Vazão Ecológica.

Nos EUA a vazão ecológica é usualmente definida como um fluxo que é adequado para atender necessidades básicas dos rios. Essa vazão, nos EUA, é estabelecida de forma legal, tipicamente através da adoção de regras em cada Estado (Geller, 2003). Além disso, as leis federais são muito relevantes nos EUA através do Clean Water Act and the Endangered Species Act (Rushton, 2000). Vazões ecológicas são aquelas que devem ser mantidas em condições naturais ao contrário da outra parcela que deve atender a agricultura, indústrias e abastecimento populacional (Gordon, et.al. 2004).

Em geral, a fixação de vazões ecológicas no Brasil tem sido feita principalmente através da legislação nos níveis estadual e federal, principalmente para uso nos procedimentos administrativos de licenciamento ambiental e concessão de outorga de direito de uso de água e construção de barragens. (Sarmiento, 2007)

Percebe-se que em vários livros, estudos, grupos de discussão e eventos da área, ainda existe a preocupação com o emprego do termo correto quando o assunto é vazão ecológica, ambiental, remanescente, mínima ou residual. Segundo Cruz, (2000), vazões ecológicas, residuais ou remanescentes, são muitas vezes referidas como a vazão mínima para a proteção ambiental a ser conservada em um curso de água. No entanto, ela deve ser considerada como a “vazão necessária para que sejam preservadas as condições de ‘pulso hidrológico’, transporte de sedimentos e nutrientes, sincronicidade como 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”.

Conceitualmente o tema ainda se encontra em construção. Segundo Benetti (2003), as vazões ecológicas, também chamada de ambientais, residuais ou remanescentes, representam a quantidade de água que permanece no leito dos rios depois de retiradas para atender usos externos como abastecimento público, industrial, irrigação, dessedentação animal, energia elétrica, etc. (ANA, 2005)

Vazão ecológica: é a demanda necessária de água a manter num rio de forma a assegurar a manutenção e conservação dos ecossistemas aquáticos naturais, aspectos da paisagem e outros de interesse científico ou cultural (Bernardo 1996, apud Sarmiento, 2007).

Para Collischonn et al., (2005) a vazão ecológica (residual, remanescente ou ambiental) é definida como sendo uma série temporal de vazão, determinada de forma a assegurar a manutenção e conservação dos ecossistemas aquáticos naturais, dos aspectos da paisagem, ou outros de interesse científico ou cultural.

Outro conceito mais amplo que vem recentemente sendo bastante aplicado é o da vazão ambiental. Segundo o Banco Mundial por meio do documento “FLOW – The Essentials of Environment Flows (2003), a vazão ambiental funciona como um regime de águas contidas no corpo hídrico (rio, áreas úmidas, ou zonas costeiras) que mantém o ecossistema e seus benefícios, nos locais sujeitos a conflitos e à regulação das vazões.

Outros termos utilizados pelo Banco Mundial:

- **Demanda Hídrica no leito** (IFR – *Instream Flow Requirement*): demanda requerida de carácter menos abrangente que a ambiental, considerando-se somente a manutenção de peixes;
- **Demanda Hídrica de Manutenção** (*Maintenance IFR*): regime hidrológico necessário para manter todas as funções dos ecossistemas fluviais e garantir a reprodução de plantas e animais na maior parte do tempo;
- **Demanda Hídrica de Estiagem** (*Drought IFR*): Regime hidrológico drasticamente reduzido, aplicável em anos de secas, de modo a garantir a sobrevivência de espécies, mas sem provisões para sua reprodução;

- **Vazão Mínima** (*Minimum flow*): termo genérico, utilizado para descrever as vazões requeridas à manutenção de determinada característica de um ecossistema. Confunde-se com vazão remanescente. É destinado a limitar as captações em períodos de seca.

Como ainda não há consenso sobre a melhor terminologia para a parcela de água que deve ficar nos rios após uma retirada, entende-se que o termo “vazão ecológica” é o que melhor associa aos requerimentos hidrológicos e do ecossistema apesar de não ter o conceito tão amplo ou holístico quanto o de “vazão ambiental”. No caso específico desse trabalho o termo a ser utilizado, pela ausência de um número maior de dados que pudessem dar uma abordagem mais holística ou global ao estudo, será vazão ecológica, o qual será empregado no decorrer desta dissertação.

A construção de barramentos e o excesso de retirada de água alteram a dinâmica natural do rio, permitindo a ocorrência de magnitudes, períodos e frequências das vazões e níveis fluviométricos diferentes das que ocorriam naturalmente no rio. No leito dos rios deve haver uma determinada vazão que satisfaça a todos os usos previstos pela Política Nacional de Recursos Hídricos, inclusive as demandas ambientais satisfeitas pela vazão ecológica (Pelissari e Sarmiento, 2003)

Interrupções do curso natural dos rios, a exemplo da construção de barragens de acumulação para a geração de energia elétrica transformam ambientes lóticos em lênticos, com interferência direta sobre as espécies que habitam os rios. Da mesma forma, causam alterações no fluxo de transporte de sedimentos e nutrientes, compondo uma barreira física intransponível para a maioria das espécies da fauna aquática, impedindo a sua movimentação e condicionando a redução da riqueza e diversidade de espécies em suas águas. Neste contexto, as espécies que fazem piracema são as mais afetadas (PBH Rio Palma, 2009).

Com a discussão em nível mundial sobre os passivos ambientais, econômicos e sociais deixados principalmente pelas grandes obras de aproveitamentos energéticos, surgiram nos últimos vinte anos, novas formas de intervenção para aproveitar o potencial hidráulico dos rios brasileiros. Pequenos empreendimentos, como é o caso das Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCHs (centrais com capacidade de geração menor que 30MW e área inundada menor que 3km²) criada pela Resolução Aneel n^o 395/98 surgiram como alternativa para o problema dos passivos.

No entanto, algumas dessas PCHs trouxeram em seu desenho e arranjo estrutural, a casa de força distante do leito do rio o que provocou a formação de um desvio da água a ser turbinada, aproveitando a queda natural e formando no leito original o que se denomina atualmente de Trecho ou Alça de Vazão Reduzida- TVR.

Há experiências de construção de aproveitamentos hidrelétricos com TVR em vários locais do Brasil, vários deles com extensões significativas e com expressiva redução do volume de água que passa no TVR. A Tabela 2.1 mostra como se comportam os TVR em alguns aproveitamentos no Brasil.

Tabela 2.1 – Comportamento de alguns aproveitamentos com TVR no Brasil

Nome	Rio	Estado	TVR (km)	QTVR	Qmedio	Q90	Q95	QTVR/Qmed	QTVR/Q90	QTVR/Q95
UHE Amador Aguiar I	Araguari	MG	9	7	359	160	136	1.9%	4.4%	5.1%
UHE Monte Claro	Antas	RS	18	10.78	267.7	NI	18.6	4.0%	NI	58.0%
UHE São João	Ijuí	RS	4	11.36	257.7	NI	42	4.4%	NI	27.0%
PCH Linha 3	Ijuí	RS	8	8.9	64.7	NI	13.2	13.8%	NI	67.4%
UHE Dardanelos	Aripuanã	MT	2.4	21	313.1	52.8	43	6.7%	39.8%	48.8%
UHE Belo Monte(1)	Xingu	PA	100	700	NI	1193	1032	NI	58.7%	67.8%

(1) = Hidrograma A e B - ANA

NI = Não Informado

Fonte: Collischonn e Tucci, 2009

A preocupação com a manutenção de vazões remanescentes em trechos de rios alterados por desvios para geração de energia elétrica é relativamente recente no Brasil. Empreendimentos mais antigos normalmente não previam vazões no TVR, como é o caso da UHE Itaúba, no rio Jacuí (RS), onde um TVR de 5,7 km foi mantido com vazão remanescente nula, apenas com a contribuição dos afluentes no trecho (Collischonn e Tucci, 2009).

Implicitamente os estudos anteriores de vazão remanescente em TVR já levavam em conta a variável comprimento do TVR, e mais recentemente o uso de um índice baseado no comprimento do TVR foi proposto. Um estudo elaborado pela FATEC-UFSM para a FEPAM-RS propõe a utilização explícita de um índice baseado na relação entre as áreas de drenagem A1 (a montante da barragem) e A2 (incremental entre a barragem e a casa de força), como um indicador de impacto e de necessidade de manutenção de vazão

remanescente (FATEC-UFSM, 2006). Este índice está diretamente relacionado ao comprimento do TVR. De acordo com esta proposta, quando a referido índice tende a zero (porque o TVR é curto), teríamos o caso de usinas com turbina no pé da barragem, ou seja, sem desvio. Em outras palavras, quanto menor a extensão do TVR menores os impactos (Collischonn e Tucci, 2009).

A necessidade de trabalhar regimes de vazões que mantenham aspectos-chave do regime natural surge invariavelmente a partir de conflitos de demandas hídricas por exploração e preservação do regime hidrológico. Como provável resultado da implementação de regimes seminaturais, ter-se-ia a conservação de produção de bens e serviços ambientais essenciais e a orientação para o desenvolvimento de atividades antrópicas em função da capacidade de suporte do meio ambiente.

O Conceito de “Minimum Flow” é o termo genérico surgido nos EUA para descrever as vazões requeridas à manutenção de determinada característica de um ecossistema para limitar as captações durante os períodos de seca, podendo ou não ter relevância para as regiões áridas (Gondim, apud Sarmento, 2007);

As vazões mínimas a serem mantidas a jusante de intervenções hidráulicas, ou de uma retirada de água qualquer, bem como em qualquer ponto de controle de um corpo de água, devem contemplar as vazões necessárias ao atendimento dos múltiplos usos, bem como as vazões ecológicas, necessárias ao provimento dos ecossistemas (Sugai, 2007).

Um aspecto importante da discussão sobre a vazão ecológica está relacionado à responsabilidade dos órgãos de recursos hídricos e de meio ambiente na manutenção dessa parcela de água nos rios. A outorga de responsabilidade do órgão de recursos hídricos e o licenciamento ambiental que compete ao órgão ambiental teriam base suficiente para prover as necessidades dos ecossistemas?

Grande parte dos estados brasileiros estabeleceu suas legislações de outorga com base numa vazão de referência, tanto para retiradas como para a manutenção. Essas vazões se baseiam fundamentalmente em critérios que une estatística e hidrologia, sem qualquer prescrição ou ancoragem ecológica. Os métodos mais utilizados pelos estados são a $Q_{7,10}$ e a $Q_{90/95}$, os quais serão detalhados no decorrer desta dissertação, cujas bases para obtenção seguem critérios puramente hidrológicos.

Com pouca ou nenhuma base ecológica, os critérios com viés hidrológico vêm sofrendo várias críticas. Sabe-se que as demandas dos ecossistemas aquáticos não são fixas e variam ao longo do ano de acordo com determinadas espécies. Isso já é suficiente para se ter um modelo adaptativo que seja ecologicamente e hidrológicamente sustentável. Em outras palavras, isso remete ao que recentemente se convencionou chamar de hidrograma ecológico.

Uma das propostas do hidrograma ecológico é buscar o gerenciamento dos recursos hídricos de uma maneira que possa atender aos usos antrópicos e ao mesmo tempo em que mantém a integridade dos ecossistemas aquáticos. Segundo Collischonn et.al (2006), outro ponto fundamental do hidrograma ecológico é seu aspecto adaptativo, ou seja deve ser aprimorado ao longo do tempo, à medida que se aprofunda o conhecimento das relações entre o regime hidrológico e os ecossistemas.

No entanto, a adoção de uma metodologia a partir do princípio do hidrograma ecológico requer o aumento do investimento em conhecimento em hidrologia e ecologia, exigindo mais pesquisa e estudos para que se possam diminuir os erros e responder de forma mais efetiva às demandas dos rios e seus ecossistemas.

Seja por meio de um valor fixo anual, ou por meio de um hidrograma ecológico com série temporal de vazões, o que é muito raro ou até inexistente, as legislações dos estados que tratam de valores a serem retirados e mantidos nos corpos de água de rios estaduais demonstram uma razoável escala de variabilidade.

A partir das décadas de 60 e 70 começaram a surgir alguns métodos baseados fundamentalmente em parâmetros hidrológicos e hidráulicos.

A escolha do método e o resultado de aplicações dependem do objetivo do estudo, podendo restringir-se à definição de volumes hídricos não alocáveis em rios em algum período do ano (Tharme 2003; Acreman & Dunbar 2004), como também servir ao gerenciamento hídrico de bacias, incluindo demandas ambientais em terras úmidas (Tassi *in press*), e estuários (Arthington & Zalucki 1998).

Atualmente, os métodos de determinação da vazão ecológica podem ser classificados nos seguintes grupos (Lanna e Benetti, 2000):

- Métodos Hidrológicos:

- Métodos Hidráulicos

- Métodos de Habitats
- Métodos Holísticos
- Outros Métodos

2.1. Métodos Hidrológicos:

Os métodos hidrológicos são uma forma com que especialistas, pesquisadores e hidrólogos utilizam para se estimar a vazão a ser mantida em cursos d'água após qualquer tipo de intervenção ou retirada. No entanto, este método se baseia principalmente em um parâmetro físico importante, a série histórica de vazões. Essa é a principal variante que deve orientar os principais métodos hidrológicos que serão discutidos a seguir.

2.1.1. Vazão $Q_{7,10}$

Na década de 70, Chiang e Jonhson propuseram a aplicação desse método para determinar a vazão mínima de referência de qualidade de água para construção de estações de tratamento de efluentes nos Estados Unidos.

A obtenção da $Q_{7,10}$ é a partir de um processo estatístico onde o valor da vazão é obtido, calculando-se as médias móveis das vazões médias diárias, com intervalo de 7 dias, no decorrer de um ano hidrológico. A mínima destas médias móveis é retirada. Esse procedimento é repetido na sequência para cada ano hidrológico, obtendo-se uma série de valores mínimos de vazões médias em 7 dias consecutivos, para cada ano. Em seguida faz-se o ordenamento das vazões obtidas em ordem crescente, comparando com a probabilidade cumulativa de ocorrência e o período de retorno de cada vazão, a partir de um ajuste probabilístico de mínimos.

No entanto, apesar da eminente facilidade na obtenção de um valor de vazão ecológica, o método $Q_{7,10}$, segundo Stalnaker et al. (1995), aponta para valores excessivamente baixos para a manutenção de habitats aquáticos. Uma alternativa seria a adoção do valor médio das mínimas vazões móveis de 7 dias selecionadas para cada ano, critério já adotado na Inglaterra (Stalnaker et al. 1995).

Sarmento (2007), afirma que a utilização desse método para recomendação de uma vazão não possui base ecológica, pois não considera as especificidades dos ecossistemas e ignora a dinâmica natural da ictiofauna e o tempo necessário para a sua recuperação quando sujeitas a um longo período de vazão reduzida.

Outra questão que envolve a $Q_{7,10}$, é a possibilidade deste índice vir a substituir ou ocultar a intenção dada a ele. Este modelo foi desenvolvido e acrescentado à legislação dos recursos hídricos com o intuito de manter as condições ecológicas naturais de um rio, porém ele não é a única condição para que haja equilíbrio ambiental. Outros conceitos, como o do rio contínuo ou da descontinuidade serial, devem ser considerados para concessão de outorga do uso da água.

2.1.2. Curva de Permanência de Vazões

Também conhecida como curva de duração, a curva de permanência é um dos métodos mais utilizados no Brasil. Ela expressa o histórico de vazões ou o comportamento das vazões num período de tempo determinado. Relaciona a vazão de um rio com a soma de todos os períodos de tempo em que ela foi igualada ou superada, seguindo uma ordem cronológica de vazões.

A curva de permanência de vazões de um ponto da rede hidrográfica é uma função hidrológica que demonstra a disponibilidade hídrica neste ponto. É uma síntese do regime hidrológico que dá uma idéia do potencial de utilização de um manancial, sobretudo na faixa das vazões médias a mínimas, sendo frequentemente empregado em estudos de potencial hidrelétrico, abastecimento, irrigação e de qualidade da água.

Para uma série de vazões de um posto representativo do seu escoamento, podem ser calculadas diferentes curvas de permanência. Uma primeira diferença diz respeito ao intervalo de tempo: uma curva de permanência calculada com vazões diárias é diferente daquela calculada com vazões médias mensais. A curva de permanência baseada em dados diários é mais adequada, porque atenua menos as diferenças das vazões, e resulta em valores extremos mais confiáveis.

A curva de permanência mostra o comportamento das vazões como se fosse um histograma. É uma ferramenta de análise estatística. A partir dela se pode pressupor o que ocorrerá no futuro, supondo que o sistema não se altere. Ela fornece qual é a frequência de ocorrência de vazões acima ou abaixo de determinado valor. No entanto, este método se baseia principalmente em um parâmetro físico importante, a série histórica de vazões, o que pode ser uma limitação considerando que o mesmo não leva em consideração demandas dos ecossistemas aquáticos.

2.1.3. Método Tennant/Montana

Este é um método rápido, fácil e descreve uma metodologia para a determinação da vazão de proteção dos recursos aquáticos, tanto em água morna e riachos de águas frias, com base na vazão média. Ele foi desenvolvido com base em dados de calibração de centenas de rios em estados ocidentais dos EUA para especificar vazões mínimas e proteção de ecossistemas aquáticos.

Apesar de o método apresentar bons resultados, ele pode ser usado em outras bacias, mas com o devido cuidado, principalmente quanto à recalibração dos dados e aos aspectos hidrológicos de cada região.

Os estudos foram planejados e conduzidos por biólogos especialista da área da pesca dos EUA e revelaram que as condições de hábitat aquáticos é notavelmente semelhante à manutenção ou não das vazões médias dos rios.

Dez por cento da vazão média é o fluxo instantâneo mínimo recomendado para sustentar em curto prazo a sobrevivência de hábitat aquáticos com maior poder de sobrevivência. Trinta por cento é recomendado como um fluxo de base para sustentar boas condições de sobrevivência para a maioria das formas de vida aquática e de recreação em geral. E sessenta por cento da vazão média fornece o habitat excelente para manter mais formas de vida aquáticas durante seus períodos de crescimento primário e para a maioria dos usos recreativos (Tennant, 1976).

Segundo Tennant (1976, Orth & Maughan, 1981), a aplicação desse método envolve as seguintes etapas:

- determinação da vazão média anual no local do aproveitamento hidráulico;

- observação do rio durante os períodos em que a vazão no curso de água é aproximadamente 10%, 30% e 60% da vazão média anual, documentando-o com fotografias dos vários tipos de habitat característicos;
- utilização da informação obtida para elaborar recomendações de vazões a manter no curso de água, com base na Tabela 2.2.

A Tabela 2.2 apresenta diferentes vazões a serem mantidas no curso d'água pelo método de Tennant para Peixes, Vida Aquática e Recreação nos estados americanos de Montana, Nebraska e Wyoming.

Tabela 2.2 - Diferentes vazões a serem mantidas – Tennant, 1976.

Condição do Rio	Vazão Recomendada	
	Outubro – Março (seco)	Abril – Setembro (chuvoso)
“Flushing” ou máxima	200 % da vazão média anual	
Faixa ótima	60 – 100 % da vazão média anual	
Excepcional	40 %	60 %
Excelente	30 %	50 %
Boa	20 %	40 %
Regular ou em degradação	10 %	30 %
Má ou mínima	10 %	10 %
Degradação severa	10% a zero da vazão média anual	

(Fonte: Tennant, 1976)

2.1.4. Método da Vazão Aquática de Base

Esta técnica utiliza a vazão mediana do mês de menores vazões do ano como o valor mínimo de vazão residual a ser estabelecido (Kulik, 1990). Também conhecido como Aquatic

Base Flow – ABF, foi desenvolvido em 1980 para a região da Nova Inglaterra nos EUA (Larsen, 1980, citado por Morhardt, 1986). O ABF parte do princípio que as vazões médias ou recomendadas são suficientes para as espécies de peixes, conforme pode ser demonstrado na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Vazões ecológicas recomendadas pelo Método Nova Inglaterra –ABF

Estação do Ano	Série Histórica de Vazões	
	Inferiores a 25 anos (m ³ .s ⁻¹ /km ²)	Igual ou superior a 25 anos ^(a)
Abril – 1 ^a quinzena de Junho ^(b)	0.29	100% média de agosto ^(c)
2 ^a Quinzena de junho – setembro	0.04	100% média de agosto ^(c)
Outubro – Março	0.07	100% média de agosto ^(c)

(a) rio natural, bacia hidrográfica superior a 130km², precisão superior ou igual a 10%;

(b) períodos de postura e incubação;

(c) se a vazão no curso de água a montante da barragem for inferior à média do mês de setembro, então a vazão a manter é a vazão que se verifica nesse local do curso de água.

(Fonte: Morhardt, 1986)

Segundo Russel (1990, *apud* Alves, 1993), estudos comparativos com outros métodos sugerem que os resultados obtidos através deste método são mais conservativos, ou seja, as vazões recomendadas são superiores aos obtidos com outros métodos.

2.1.5. Método da Mediana das Vazões Mensais;

Este método determina os valores de vazões residuais correspondentes aos valores das medianas das vazões para cada mês do ano. Os valores residuais simulam os padrões naturais de variação de vazões que ocorrem ao longo do ano (Bovee, *apud* Stalnaker, 1995).

2.1.6. Método da Área de Drenagem

Na ausência de dados de vazão, recomenda-se o uso de uma variável que sirva de substituta para vazão. Por exemplo, em um estudo realizado na região de New England, EUA,

as vazões residuais foram determinadas em função da área de drenagem da bacia hidrográfica. Neste estudo, foram recomendadas vazões residuais de 5,5 L/s·km² de área de drenagem (Larson citado por Stalnaker, 1995).

2.2. Métodos Hidráulicos

Estes métodos utilizam um ou mais parâmetros hidráulicos para prever modificações nos habitats hídricos. Exemplos de parâmetros hidráulicos utilizados são: profundidade, perímetro molhado, velocidade, raio hidráulico e área molhada da seção. (Lanna e Benetti, 2000).

A principal característica desses métodos é a possibilidade de seleção de uma ou mais variáveis físicas que sejam afetadas pela variação da vazão, que, por sua vez, constitui um fator limitante para as espécies piscícolas ou outras espécies aquáticas. Admite-se que a garantia de um valor mínimo para essas variáveis permitirá a manutenção da integridade do ecossistema [Sale & Loar, 1981, apud Alves, 1993; Gordon *et al.*, 1992, apud Alves, 1993].

A vantagem desses métodos é a utilização de técnicas simples de simulação, a partir de modelos hidráulicos, que permite diminuir o trabalho de campo e possibilita considerar as características morfológicas de cada local estudado (Loar & Sale, 1981, citado por Alves, 1993).

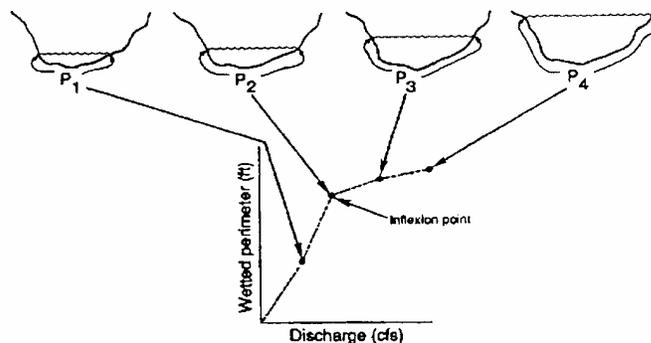
O método de Oregon, 1972, utiliza os princípios de velocidade e profundidade do escoamento para determinar a presença de peixes. Thompson, 1972 apud Loar e Sale, 1981, afirma que esse método utiliza conceitos de largura ponderada utilizável e largura utilizável de rios na determinação de vazões mínimas e ótimas para locomoção, postura, incubação e crescimento das espécies selecionadas.

A largura utilizável (LU) se baseia num critério binário com dois resultados possíveis: utilizável ou não-utilizável. Os resultados levam em consideração uma série de combinações de valores de velocidade e profundidade utilizados pela espécie e seu ciclo de vida. Outro fator considerado é a largura ponderada utilizável (LPU), a qual usa um critério de ponderação que varia de 0 a 1 para cada variável. Para o cálculo do LPU é necessário dividir as seções transversais uniformemente em subseções, cada um com uma largura, profundidade e velocidade média definida.

Para extrair os valores de vazão ecológica é feita uma comparação das curvas de LU e LPU em função da vazão para cada seção transversal. Neste caso, o método indica que a vazão ecológica aceitável para migração é a que combina os critérios de profundidade mínima e velocidade máxima em pelo menos 25% da largura total. A vazão ótima para postura é aquela que mantém condições de velocidade e profundidade adequadas, para a maior extensão do leito em que o material aluvionar tem granulometria adequada. Para manter uma vazão mínima necessária para garantir a postura dos peixes é necessário manter cerca de 80% da extensão anterior.

2.2.1. Método do Perímetro Molhado

Para Annear e Conder, 1984, o Método do Perímetro Molhado, admite a existência de uma relação direta entre o perímetro molhado e a disponibilidade de habitat para a ictiofauna. Em geral escolhe-se um trecho de um rio considerado crítico do ponto de vista da manutenção do ecossistema aquático. Nos trechos ou seções escolhidas são feitas as medições de descarga e perímetro molhado. Os valores correspondentes da vazão ecológica coincidem com os pontos de inflexão na curva que relaciona o perímetro molhado com a descarga como pode ser verificado na figura apresentado por Stalnaker et. Al (1995).



Fonte: (Stalnaker et al., 1995)

Fig. 2.1 - Método do perímetro molhado para estimar vazões mínimas

Os resultados obtidos pelo método do perímetro molhado são influenciados pela forma da seção transversal do canal. Esta técnica tem sido aplicada principalmente em rios que apresentam seções transversais relativamente largas, retangulares e pouco profundas (Stalnaker et.al, 1985)

2.3. Métodos de Classificação de Habitats

2.3.1. Método Idaho

O método de Idaho foi desenvolvido por Cochnauer e White em 1975, para os grandes rios do estado de Idaho, nos EUA [Gordon *et al.*, 1992, citado por Alves, 1993]. Ele associa a sobrevivência dos habitats aquáticos a uma determinada vazão, relacionando-a com o perfil da seção do canal do rio.

O estudo pode englobar dezenas de seções, a uma única vazão. Os dados são usados em um programa de simulação para gerar características hidráulicas a diferentes vazões. Os resultados da simulação permitem construir curvas entre características hidráulicas versus descargas, as quais são comparadas com critérios de habitat conhecidos. (Lanna e Benetti, 2000)

Ao comparar as condições de habitat simuladas com as necessidades das diferentes espécies, podem-se recomendar vazões mínimas para a circulação, reprodução e crescimento. As vazões para a circulação baseiam-se nas profundidades mínimas; para a reprodução, baseiam-se nas vazões correspondentes às larguras máximas disponíveis (valor médio obtido considerando todas as seções transversais); e para o crescimento dos peixes, baseiam-se no método perímetro molhado (Alves, 1993).

As vazões são sugeridas para períodos de um mês ou quinze dias, em que são selecionados os valores mais elevados de vazão entre as vazões mínimas recomendadas para a livre circulação, a postura e o crescimento dos indivíduos para o período considerado. (Wesche & Rechard, 1980, citado por Alves, 1993; Gordon *et al.*, 1992, citado por Alves, 1993).

Um estudo realizado por especialistas na Austrália mostra os requerimentos para espécies de peixes selecionadas. Ver Tabela 2.4.

Tabela 2.4 - Requerimentos para algumas espécies de peixes selecionadas

Espécie	Profundidade (m)	Velocidade (m/s)	Tipo de Substrato
Blackfish	> 0,20	0 – 0,30	Todos os tipos
Truta marron (Brown trout)	> 0,20	0 – 0,50	Todos os tipos
Redfin e carpa	> 1,00	0 – 0,20	Lodo e areia
Eel	> 0,20	0 – 0,30	Todos os tipos

Fonte: (Tunbridge apud McMahon, 1992)

Apesar de focar requerimentos de vazões mínimas, esse método não estabelece um regime ou valor fixo de vazão, mas sim um valor base que permitiria alcançar uma ou mais vazões ecológicas.

2.3.2. Método do Departamento de Pesca de Washington

O método "Washington Department of Fisheries" (EUA) foi desenvolvido por Collings, em 1974, para espécies de salmões. A quantidade de habitat que é requerida para desova e desenvolvimento de salmões é obtida a partir de valores de profundidades e velocidades da água medidas em várias seções, a diferentes vazões. Os resultados são bastante semelhantes àqueles obtidos na Tabela 2.4 do método Idaho.

Os critérios desse método consistem na definição dos limites superiores e inferiores do intervalo de valores selecionados pelas espécies. São considerados, no mínimo, três locais de amostragem representativos de postura ou de crescimento, sendo definidas quatro seções transversais em cada local. Ao longo de cada seção transversal e, de preferência, também entre seções, são realizadas medições de velocidade e de profundidade para, no mínimo, cinco valores de vazão. Os valores obtidos permitem definir isolinhas de igual valor para a profundidade e velocidade (Alves, 1993).

Para cada valor de vazão são definidos mapas planimétricos para a postura e crescimento, que mostram as diferentes combinações de velocidade e profundidade. São medidas as áreas com adequadas combinações de velocidade e profundidade, a partir das

quais são elaboradas curvas da área de postura e da área de crescimento em função da vazão. A vazão ótima para a postura ou para o crescimento das espécies piscícolas corresponde aos picos das respectivas curvas, sendo a vazão ecológica definida como a vazão que permite manter 75% da área máxima de postura ou de crescimento (Pelissari, 2000).

Uma das vantagens desse método é a sua forma de apresentação em forma de gráfico, ao contrário de outros métodos que se baseiam em simulação hidráulica.

2.3.3. Método Instream Flow Incremental Methodology - IFIM

O método Instream Flow Incremental Methodology - IFIM teve origem a partir grupo de estudos de vazões mínimas do U.S. Fish and Wildlife Service na Colorado State University, Estados Unidos. Os primeiro testes com esse método iniciaram no final dos anos 70 quando houve uma procura das empresas de geração de energia em busca da renovação de suas licenças ambientais de operação. Desde então, o método tem sido aperfeiçoado e aplicado em centenas de estudos por agências federais e estaduais nos Estados Unidos.

Neste processo, as preferências dos parâmetros de velocidade, profundidade e substrato pelas espécies-chave são combinadas com dados hidrológicos e vazões específicas. Estes dados são depois incorporados em um índice de adequação, que é uma função da profundidade disponível, velocidade e substrato. Esta função de adequação resulta em um estudo com a área ponderada utilizável requerida pelas espécies ou WUA (Jowett, 1992).

O IFIM é uma ferramenta para direcionar o impacto da alteração dos ecossistemas de rios e seus regimes de fluxos (Bovee, 1982; Bovee et. al., 1998)

“O IFIM” baseia-se no princípio de que a distribuição dos organismos lóticos, em particular os peixes, é determinada, entre outros fatores, pelas características hidráulicas, estruturais e morfológicas dos cursos d’água. Cada organismo tende a selecionar no rio as condições que lhe são mais favoráveis, correspondendo a cada variável ambiental um grau de preferência que é proporcional à aptidão do valor da variável para a espécie (Índices de Aptidão de Habitat – IAH) (Pelissari, 2000).

A variável de decisão gerada pelo IFIM é a área de habitat disponível (SPU) para as espécies piscícolas, definida em função da vazão, na qual são estimadas as alterações na área

de habitat físico disponível em face das alterações no regime hidrológico do curso d'água. As principais variáveis de habitat físico utilizadas são a geomorfologia do leito, a profundidade e a velocidade do escoamento. Dentre as características geomorfológicas do leito, a composição granulométrica do material aluvionar (substrato) e a cobertura das margens e leito (vegetação submersa ou aérea), são as que mais se destacam (Bovee et Al., 1997).

Quando foi desenvolvido no fim da década de 70 e início de 80, o IFIM foi considerado um método avançado porque até então não havia um método incremental que avaliasse as exigências de habitats de organismos aquáticos. Dessa forma, o IFIM é considerado um método incremental que simula a qualidade e a quantidade de habitats cotejando com o regime de vazões.

A metodologia IFIM desenvolve-se em cinco fases: (a) identificação do problema, (b) planejamento do estudo, (c) implementação do estudo, (d) análise de alternativas, e (e) resolução do problema. (Stalnaker et al., 1995)

Diante da grande aplicação do método em todo o mundo é importante destacar as vantagens e desvantagens até agora identificados.

Desvantagens do método IFIM são em parte de natureza abrangente. Neste sentido em função do tempo e do montante de recursos despendidos para obtenção dos resultados e a gama de especialistas envolvidos, o método se torna de difícil aplicação podendo gerar resultados incertos devido ao grau de subjetividade a ele associado. Além disso, é importante para compreender as limitações dos modelos utilizados, a inclusão, a exclusão ou a simplificação de dados bem como outros problemas decorrentes das relações de modelos. Quantificar as incertezas é um elemento frequentemente ignorado pelo método.

Muitos estudos envolvendo a metodologia IFIM são criticados por não serem aplicados em sua totalidade. É comum a ênfase à fase 3 da metodologia em detrimento de outras etapas que são mais criticadas. Paradoxalmente a metodologia do IFIM também tem sido criticada por ser institucionalmente inflexível. Finalmente essa abordagem é principalmente um processo incremental adequado para comparação de cenários. O fato do modelo não dar uma única resposta também pode ser visto mais como uma desvantagem do que uma vantagem.

As vantagens do IFIM incluem uma metodologia abrangente considerando aspectos, técnicos e políticos e a orientação para problemas estruturantes. Sua natureza quantitativa

implícita é considerada uma vantagem integrando micro e macro habitats. Além disso, sua abordagem baseada em cenários é favorável para as negociações entre usuários de água, mas pode ser menos adequado no estabelecimento de regimes de escoamento para fins ecológicos.

Uma das ferramentas analíticas utilizadas no IFIM é o modelo de simulação PHABSIM, a forma abreviada para *Physical Habitat Simulation System*. Este modelo é utilizado na fase de implementação do estudo. Entretanto, muitas vezes PHABSIM tem sido a única parte da metodologia utilizada, e muitos autores usam PHABSIM e IFIM como sinônimos (Scott e Shirvell, 1987, apud Lanna e Benetti, 2000).

Todo o processo de análise dos dados e posterior obtenção de resultados na *IFIM* são geridos pelo *PHABSIM*, que faz a ligação entre as características hidráulicas do rio e a utilização do habitat físico por parte dos organismos aquáticos.

Os dados obtidos pelos modelos de simulação hidráulica e de simulação de habitat são cruzados entre si para determinar a **Superfície Ponderada Utilizável (SPU)** em função do caudal, que serve por sua vez para definir o regime de caudais ecológicos (Payne, 1998, apud Lopes, et.al.). A aptidão resulta da conjugação das variáveis ambientais, de duas variáveis hidráulicas, velocidade e profundidade do escoamento, e das duas variáveis geomorfológicas do leito, cobertura e substrato. (Lopes, et.al 2001)

Devido a insuficiência de dados de habitats e espécies dos ecossistemas aquáticos brasileiros, o PHAPBIM ainda tem pouca aplicação no Brasil. Uma aplicação do PHABSIM foi identificada para a bacia do rio Lima, na barragem Touveira em Portugal para determinação do caudal ecológico com vistas a obtenção da SPU para as espécies: trutta (*salmo trutta*) e duas espécies da família dos ciprinídeos, a boga e o escaló. As conclusões reforçam a teoria de que a metodologia incremental é a que melhor traduz as condições de habitat, permitindo integrar a componente biológica com a componente de habitat.

2.4. Métodos Holísticos

Esses métodos têm como pressuposto a manutenção do regime hidrológico natural do curso hídrico. O grau de manutenção do regime hidrológico é estabelecido a partir da análise de todos os interesses existentes, avaliando os aspectos econômicos, sociais e ambientais. (Farias Junior, 2006)

A metodologia holística (Arthington et al, 1992, apud Sarmiento, 2007) foi desenvolvida na Austrália para estudar a vazão ecológica levando em conta todo o ecossistema do rio, podendo incluir áreas associadas tais como pântanos, água subterrânea e estuários.

Um dos mais conhecidos nesta categoria é o Método de Construção de Blocos (BBM). King J.M. & Louw D. em 1998, empregou a metodologia Building Block Methodology (BBM) na África do Sul. Ele foi desenvolvido por pesquisadores locais do South African Department of Water Affairs and Forestry (DWF).

O desenvolvimento do BBM requer três fases: i) preparação para workshop, incluindo consulta às partes interessadas, estudos de escritório e de campo para a seleção do local, análise geomorfológica do trecho do rio, pesquisas sociais e de integridade do habitat do rio, estabelecimento de objetivos para a condição futura do rio, avaliação da importância ecológica e econômica do rio, análises hidráulica e hidrológica; ii) workshop multidisciplinar para construção da variação do regime de vazão através da identificação das características da vazão ecológica essencial em termos mensais e; iii) ligação da vazão ecológica necessária com a fase da engenharia de desenvolvimento do recurso hídrico, com modelagem do cenário e análise hidrológica.

A denominação “Building Blocks” refere-se aos componentes do regime de vazão que são específicos para o rio estudado. Os “blocos” de vazão usualmente pertencem às seguintes categorias: vazões de base em períodos de estiagem, vazões de base em períodos de chuvas, enchentes nas estações chuvosas, pulsos de curta duração (freshes) e vazões sub-superficiais na estação seca. Os mínimos volumes de água requeridos para cada “bloco” são determinados, definindo desta forma um regime de vazões mínimas para manter os ecossistemas aquáticos (Water Research Commission, 2000, apud Lanna e Benetti, 2000)

Cada vez mais novos métodos com abordagens holísticas tentam inserir em suas avaliações ecossistemas como um todo incluindo terras úmidas, águas subterrâneas e estuários, bem como todas as espécies sensíveis a baixas vazões (vertebrados, invertebrados, algas e plantas inferiores e de superfícies) e todos os aspectos do regime hidrológicos, enchentes, secas e qualidade de água. Um princípio fundamental é a manutenção da variabilidade natural das vazões. A análise funcional da abordagem acima deve estar intimamente ligada ao conceito holístico (Arthington, 1998, King et.al., 2003).

Para gerenciar a complexa avaliação do impacto do nível de vazões sobre o ecossistema, a abordagem holística tem necessariamente dado uma grande ênfase na opinião de especialistas em modelagem. Eles podem envolver a participação de usuários e envolver também questões científicas. Os métodos holísticos têm realmente a vantagem de cobrir aspectos hidrológicos, ecológicos e de todos os demais interessados no uso da água. No entanto, esses métodos são baseados em dados primários que são caros e demorados daí a necessidade deles dependerem sempre de especialistas.

2.5. Comentários sobre os métodos

Existem mais de 200 metodologias distribuídas em mais de 40 países para avaliar vários estágios e regimes de vazões remanescentes, mínimas, ecológicas ou ambientais. Nesse universo de métodos, a grande maioria se insere nas quatro classes apresentados nesta revisão: hidrológica, hidráulica, habitat e holística.

Os vários métodos disponíveis são aplicados para diferentes situações. O que se percebe é que muitos deles principalmente os hidrológicos e os hidráulicos têm maior aplicabilidade, ainda que se utilizem vazões fixas durante o ano. Esses métodos ainda têm como desafio a incorporação da variável ambiental em seus processos de modelagem e uma estimativa mais precisa dos requerimentos e necessidades de habitats.

No entanto, várias são as limitações para os estudos de caso. Como o requerimento efetivo de vazão ecológica em rios prescinde tempo suficiente, recursos financeiros e uma multiplicidade de especialistas na área, o presente estudo aponta uma abordagem que expressa com maior fidelidade o que se tem de dados disponíveis nesta região. Como as informações hidrológicas na maioria dos estados conta com uma série razoável, a tendência é optar por um método hidrológico que possa refletir o aspecto de regime de vazões associado ao mínimo de conhecimento das demandas das espécies de habitats aquáticos como é o caso da $Q_{7,10}$, Q_{90} e o Método de Tennant, os quais são adotados como referência para outorga e vazões remanescentes pela maioria dos estados no Brasil, em especial os dois primeiros métodos.

3. ARCABOUÇO LEGAL

Esta parte do estudo tem foco no arcabouço legal no qual se fundamenta a legislação relacionada a recursos hídricos com suporte para o tema desta dissertação, considerando, os cenários: Internacional, do Brasil e do Estado do Tocantins.

3.1. Cenário Internacional

Alguns países ou regiões administrativas, como França, principado de Astúrias na Espanha, Suíça e Estados Unidos da América, desenvolveram legislação específica que estabelecem um valor para a vazão ecológica a ser mantida no corpo hídrico em função das suas características, ou indicam os métodos utilizáveis para a sua determinação. Outros países, em suas legislações relativas aos recursos hídricos, enfatizam a importância de manter uma vazão mínima necessária para a manutenção sustentável do ecossistema aquático, como é o caso de Portugal, Reino Unido, Canadá e Espanha (Alves, 1993).

3.1.1. França

A França, através da Lei da Pesca e Gestão dos Recursos Piscícolas, de 1984, estabelece, no Artigo 140º, que a vazão mínima a ser mantida no curso de água não deverá ser inferior a 10% da sua vazão modular ou média, calculada a partir de uma série histórica mínima de cinco anos. Em cursos de água em que a vazão modular é superior a 80 m³/s, o Conselho de Estado pode, por decreto, definir um limite inferior para a vazão ecológica, que não poderá ser inferior a 20% da vazão modular ou média. Para os aproveitamentos hidráulicos existentes antes de 1984, a vazão ecológica a manter corresponde a 2,5% da vazão modular (PBH do rio Sado, 1999. apud por Farias Junior, 2006).

3.1.2. Espanha

Na Espanha a Lei das Águas (29/1985) estabelece no Art. 40º a necessidade de manter uma vazão mínima que garanta a preservação do meio natural, definido com base nos Planos Hidrológicos, carecendo de definições precisas, quer qualitativas quer quantitativas. A

Direção Geral de Obras Públicas define a vazão ecológica como 10% da vazão média anual. Alguns organismos ou regiões administrativas têm critérios próprios (PBH do rio Sado, 1999, citado por Farias Junior, 2006).

No principado de Astúrias, existe uma lei específica que define os critérios para o cálculo da vazão ecológica (Manteiga & Olmeda, 1992, apud Alves, 1993), conforme demonstra a Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Critérios para o cálculo da vazão ecológica no principado de Astúrias

Nível de Proteção	Vazão ecológica (Q_{ec})
I	O maior dos valores obtidos determinado segundo as seguintes expressões (m^3/s): 1) $Q_{ec} = 0.35 \times Q_{347}^{(*)}$ 2) $Q_{ec} = 15 \times Q_{347} \times (\ln Q_{347})^2$ 3) $Q_{ec} = 0.25 \times Q_{347} + 75$
II	Soma do maior valor determinado segundo as expressões acima com 2 L/s / km^2 da bacia hidrográfica.
III	Soma do maior valor determinado segundo as expressões acima com 4 L/s / km^2 da bacia hidrográfica.

* Q_{347} – Vazão igualada ou excedida 347 dias no ano.

Fonte: Manteiga & Olmeda, 1992, apud Alves, 1993

Alguns órgãos e regiões administrativas têm estabelecido critérios próprios, como a Confederação Hidrográfica do Ebro, que considera como vazão ecológica uma vazão igual a 10 % da vazão média anual (Palau, 1997, apud PBH do rio Sado, 1999, apud Farias Junior, 2006); a comunidade autônoma de Navarra que define uma vazão mínima igual ao Q_{330} para cursos de água salmónícolas ou 10% da vazão média anual para cursos de água ciprinícolas; a região de Castilha e Leão onde está definido que a vazão mínima deve ser igual ou superior a 20 % da vazão média anual [Anbiotek, 1996, apud PBH do rio Sado, 1999, apud Farias Junior, 2006]; ou ainda a Catalunha, onde existem critérios contrários estabelecidos por entidades distintas. A *Junta d'Aigues de la Generalitat de Catalunya* considera o maior entre

dois valores, 5 % da vazão média anual ou 50 L/s, mas o *Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca de la Generalitat de Catalunya* considera 10-25 % da vazão média anual ou a aplicação do método da vazão base (Palau 1997, *apud* PBH do rio Sado, 1999, *apud* Farias Junior, 2006).

3.1.3. Suíça

Na Suíça, com a criação da Lei de Proteção das Águas Suíças de 1992, os Artigos 31 e 32 definem a vazão ecológica para rios de regime permanente. O valor da vazão baseia-se na vazão, que, em média, é atingida ou excedida durante 347 dias no ano (Q_{347}). Essa vazão é calculada a partir de um registro histórico de no mínimo 10 anos, ver Tabela 3.2 (PBH do rio Sado, 1999, *apud* Farias Junior, 2006).

Tabela 3.2 - Vazão ecológica a manter nos rios de regime permanente segundo a Lei de Proteção das Águas da Suíça, 1992.

Vazão que em média é atingida ou ultrapassada durante 347 dias/ano, Q_{347}	Vazão ecológica
$Q_{347} \leq 0,06 \text{ m}^3/\text{s}$ (e por cada mais $0,01 \text{ m}^3/\text{s}$)	$0,05 \text{ m}^3/\text{s}$ ($0,008 \text{ m}^3/\text{s}$)
$Q_{347} = 0,16 \text{ m}^3/\text{s}$ (e por cada mais $0,01 \text{ m}^3/\text{s}$)	$0,13 \text{ m}^3/\text{s}$ ($0,0044 \text{ m}^3/\text{s}$)
$Q_{347} = 0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ (e por cada mais $0,01 \text{ m}^3/\text{s}$)	$0,28 \text{ m}^3/\text{s}$ ($0,031 \text{ m}^3/\text{s}$)
$Q_{347} = 2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ (e por cada mais $0,01 \text{ m}^3/\text{s}$)	$0,9 \text{ m}^3/\text{s}$ ($0,0213 \text{ m}^3/\text{s}$)
$Q_{347} = 10 \text{ m}^3/\text{s}$ (e por cada mais $0,01 \text{ m}^3/\text{s}$)	$2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ($0,15 \text{ m}^3/\text{s}$)
$Q_{347} \geq 60 \text{ m}^3/\text{s}$	$10 \text{ m}^3/\text{s}$

Fonte: PBH do rio Sado, 1999.

3.1.4. Inglaterra

Na Inglaterra, a Lei de Recursos Hídricos de 1963 já requeria que cada Superintendência Hídrica estabelecesse a “vazão mínima aceitável” para rios, considerando as necessidades dos organismos aquáticos (Lester, 1967 apud Lanna, 2000). Nesse país, os métodos mais utilizados são os da curva de permanência de vazões, fixando-se vazões mínimas com 95 % de permanência e, a vazão média anual mínima de 7 dias, que tem sido usada para fixar vazões mínimas representativas das condições de tempo seco em rios (Petts e Maddock, 1994, apud Lanna, 2000).

Existem três tipos padrões para a manutenção de vazão ecológica na Inglaterra (PBH do rio Sado, 1999, apud Farias Junior, 2006):

- i. Descarga de uma vazão constante ao longo do ano, com realização de descargas excepcionais para limpeza do curso de água e para favorecer as migrações de salmonídeos;
- ii. Descarga de uma vazão que varia sazonalmente, com um valor máximo no verão;
- iii. Manutenção de uma vazão mínima a uma distância definida a partir do local do aproveitamento hidráulico.

3.1.5. Portugal

A obrigatoriedade de manter uma vazão que permita a conservação e a manutenção dos ecossistemas aquáticos não está prevista na legislação portuguesa de forma explícita, estando incluída, implicitamente, no articulado da Lei de Bases do Ambiente (Lei nº 11/87 de 7 de Abril) e no Decreto-Lei nº 70/92, de 2 de Março (Alves, 1998; Bochechas, *et al.*, 1998). A atual legislação não define valores de vazão ecológica ou métodos para a sua determinação (Alves, 1993; PBH do rio Sado, 1999, apud Farias Junior, 2006).

No entanto, o Plano de Bacia Hidrográfica do Lima, realizado pelo Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território de Portugal, apresenta como critério importante subjacente à definição do Regime de Caudais Ambientais – RCA, para cada local, a consideração de que o regime modificado a ser introduzido deve ser semelhante ao natural. Por exemplo, os períodos de vazões máximas devem coincidir com os picos de cheia em

regime natural, mesmo que a intensidade e duração das cheias passem a ser inferiores (Portugal, 2002)

Segundo Alves (1998), os métodos utilizados em Portugal para o cálculo da vazão ecológica variam de acordo com o tamanho e tipo do empreendimento hídrico, sendo definido, geralmente, como um valor não inferior a 2,5 % da vazão modular ou média do curso de água, a manter ao longo de todo ano, sempre que a vazão instantânea que ocorre em regime natural o permita. Esse critério adotado não toma em consideração as características do regime hidrológico do curso de água e dos ecossistemas a ele associados.

3.1.6. Estados Unidos

Em 1986, 33% dos estados americanos possuíam legislação relativa à manutenção da vazão ecológica nos cursos hídricos. As entidades federais e estatais definem de um modo geral, os métodos a utilizar. Como pode ser visto na Tabela 3.3, os métodos mais utilizados são a metodologia incremental (IFIM), o método do perímetro molhado e o método de Tennant (Lamb & Doersken, 1987, apud Pelissari, 2000).

Tabela 3.3 - Metodologias para determinação da vazão ecológica nos Estados Unidos e a quantidade de estados que utilizam cada metodologia

Metodologias	Numero de Estados
Instream Flow Incremental Methodology (IFIM)	38
Tennant method	16
Wetted perimeter	6
Aquatic Base Flow	5
Q _{7,10}	5
Professional judgement	4
Single Cross-Section (R-2 CROSS)	3
USGS Toe-Width	2
Flow records/duration	2
Water quality	2
Cont...	

Cont...	
Arkansas	1
Habitat quality index	1
Oregon fish-flow	1
US Army Corps of Engineers	1
Hidraulic Modelling (HEC-2)	1

Fonte: Lamb & Doersken, 1987, *apud* Pelissari, 2000.

3.1.7. África do Sul

A Lei Nacional das Águas promulgada na África do Sul em 1998 determina que todos os corpos hídricos do País tenham uma Reserva, a qual é definida como a soma das necessidades básicas humanas e ecológicas. As necessidades básicas humanas são aquelas requeridas para bebida, preparação de alimentos e higiene pessoal. As necessidades de ecossistemas são aquelas requeridas para proteger a integridade dos ecossistemas aquáticos.

A África do Sul adota o método de construção de blocos para todos os projetos de aproveitamento de recursos hídricos. Para estudos preliminares, são utilizados os métodos hidrológicos, como Tennant e curvas de permanência [King & Louw, 1998, *apud* Benetti *et al.*, 2003].

3.1.8. Outros países

Na Austrália, os métodos holísticos baseados em *workshops* e opiniões de especialistas têm sido empregados [Arthigton *et al.*, *apud* King & Louw, 1999]. A Itália define uma vazão mínima entre 2 e 4 L.s⁻¹.km² e a Alemanha e a Irlanda definem percentagens da vazão média anual em função da região, época do ano e tipo do rio, que variam entre 30-50% para a Alemanha e 1-10% no caso da Irlanda. A Grécia e a Dinamarca não têm norma fixa (PBH do rio Sado, 1999, *apud* Farias Junior, 2006).

3.2. Arcabouço legal no Brasil

Um dos primeiros documentos legais no Brasil a citar a necessidade de se manter água corrente nos rios para manutenção das necessidades do ecossistema foi o Código de Águas (Decreto de 24.643, de 1934). Considerado por vários juristas como um marco do direito positivista brasileiro, o Código de Águas estabelece que todos os aproveitamentos de energia hidráulica deveriam satisfazer as exigências acauteladoras dos interesses gerais: a) da alimentação e das necessidades das populações ribeirinhas, b) da salubridade pública, d) da irrigação, e) da proteção contra as inundações, f) da conservação e livre circulação do peixe, g) do escoamento e rejeição das águas.

A partir da Constituição de 1988, a gestão dos recursos hídricos passou a ter dois domínios, da União e dos Estados. A Constituição, por meio do inciso XIX do artigo 21, estabeleceu que compete a União instituir o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e definir critérios de outorga de direito de seu uso.

Outro destaque da Constituição Federal de 1988 é que ela trouxe inúmeras inovações quanto ao aspecto da proteção ao meio ambiente. Foi a primeira Constituição brasileira a consagrar um capítulo exclusivo sobre o tema. No entanto, só com a Lei 6.938/81, que instituiu a Política Nacional de Meio Ambiente, é que se tem início a proteção ambiental como tal no Brasil.

Em 1997, foi criada a Política Nacional de Recursos Hídricos, por meio da Lei 9.433, que além de instituir o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, consagrou temas importantes como: a bacia hidrográfica como unidade territorial de gestão de recursos hídricos; em situação de escassez tem prioridade o abastecimento humano e dessedentação de animais; a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

A Lei 9.433/97 que trata da Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelece em seu Artigo 3º que constituem diretrizes gerais de ação para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos: i) a gestão sistemática dos recursos hídricos, sem dissociação dos aspectos de quantidade e qualidade; ii) a adequação da gestão de recursos hídricos às diversidades físicas, bióticas, demográficas, econômicas, sociais e culturais das diversas regiões do País.

Segundo Benetti et. al., 2003, grande parte das práticas adotadas para definição da vazão ecológica em diversos estados brasileiros enquadram-se na categoria dos métodos hidrológicos. Ao estabelecerem seus critérios de outorga de direitos de uso de água, os estados deixam antever, de forma indireta, suas concepções sobre vazão ecológica.

No âmbito Federal podemos citar o antigo Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE), como um dos primeiros órgãos do setor público a estabelecer regras para a manutenção da vazão ecológica. Especificamente a Norma nº 2 e 3, de 1984 – Norma para Aprovação de Projetos de Geração Hidrelétrica para Uso no Serviço Público e Exclusivo de Particulares, estipulam uma vazão residual no curso de água à jusante do barramento superior a 80% da vazão mínima média mensal, caracterizada com base na série histórica de vazões com extensão de, pelo menos, 10 anos (Mortari, 1977).

A definição de um critério de vazão ecológica também está ligada ao aspecto da garantia da sustentabilidade sanitária e da qualidade dos corpos hídricos. Sobre esse assunto o Art. 13 da Resolução CONAMA 237/2005 estabelece que os limites de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), para as Classes 2 e 3, poderão ser elevados, caso o estudo da capacidade de autodepuração do corpo receptor demonstre que os teores mínimos de OD, previstos, não serão desobedecidos em nenhum ponto do mesmo, nas condições críticas de vazão ($Q_{crit.} = Q_{7, 10}$, onde o $Q_{7, 10}$, é a medida das mínimas de 7 (sete) dias consecutivos em 10 (dez) anos de recorrência de cada seção do corpo receptor).

Outra relação importante do ponto de vista das intervenções e suas influências sobre a manutenção da vazão ecológica pode ser verificada na resolução CONAMA 005/88, ao enquadrar obras de saneamento passíveis de licenciamento ambiental. A norma estabelece em seu Artigo 3º que no caso de Sistemas de Abastecimento de Água, as obras de captação cuja vazão seja superior a 20% (vinte por cento) da vazão mínima da fonte de abastecimento no ponto de captação e que modifiquem as condições físicas e/ou bióticas dos corpos d'água, estão sujeitas ao licenciamento ambiental.

O Ministério do Meio Ambiente (MMA) na Instrução Normativa nº 004, de 21 de junho de 2000, Anexo I, Art. 2º, a qual aprova os procedimentos administrativos para a emissão de outorga de direito de uso de recursos hídricos, em corpos de água de domínio da União, define o conceito de vazão ecológica como sendo a vazão mínima necessária para

garantir a preservação do equilíbrio natural e a sustentabilidade dos ecossistemas aquáticos. (Sarmiento, 2007)

A Agência Nacional de Águas – ANA em sua Resolução nº 131/03 que trata da reserva de disponibilidade hídrica para Aproveitamentos Hidrelétricos, estabelece que a previsão de vazões mínimas deve constar no estudo hidrológico dos respectivos aproveitamentos hidrelétricos. A referida norma descreve que a vazão remanescente, quando couber, deverá ser apresentada na descrição das características do empreendimento.

A Resolução nº 357/05 do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA define o conceito de vazão de referência da seguinte forma: Vazão de referência: vazão do corpo hídrico utilizada como base para o processo de gestão, tendo em vista o uso múltiplo das águas e a necessária articulação das instâncias do Sistema Nacional de Meio Ambiente - SISNAMA e do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos - SINGREH;

A Deliberação do Comitê da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco - CBHSF nº 08/04 define a disponibilidade hídrica, vazão máxima de consumo potável, as vazões remanescentes médias e mínimas ecológica na foz, como parte integrante do Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, e especifica em seu Art. 4º a adoção, provisoriamente, da vazão média diária de 1.300 m³/s, como vazão mínima ecológica na foz, até que se proceda à revisão ou confirmação deste valor na próxima edição do Plano.

Quanto se parte para o quadro de legislação dos estados percebe-se que há duas tendências predominantes de referência para outorga: as baseadas em curvas de permanências, muito utilizadas no norte e nordeste brasileiro, e as baseadas numa percentagem da Q_{7,10}, utilizadas no sul e sudeste brasileiro. A Tabela 3.4 mostra os critérios para o cálculo do percentual de vazões outorgáveis, agregando de forma indireta os valores a serem mantidos nos cursos d'água.

Do ponto de vista da legislação nacional e dos estados a definição da vazão ecológica ainda é tratada indiscriminadamente. O texto da Lei 9433/97 que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos não faz qualquer referência a vazão ecológica, deixando o caminho aberto para ampliar as discussões entre os sistemas de meio ambiente e recursos hídricos, inclusive sobre de quem é a responsabilidade de garantir e manter a vazão ecológica.

Ainda segundo o texto da Lei 9433/97 em seu Art. 3º, Inciso II, que determina como diretrizes gerais de ação para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH,

“a adequação da gestão de recursos hídricos às diversidades físicas, bióticas, demográficas...”, deixando clara a necessidade de uma gestão compartilhada com a área ambiental, mas não aponta que instrumento é o mais apropriado para discutir a questão da vazão ecológica.

Não é clara a hipótese de que é competência dos integrantes do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos a definição de vazões ecológicas, principalmente considerando a interpretação da Lei n.º 9.433/97 (ANA, 2004).

Nos estados, a preocupação evidente das legislações é garantir a parcela máxima de água passível de ser outorgável. Essa garantia é fruto da manipulação matemática de dados hidrológicos e ferramentas estatísticas que projetam valores de vazões a serem retiradas e a serem mantidas nos rios sem qualquer base ecológica.

Em linhas gerais, as autoridades outorgantes adotam como base para seus critérios de outorga uma Vazão de Referência qualquer, mas que represente uma situação de elevada garantia hídrica. Normalmente, as vazões de referência mais adotadas são a Q₉₀, a Q₉₅ e a Q_{7,10} (ANA, 2004).

A Tabela 3.4 mostra a predominância nos Estados, do critério que tem como base a duração com permanência de 90 a 95% do tempo. Com base nisso são estabelecidas as vazões outorgáveis ou “vazões de uso” enquanto a parcela restante “vazões de não-uso” deveria permanecer nos rios com a finalidade de manter a integridade ecológica dos ecossistemas aquáticos.

Pois é esse atualmente um dos maiores desafios dos integrantes do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, aí incluído os entes dos poderes públicos federais e estaduais. Primeiro que em todos os estados a “vazão de não-uso” ou vazão ecológica é carimbada como um valor fixo anualmente. Sabe-se que as vazões nos rios variam naturalmente no decorrer do ano e seguem um regime muito ou pouco acentuado, variando de acordo com a hidrologia da bacia e seu grau de uso.

O segundo ponto é que a adoção de um valor fixo tende a gerar um saldo hídrico significativo em grande parte do ano onde a oferta de água é maior, e comprometer a integridade ecológica em períodos de estiagem.

E um terceiro aspecto estaria relacionado à titularidade ou competência para operacionalizar a vazão ecológica. Como a Lei 9433/97 não definiu essa competência e os Estados também seguiram essa lógica, há que se buscar soluções para esse impasse. Essa

discussão surgiu no âmbito do Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH e teve pouca repercussão no âmbito do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. Alguns especialistas, principalmente aqueles ligados a lista de discussão eletrônica mantida pela Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, afirmam que em primeira instância, essa competência seria do órgão outorgante, pois aquele que tem o poder de outorgar tem o poder para não outorgar, entendendo não-outorgar como a vazão a ser mantido no corpo d'água.

Há outras tendências que afirmam que a vazão ecológica deve ser alvo de estudo nos respectivos Estudos de Impacto Ambiental-EIA de empreendimentos que tem como base a retirada de água como insumo.

Tabela 3.4 - Critérios e vazões de referências para outorga nas cinco regiões do país.

Região	Estado	Vazão de referência	Valores máximos outorgáveis	Norma
Norte	AP	não há	não há	não há
	AC	não há	não há	não há
	RO	não há	não há	não há
	RR	não há	não há	não há
	AM	não há	não há	não há
	PA	não há	não há	não há
	TO	Q_{90}	$0,75 \times Q_{90}$ (fio de água) $0,9 \times Q_{90}$ (captação em reservatórios) $0,95 \times Q_{90}$ (para rios intermitentes) $0,25 \times Q_{90}$ (por usuário)	Decreto nº 2.432/05 (NATURATINS)
Nordeste	SE	Q_{90}	$0,3 \times Q_{90}$	Resolução 01/01 CONERH
	AL	Q_{90}	$0,9 \times Q_{90}$	Decreto 006/01
	BA	Q_{90} a nível	$0,8 \times QR_{90}$ (lagos naturais ou barramentos implantados em mananciais perenes) ¹	Decreto 6.296/97

		diário, QR ₉₀	0,95 x QR ₉₀ (lagos naturais ou barramentos implantados em mananciais intermitentes)	
			0,20 x Q ₉₀ (por usuário)	
	CE	Q ₉₀	0,9 x Q ₉₀	Decreto 23.067/94
	MA	não há	não há	não há
	PB	Q ₉₀	0,9 x Q ₉₀	Decreto 19.260/97
	PE	não há	não há	não há
	PI	não há	não há	não há
	RN	Q ₉₀	0,9 x Q ₉₀	Decreto 13.283/97
Centro- Oeste	DF	Q _{7,10} , QR ₉₀	0,8 x QR ₉₀ (lagos naturais ou barramentos implantados em mananciais perenes)	Decreto 22.359/01
	GO	Q ₉₅	0,7 x Q ₉₅	Resolução n° 9 agosto/2001
	MT	não há	não há	não há
	MS	não há	não há	não há
Sudeste	RJ	Q _{7,10}	0,5 x Q _{7,10}	Portaria SERLA 307/02
	ES	não há	não há	não há
	SP	Q _{7,10}	0,5 x Q _{7,10} ²	Lei 9.034/94
	MG	Q _{7,10}	0,3 x Q _{7,10} ³	Portarias do IGAM 010/98 e 007/99
Sul	PR	Q _{7,10}	0,5 x Q _{7,10}	Decreto 2.791/96
	RS	não há	não há	não há
	SC	não há	não há ⁴	não há

Legenda: Qr₉₀ – Indica a vazão regularizada por um reservatório com permanência de 90% do tempo.

¹ Nos casos de abastecimento humano, os limites poderão atingir até 95%.

² Quando o valor total outorgado for superior a 50% da $Q_{7,10}$, a bacia será considerada crítica e haverá gerenciamento especial.

³ Poderá ocorrer concessão maior em situações de interesse público.

⁴ No dia 24 de novembro de 2006 foi concedida a 1ª outorga no estado de Santa Catarina, porém não foram criados critérios em âmbito estadual, mas sim para uma bacia hidrográfica específica.

Fonte: Atualizado, Barbosa *et al.* (2005).

A partir da Tabela 3.4, grande parte dos estados brasileiros adota critérios hidrológicos na fixação da vazão de referência para análise da disponibilidade hídrica com finalidade de pleitos de outorga. Esta alternativa traz desafios a serem enfrentados pelos órgãos outorgantes estaduais, mas que só se fizeram presentes, na medida em que os instrumentos de gestão foram sendo implantados nas bacias hidrográficas. (Mendes, 2007).

Em âmbito nacional, encontra-se em discussão no Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH, na Câmara Técnica de Integração de Procedimentos, Ações de Outorga e Ações Reguladoras – CTPOAR uma minuta de resolução que visa estabelecer diretrizes gerais para a definição de vazões mínimas remanescentes em um ponto de controle selecionado ao longo de um trecho de rio.

A partir dessa minuta a vazão ecológica seria parte da *vazão mínima remanescente*, termo usado para definir um conceito que seria mais abrangente ou eminentemente mais universal. Neste caso conceitua que a vazão mínima remanescente é a menor vazão a ser mantida no curso d'água para jusante de uma seção de controle que inclui vazão ecológica, e usos de recursos hídricos que devem ser preservados ou mantidos a jusante da intervenção no corpo de água.

A proposta da minuta ainda é confusa, pois estabelece um valor de vazão mínima remanescente, inclui a vazão ecológica nesse valor, sem, no entanto conceituá-la. Na proposta ainda permanece o dilema de ausência de competência, relacionando aspectos da vazão mínima aos procedimentos de licenciamento ambiental o que poderia causar conflito com outro conselho como é o caso do CONAMA. No entanto, cita de forma coerente que o plano de bacias hidrográficas e os comitês de bacias poderão ser fundamentais para ajustar e sugerir os valores de vazões mínimas ideais.

3.3. Legislação no Estado do Tocantins

No Estado do Tocantins o Decreto 2.432/05 regulamentou os artigos 8º, 9º e Artigo 10 da Lei 1307/02 que institui a Política Estadual de Recursos Hídricos. É o marco regulatório do uso da água e o mecanismo que estabelece indiretamente as vazões mínimas remanescentes após qualquer intervenção ou retirada, aqui definida como vazão ecológica. O decreto define que os usos sujeitos a outorga são:

- o armazenamento, a derivação ou captação de água para consumo final, inclusive abastecimento público, ou insumo de processo produtivo;
- a extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final, inclusive abastecimento público, ou insumo de processo produtivo;
- o lançamento em corpo de água, com o fim de diluição, transporte ou disposição final, de esgotamentos sanitários e demais resíduos, tratados ou não;
- as intervenções de macrodrenagem urbana para retificação, canalização, barramento e obras similares que visem ao controle de cheias ou inundações;
- outros usos, ações e execuções de obras e serviços necessários à implementação de qualquer intervenção ou empreendimento, que demandem a utilização de recursos hídricos, ou que impliquem em alteração, mesmo que temporária, do regime, da quantidade ou da qualidade da água, superficial ou subterrânea, ou, ainda, que modifiquem o leito e margens dos corpos de água

Do ponto de vista dos critérios de outorga o regulamento traz o seguinte argumento:

“Quando houver barramento, a vazão de referência para outorga será calculada com base nas informações hidrológicas da bacia hidrográfica, para uma vazão de até 90% de permanência. No caso de haver barramento a vazão de referência será calculada por meio de balanço hídrico do reservatório, com uma garantia de 90% de atendimento das demandas definidas mensalmente”.

Estas referências podem ser alteradas a partir das proposições do plano da bacia quando houver.

Outro parâmetro importante do decreto:

“Os somatórios das vazões a serem outorgadas devem seguir os seguintes limites para captação: a) a fio d’água, até 75% da vazão de referência do manancial; b) em reservatório de barragem de regularização, até 90% da vazão de referência do manancial.”

Ainda no campo das referências de valores, três pontos do decreto são destacados em função da forte relação com o objetivo que se pretende alcançar neste trabalho: a) Nos casos de mananciais intermitentes, os limites podem chegar até 95% dos valores de referência, definidos para cada mês em que haja escoamento nos rios; b) Havendo barramento, a vazão de descarga mínima a ser mantida escoando para jusante, por descarga de fundo ou por qualquer outro dispositivo que não inclua bombas de recalque, será de 25% da vazão de referência para captação a fio d’água; c) Nenhum usuário, individualmente, recebe autorização acima de 25% da vazão de referência de um manancial, quando a captação for a fio d’água.

É importante reforçar que o decreto que regulamenta a outorga no estado não trata diretamente de vazão ecológica ou qualquer referência estatística a ser seguida para se garantir uma parcela de água para as necessidades da fauna e do ecossistema aquático. Todavia, estabelece regras apenas para outorga e limites individuais de retirada de água. Dessa forma, pressupõe-se que o legislador, inconscientemente, destinou a parcela não outorgável ao atendimento de outros usos onde estaria incluída a parcela de água a ser mantida nos rios para satisfazer demandas ecológicas.

Recentemente o Instituto Natureza do Tocantins - Naturatins, autarquia estadual responsável pela emissão da outorga de direito de uso de recursos hídricos, editou a Portaria Naturatins nº 904, de 07/08/08, que:

“Estabelece os procedimentos técnicos e administrativos para emissão da declaração de reserva de disponibilidade hídrica e de outorga para uso de potencial de energia hidráulica para aproveitamentos hidrelétricos em rios de domínio do estado do Tocantins e dá outras providências”.

O art. 4º da referida Portaria impõe uma série de exigências à Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL antes da análise do pedido de reserva de disponibilidade hídrica para rios de domínio do Estado, haja vista que esta agência é responsável por encaminhar os pedidos de Reserva de Disponibilidade Hídrica – RDH para aproveitamentos em rios de domínio dos Estados. Entre as exigências estão as vazões mínimas com cálculo da Q_{90} , vazão de referencia e vazão remanescente a jusante.

Já o inciso III do Art 5º com gradativa rigorosidade, determina que na emissão da RDH, o Naturatins utilizará como um dos critérios de análise o atendimento pelo projeto, do critério de vazão remanescente de 25% da vazão de referência Q_{90} , a qual deverá permanecer, sob quaisquer circunstâncias, no trecho do corpo hídrico situado entre a barragem e o lançamento no final do canal de fuga e ou vazão.

No caso do Estado do Tocantins, a legislação que trata da questão do licenciamento ambiental não aponta nenhuma diretriz nesse sentido. Já o Decreto 2432/05, que regulamenta outorga do direito de uso de recursos hídricos de que dispõe os artigos 8º, 9º e 10 da Lei 1.307, de 22/03/2002, em seu artigo Art. 8º estabelece que:

“Em casos especiais, não havendo o respectivo Plano de Bacia aprovado, poderão ser fixados valores diferentes de vazões de referência para outorga, mediante Portaria do Naturatins, desde que solicitado pelo Comitê de Bacia e aprovado pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos”.

ambos integrantes do Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

Essa é uma interpretação que carece de consensos. E não se pretende aqui esgotar as possibilidades de uma discussão ampla envolvida de responsabilidades múltiplas, e a sociedade tem papel estratégico, participando seja por meio de fóruns participativos ou cobrando dos decisores soluções mais sustentáveis possíveis para o problema.

4. ÁREA DE ESTUDO E METODOLOGIA

O presente trabalho visa identificar as limitações do critério de vazão ecológica no Estado do Tocantins a partir de um caso de estudo na bacia do rio Palmeiras, a qual reúne condições adequadas para o escopo deste trabalho, além de, atualmente, ser a bacia que apresenta maior vocação para geração de energia no estado, pelo seu formato favorável à formação de quedas naturais associadas a vazões razoavelmente altas.

O rio Palmeiras é o principal afluente da margem esquerda do rio Palma, que contribui para o rio Paranã que por sua vez é um dos principais afluentes da margem direita do rio Tocantins. Localizado na região sudeste do Estado do Tocantins entre as coordenadas 11°30'S e 12° 30'S e 46°00'W e 47°00'W. Sua bacia drena uma área de aproximadamente de 4.242 km², com caudal mínimo médio na foz, em torno de 15 m³/s.

Na bacia estão localizados os municípios de Dianópolis, Novo Jardim e Ponte Alta do Bom Jesus, com mais de 26 mil habitantes no total. Dianópolis é a principal cidade da região a cerca de 360 km da capital Palmas, sendo pólo irradiador e provedor de serviços fundamentais como educação, infraestrutura de comércio, comunicação, serviços de saúde, hotelaria, abrigando inclusive uma sede descentralizada do Naturatins.

Segundo o Plano da Bacia Hidrográfica da Bacia do Rio Palma (PBH Palma, 2009), os usos atualmente predominantes na bacia do rio Palmeiras com intervenções diretas sobre o rio principal são destinados ao aproveitamento energético. São sete aproveitamentos sob forma de Pequenas Centrais Hidrelétricas, sendo que desse total, quatro estão em fase de operação, e três em fase de construção, conforme mostra a Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Situação dos aproveitamentos hidrelétricos na bacia do rio Palmeiras.

Nome	Pot. (MW)	Fase	Concessionária	Município	Lat S	Long W
Agrotrafo/ Palmeiras	14,04	Operação	Enel Brasil Part. Ltda	Dianópolis	11° 44'	46° 43`
Cont...						

Cont...						
Água Limpa	14,00	Construção	Água Limpa Energética	Dianópolis e Novo Jardim	11° 41'32``	46° 42'18``
Areia	11,40	Construção	Areia Energética	Dianópolis e Novo Jardim	11° 41'55``	46° 44'10``
Porto Franco	30,00	Construção	Porto Franco Energética	Dianópolis e Novo Jardim	11° 46'59``	46° 46'59``
Boa Sorte	16,00	Operação	Boa Sorte Energética	Dianópolis e Novo Jardim	11° 53'26,81``	46° 44'10,48``
Riacho Preto	9,30	Operação	Riacho Preto Energética	Dianópolis e Novo Jardim	11° 57'57``	46° 44'52``
Lagoa Grande	25,60	Operação	Lagoa Grande Energética	Dianópolis e Novo Jardim	12° 09'9,03``	46° 49'3,58``

A Fig 4.1 mostra em formato de um diagrama unifilar a situação das PCHs na bacia e dá uma dimensão do seu potencial para a geração de energia

Figura 4.1 – Diagrama unifilar dos aproveitamentos identificados no rio Palmeiras

DIAGRAMA UNIFILAR - PCHs - RIO PALMEIRAS

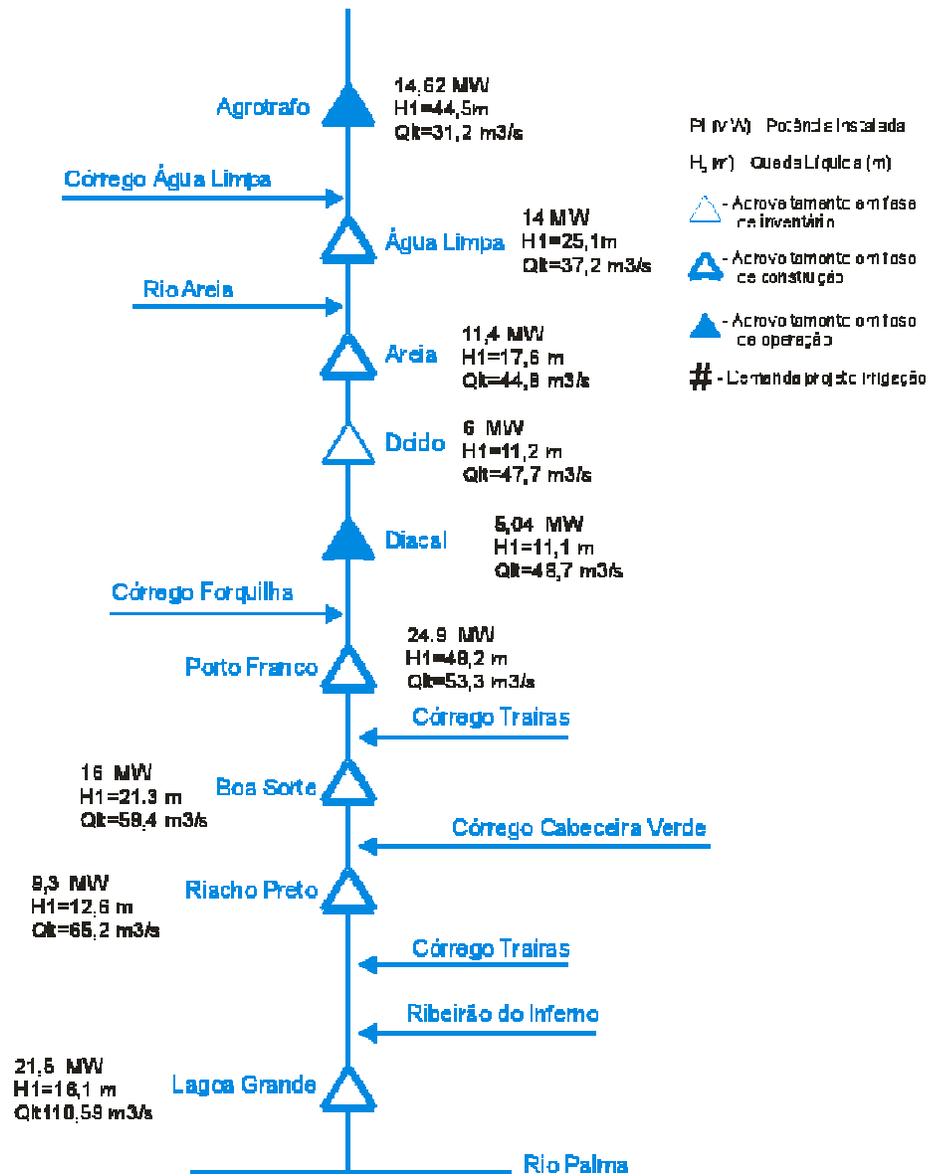
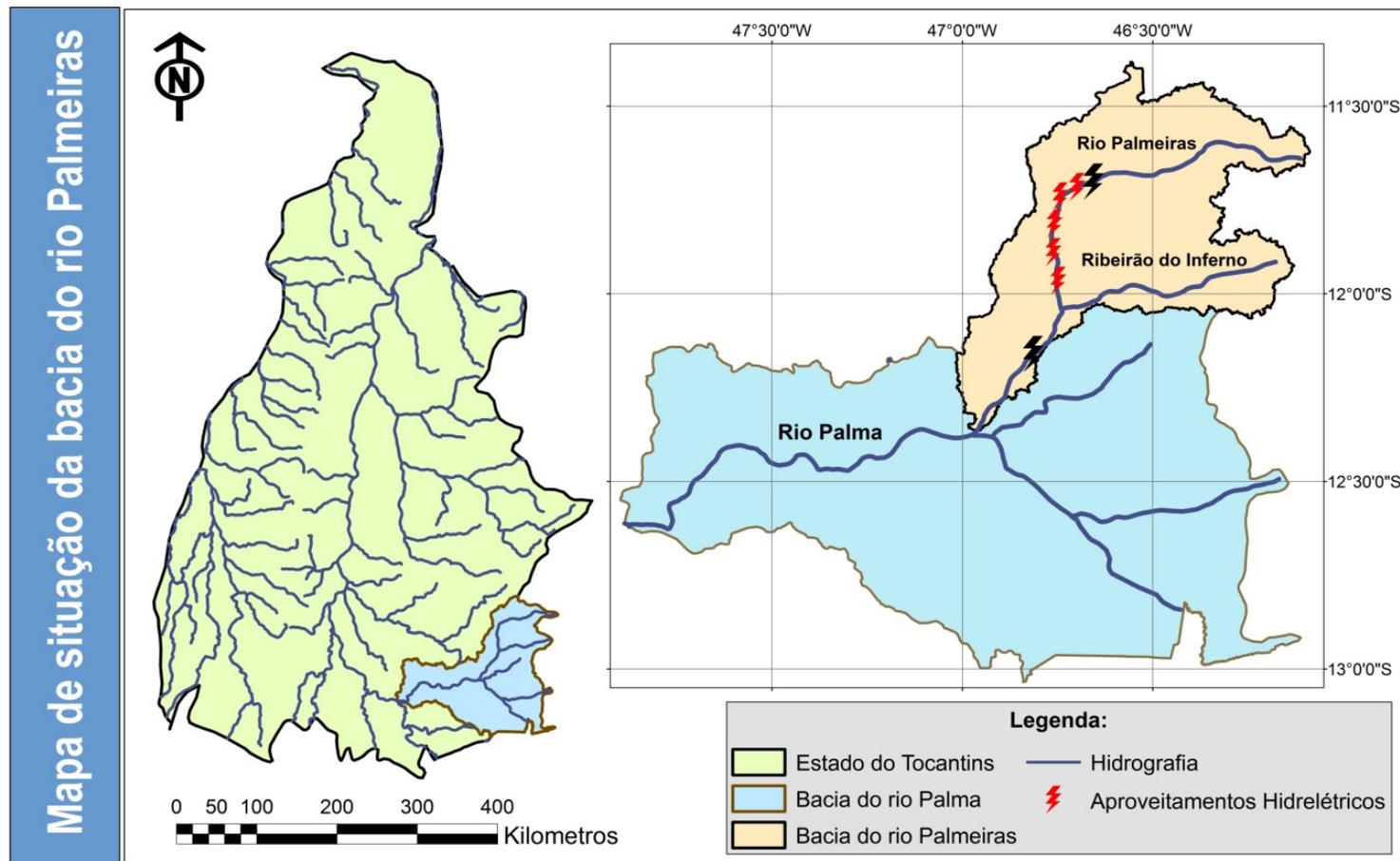


Fig. 4.2 - Inserção da área de estudo na bacia hidrográfica do rio Palmeiras.



4.1. Características físicas principais da bacia

O relevo na bacia compreende dois domínios morfoestruturais, conhecidos como depressões pediplanadas, que são definidas por ocupar vãos ou espaços periféricos drenados por tributários, geralmente intermitentes; e os planaltos com estruturas sedimentares concordantes que apresentam topos planos situados entre 400 e 900 metros de altitude.

Os tipos de solos mais comum na área em estudo são os Latossolos Álicos vermelho-escuro e vermelho-amarelo, principalmente os latossolos álicos vermelho-amarelo que se distribui amplamente na porção oriental e em grande mancha na margem direita do médio-baixo rio Palmeiras.

Uma pequena mancha de solo orgânico pode ser descrita nas margens do alto rio Palmeiras, no domínio das ocorrências da formação Urucuia, e nas várzeas e veredas do chapadão central. Compreende solos hidromórficos essencialmente orgânicos, constituídos por resíduos vegetais fibrosos, e estando sob condições de encharcamento que acarretam uma lenta decomposição da matéria orgânica.

A bacia apresenta elevada complexidade geológica com destaque para a nítida discordância erosiva com a formação Paraobeba que se encontra na porção oriental, na parte alta do curso do rio Palmeiras, depósitos sedimentares cretáceos das formações Urucuia e Areado, responsáveis pela alta produtividade hidrogeológica na bacia que garante as vazões da base no período de estiagem.

A vegetação é composta basicamente pelo Cerrado com fisionomia Arbórea Aberta e Parque. Na margem do rio ocorre mata ciliar intensa e bem preservada. Fisionomicamente é uma vegetação pobre em nutrientes e adaptadas a climas semi-árido, Na floresta de galeria que margeia os cursos d'água na bacia ocorrem espécies de pindaíba, ipê-amarelo, itaíba, jatobá, quaruba e jacareúba. Dentre as Palmeiras cita-se o buriti, guariroba, macaúba, babaçu e a piaçava. As frutíferas mais comuns são: puçá, pitomba, bacuparí, bacaba, oiti, cajuí, pequi e murici, algumas delas como a bacaba, fundamentais para a alimentação da fauna aquática.

4.1.1. Hidrogeologia

Cerca de 50% da bacia do rio Palmeiras, notadamente a parte alta de seu percurso, é constituída por rochas sedimentares por uma cobertura detritica granular. Essas rochas sedimentares são em grande parte formadas por arenitos de elevada porosidade, os quais constituem aquíferos de elevada capacidade de armazenamento e exercem um controle importante sobre o regime de vazão na bacia. (Ver Figura 4.3).

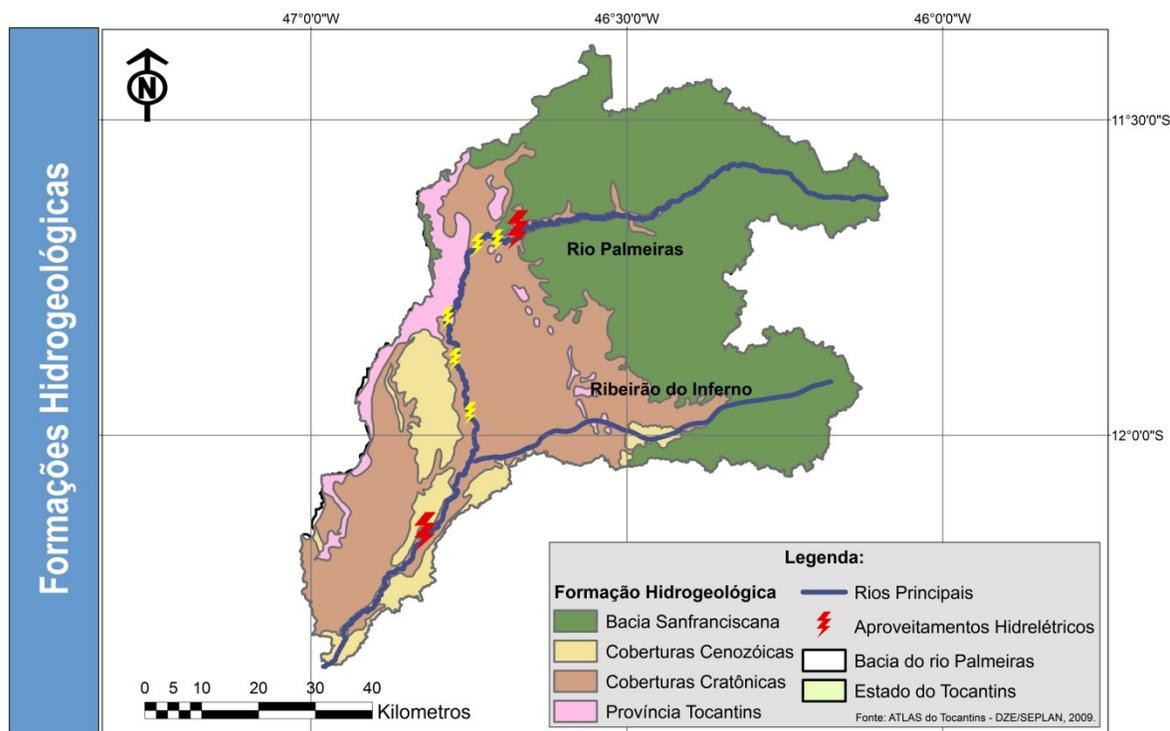


Fig 4.3 – Mapa Hidrogeológico da bacia do rio Palmeiras

Do ponto de vista hidrogeológico, os arenitos constituem um aquífero de exudação permanente, ou seja, tem alta porosidade contribuindo para a constante alimentação dos aquíferos. No período de estiagens, a superfície freática sofre um rebaixamento, quando então a água passa a ser restituída à superfície, contribuindo para a perenização dos rios e córregos na bacia, que neste caso especialmente, em função da elevada porosidade do aquífero exerce um processo natural de regularização, reduzindo os picos na época de chuva e mantendo as vazões em período de estiagem.

Tendo em vista a estreita relação entre a dinâmica de superfície e o meio subterrâneo representado principalmente pela formação Urucuia que abrange grande parte da bacia e avança para o oeste da Bahia, há uma preocupação eminente com as retiradas de água por meio de poços tubulares, cuja finalidade é a irrigação de extensas áreas de cultivo de soja nos municípios de Luis Eduardo Magalhães e Barreiras, ambas localizadas no extremo oeste baiano, conforme pode ser demonstrado nas Figuras 4.4 e 4.5 a partir de levantamento aéreo feito na região.



Figura 4.4 – Plantio de soja irrigada por pivô central no município de Luis Eduardo Magalhães – BA – Vista 1



Figura 4.5 – Plantio de soja irrigada por pivô central no município de Luis Eduardo Magalhães – BA – Vista 2

Fotos: Rubens Pereira Brito

A partir do estudo denominado “*Uso conjunto das águas superficiais e subterrâneas da sub-bacia do rio das fêmeas*” (SRH-BA, 2003), o mapa de nível potenciométrico define o divisor de águas subterrâneas a cerca de 30 km antes do limite topográfico (divisor superficial), mais ou menos onde a rede de drenagem do rio se forma. Então, parte da precipitação e do escoamento subterrâneo da região da cabeceira deve seguir em direção ao Estado do Tocantins contribuindo para a manutenção das vazões de base na bacia do rio Palmeiras. Espera-se um divisor de água variável em termos de

elevação do nível do aquífero, alterando a superfície de contribuição ao escoamento dos rios.

A partir de 1988, iniciaram-se os processos de outorga de uso de água na sub-bacia do rio das Fêmeas, na região oeste do estado da Bahia. Atualmente, alguns mananciais da região já atingiram o limite legal máximo outorgável, não havendo mais disponibilidade para liberação de uso pela Superintendência de Recursos Hídricos do Estado da Bahia – SRH-BA. A partir desse quadro, alguns produtores rurais vêm utilizando o manancial de águas subterrâneas por meio de perfuração de poços profundos com grandes vazões (da ordem de 500m³/h), para irrigação por pivôs centrais. (SRH-BA, 2003).

O fato merece atenção especial, notadamente quando se considerada o gradiente de interferência dessas retiradas nas respostas dos escoamentos de base dos rios e córregos no lado do Estado do Tocantins, cujas nascentes se localizam nas escarpas da Serra Geral.

4.1.2. Clima

De acordo com o Plano da Bacia do rio Palma, a região da bacia do Palmeiras está sob o domínio de **dois tipos climáticos regionais**:

- C2wA'a' – **clima úmido subúmido** com moderada deficiência hídrica no inverno, evapotranspiração potencial média anual de 1.500 mm. Esse tipo é predominante na bacia, localizado principalmente na porção média e baixa;
- C1dA'a' – **clima subúmido seco** com moderada deficiência hídrica no inverno, evapotranspiração potencial média anual de 1.300 mm. Esse tipo é localizado principalmente nas nascentes dos cursos d'água e parte mais elevada da bacia.

4.1.3. Precipitação

A precipitação média mensal na bacia foi calculada a partir dos dados de três postos pluviométricos localizados nas proximidades da bacia. São postos com séries de mais de 20

anos de dados, e demonstram claramente dois períodos bem distintos que caracterizam a distribuição de chuva nesta região. O primeiro que vai de maio a setembro com baixa precipitação, concentrando apenas cerca 3,7% do total anual precipitado e o segundo período vai de outubro a abril com uma média de precipitação alta, concentrando mais de 96% de toda precipitação que cai sobre a bacia, conforme pode ser visto na Figura 4.6.

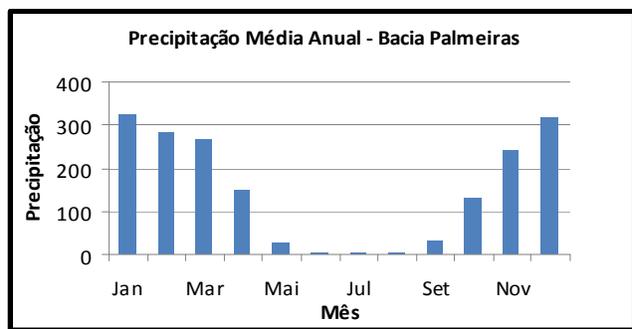


Figura 4.6 – Precipitação média anual – Bacia rio Palmeiras

4.1.4. Fauna aquática

O Estudo de Impacto Ambiental – EIA (2000), da PCH Água Limpa, identificou as espécies de peixes mais frequentes na bacia do rio Palmeiras. As etapas de coleta foram distribuídas regularmente ao longo de um ano (1998-1999), em seis etapas distintas, visando os locais de estudos previamente selecionados.

Há poucos estudos demonstrando hábitos migratórios, fisionomia e demais especificidades das espécies de peixes. O que existe é um perfil expedito de hábitos de algumas das espécies mais comuns na bacia, das quais destaca-se algumas na Tabela 4.5 para, a partir daí se projetar algum método ou solução para comparar o que a bacia dispõe de água atualmente, quais as demandas atuais e futuras e as consequências de um possível conflito, caso os hábitos das espécies apresentadas, sejam ameaçados, em função da diminuição da quantidade e qualidade de água.

Tabela 4.2 – Espécies de peixes mais encontradas e seus hábitos.

Espécie	Nome científico	Hábito
Jaú	Paulicea luitkeni 	é um peixe de couro de grande porte, podendo alcançar mais de 1,5 m de comprimento total e 100 kg. O corpo é grosso e curto; a cabeça grande e achatada. A coloração varia do pardo esverdeado claro a escuro no dorso. É uma espécie piscívora. Vive no canal do rio, principalmente nos poços das cachoeiras. Esta espécie é capturada nos poços logo abaixo das corredeiras, principalmente à noite. Tem hábito de migrar para se reproduzir.
Pacu	Myleus torquatus 	é um peixe de escamas com o corpo alto e bastante comprimido variando de 15 a 30 cm, a forma é arredondada ou ovalada; a cabeça e a boca são pequenas. É uma espécie herbívora que se alimenta de material vegetal e algas, com tendência a frugívoras. Algumas espécies podem ser encontradas em rios, lagos e na floresta inundada, outras em rápidos e corredeiras. São importantes na pesca de subsistência. Tem hábito de migração apenas na época da piracema para se reproduzir.
Piau	Leporinus piau 	é um peixe de escamas com o corpo alongado e fusiforme; boca pequena e dentes incisivos, podendo atingir cerca de 30 cm. É uma espécie onívora, com tendência a carnívoras, consumindo principalmente invertebrados (insetos). São encontradas nas margens de rios, em locais com fundo arenoso e com pedras. São importantes para a pesca de subsistência e para o comércio local, mercados e feiras. Seu hábito migratório se limita ao período de reprodução.

Fonte: LG Engenharia, 1999.

4.1.5. Aspectos sócio-econômicos

Os municípios com área dentro da bacia são: Dianópolis, Novo Jardim e Ponte Alta do Bom Jesus, os quais representam uma população de cerca de 25.500 habitantes. Tem sua economia sustentada pela agricultura e pecuária de subsistência na zona rural, comércio e serviços nas áreas urbanas e mais recentemente atividades de mineração e a construção de

Pequenas Centrais Hidrelétricas tem alterado positivamente o cenário de geração de emprego e renda, mesmo que em caráter temporário.

4.2. Descrição da metodologia

Para se alcançar o objetivo proposto nesta dissertação a metodologia foi dividida em três etapas: a) Levantamento das características das PCHs Agrotrafo e Palmeiras, b) Levantamento da caracterização dos limites de uso e manutenção da água na bacia, c) Informações hidrológicas utilizadas. Dessa forma para avaliar as limitações do critério de vazão ecológica adotado pelo estado foi avaliada a demanda de água atual dessas PCHs e posteriormente cotejado com os limites estabelecidos pelo Decreto 2432/05 que regulamenta a outorga de direito de uso de recursos hídricos no Estado. Neste caso para avaliar a efetividade do que estabelece o decreto foi necessário obter informações hidrológicas sobre o rio Palmeiras.

4.2.1. Características dos aproveitamentos PCHs Agrotrafo e Palmeiras

As PCHs Agrotrafo/Palmeiras geram 14,04 MW em conjunto com derivação no mesmo ponto. No sentido da nascente para a foz são os dois primeiros dos sete aproveitamentos com registro na bacia. Dos sete aproveitamentos há duas modalidades de arranjo utilizadas para fazer com que a água passe através das turbinas. A primeira adotada por seis dos sete aproveitamentos que geram energia a partir da formação de um reservatório no próprio leito natural do rio, sendo que a casa de força fica próxima ao barramento, no entanto são consideradas a fio d'água. E a segunda modalidade (que é o caso das PCHs Agrotrafo e Palmeiras), gera energia a partir de um desvio através de um canal ou túnel, e a restituição da vazão ocorre após percorrer um trecho do rio com vazão menor que a natural. Esse trecho também é conhecido como Trecho de Vazão Reduzida – TVR, Alça de Vazão Reduzida ou até trecho curto-circuitado.

O TVR Agrotrafo/Palmeiras percorre um trecho de 3 quilômetros sem contribuição lateral e há uma diminuição da vazão natural em função da parcela retirada para gerar energia. O arranjo geral desse TVR está demonstrado nas Figuras 4.8 e 4.9.

Há experiências de construção de aproveitamentos hidrelétricos com TVR em vários locais do Brasil, vários deles com extensões significativas e com expressiva redução do volume de água que passa no TVR. A Tabela 4.3 faz uma comparação do caso das PCHs Agrotrafo com outros aproveitamentos em outros estados.

Tabela 4.3 – Comparação das PCHs Agrotrafo e Palmeiras com aproveitamentos no Brasil

Nome	Rio	Estado	TVR (km)	QTVR	Qmedio	Q90	Q95	QTVR/Qmed	QTVR/Q90	QTVR/Q95
UHE Amador Aguiar I	Araguari	MG	9	7	359	160	136	1.9%	4.4%	5.1%
UHE Monte Claro	Antas	RS	18	10.78	267.7		18.6	4.0%		58.0%
UHE São João	Ijuí	RS	4	11.36	257.7		42	4.4%		27.0%
PCH Linha 3	Ijuí	RS	8	8.9	64.7		13.2	13.8%		67.4%
UHE Dardanelos	Aripuanã	MT	2.4	21	313.1	52.8	43	6.7%	39.8%	48.8%
UHE Belo Monte	Xingu	PA	100	700		1193	1032		58.7%	67.8%
PCH Agrotrafo/Palmeiras	Palmeiras	TO	3	5.34	29.75	22.06	21.36		184.5%	25%

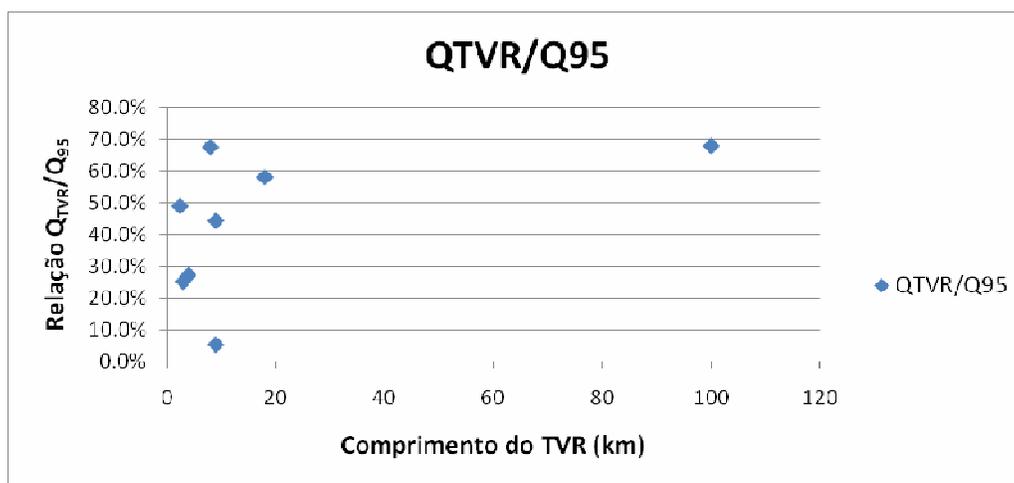


Figura 4.7 – Relação entre o comprimento do TVR e Q_{TVR}/Q_{95}

A figura 4.7 mostra que entre os aproveitamentos comparados, com exceção de Belo Monte, todos têm TVR menor que 20 km. No entanto a extensão do TVR e sua respectiva vazão não implica em baixo comprometimento do percentual da Q_{95} nesse

trecho. Restituir a parte da vazão retirada para as unidades geradoras é o maior desafio dos TVRs atuais como uma das formas de garantir integridade ou condições adaptáveis de sobrevivência aos organismos aquáticos.

A Tabela 4.3 mostra que a vazão no TVR representado por QTVR corresponde ao valor que deveria permanecer no leito do rio após a retirada de todo percentual que estaria passível de ser outorgado. A ressalva se dá ao caso da geração de energia que calcula a energia a ser gerada com base em uma permanência de 95%, ou seja, a Q₉₅. A relação indica que a vazão a ser mantida seria e 5,34 m³/s que corresponde a 25% na relação QTVR/Q₉₅.

Com os resultados, fica evidente que há necessidade tanto por parte da demanda de água para gerar energia, como pelo critério de referência para outorga, de se adotar um regime de vazões que atenda ao aspecto da sazonalidade, o que otimizaria o déficit de geração nos vários períodos do ano onde a vazão é insuficiente, contribuindo também para a manutenção da integridade ecológica do rio, no trecho onde a vazão sofre redução.

A Tabela 4.4 mostra o resumo das características do aproveitamento, a partir de formulário enviado pela empresa concessionária responsável Enel Brasil Participações Ltda.

Tabela 4.4 – Resumo das características das PCHs Agrotrafo/Palmeiras

Área de drenagem a montante	996,86 (km ²)
Vazão média de longo termo	37,20 m ³ /s
Vazão máxima turbinada – PCHs Agrotrafo + Palmeiras	40,70 m ³ /s
Vazão mensal 95%	25 m ³ /s
Vazão máxima no vertedouro	Não há vertedouro. Aumento do nível com enrocamento.
Nível d'água máximo a montante	586,25m
Nível d'água mínimo a montante	584,69m
Nível d'água máximo maximorum a montante	586,69m
Cota da crista da barragem	585,90m
Deplecionamento	Fio d'água
Queda bruta	46,81 m
Área inundada (NA _{max} Normal)	0,007350 km ²
Área inundada (NA _{max} Maximorum)	0,008414 km ²

Potencia Instalada	14,04 MW
Energia Média	11,17 MW
Energia Firme	9,33MW
Tempo de assoreamento	Não disponível
Tempo de residência	Fio d'água
Potencia instalada/área inundada	0,01408

Fonte: Enel Brasil Participações Ltda

As Figuras 4.8 e 4.9 mostram como se comporta o traçado do rio no TVR, desde a tomada d'água para as turbinas nas três unidades geradoras até o encontro novamente do trecho original do rio – TVR com o desvio.



Figura 4.8 –Traçado do TVR e posição das 1



Figura 4.9 - Arranjo local do TVR e estruturas de geração

4.3. Levantamento das características e limites de uso e manutenção da água na bacia

O Estado do Tocantins, como grande parte de outros estados, através de seu decreto nº 2.432/05 estabeleceu que a vazão de referência para outorga fosse baseada na curva de permanência com duração de 90% ou Q_{90} .

A partir da Q_{90} foi estabelecido o percentual de 75% da Q_{90} como referência para outorga. Nota-se, no entanto, que os 25% restantes seriam a parcela indiretamente destinados à manutenção da vazão ecológica apesar do decreto não prevê, e que o estado optou por adotar um valor anual fixo como referencia para outorga. Por usuário, o percentual de referência máximo é 25% de 75% da Q_{90} .

Se for aplicado individualmente com rigor o critério por usuário de 25% de 75% da Q_{90} , dependendo do tipo de uso e do regime diferenciado de vazões ao longo do ano, pode apresentar várias limitações em vários segmentos tais como ambiental, hidrológico, econômico, etc.

Para avaliar a efetividade do critério, foi testada a aplicabilidade e os limites do critério considerando o caso das PCHs Agrotrafo e Palmeiras que configuram a situação ideal para o objetivo desta dissertação, tendo em vista que a energia é gerada a partir de uma captação ou desvio passando pelas turbinas e retornando novamente para o curso d'água, cerca de 3 quilômetros a jusante do ponto de captação.

Com as informações que se dispõe foi possível relacionar as interfaces que a aplicação dos termos previstos no decreto nº 2432/05 poderia oferecer, e a partir daí tentar traçar um cenário das conseqüentes limitações, tendo como pano de fundo sempre a manutenção da vazão ecológica.

Para aprimorar a análise das limitações e com base nos usos atuais, nas características vocacionais da bacia, bem como em algumas indicações de conflitos potenciais dadas pelo Plano da Bacia do rio Palma, foi possível elencar previamente quatro categorias de possíveis limitações: a) limitações de ordem hidrológica, b) limitações de ordem econômica, c) limitações de ordem ambiental, d) limitações de ordem legal.

4.4. Informações hidrológicas utilizadas

Para a simulação de possíveis limitações citadas nos itens a, b, c e d do parágrafo foi necessário obter dados sobre o comportamento hidrológico do rio Palmeiras. Dessa forma, foi utilizado o estudo de regionalização de vazões, feito pela Secretaria de Recursos Hídricos e Meio Ambiente do Estado do Tocantins–SRHMA, em 2007, bem como a série histórica da estação 21750000 (Lavandeira), obtida a partir de www.hidroweb.ana.gov, com 31 anos de dados.

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1. Limitações de ordem hidrológica

Para esta etapa foi consultado o estudo de regionalização de vazões da margem direita do rio Tocantins, SRHMA (2007), e os dados da estação fluviométrica Lavandeira, código 22750000 extraída de www.hidroweb.ana.gov.br a partir da qual foi possível por correlação de área de drenagem obter valores de vazão diária para o ponto de interesse, neste caso o ponto de retirada de água para as turbinas das PCHS Agrotrafo e Palmeiras.

Em função da forte sazonalidade hidrológica e climatológica da região o estudo de regionalização foi dividido em dois períodos:

- anual: considerando ano hidrológico para vazões mínimas, ou seja, coincidente com o ano civil. Este período compreende o período seco, que se estende desde 1º de maio até 31 de outubro;

- período úmido: compreende o período de chuva, que se estende desde o 1º de novembro até o dia 30 de abril.

Segundo o estudo de regionalização, o trecho em estudo está na região 1, onde se inserem as PCHs. Neste trecho, para o período anual/seco foram obtidas as equações e os respectivos R^2 ajustados, indicados na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Equação de regionalização obtida para a região 1 – período anual/seco.

Equação	R^2 Ajustado
$Q_{90} = 0,1165.A^{0,737}$	0,90

A Q_{90} obtida da regionalização de vazões (SRHMA, 2007) foi de $18,88m^3/s$. Nesse caso, como o valor da vazão de referência é fixo, ou seja, um único valor para todo ano, o intervalo de vazões a ser adotado será para o período anual/seco, em cujo valor de referência deverá estar inserido.

Numa análise para o trecho de demanda de água para atender as 3 unidades geradoras em uma situação de geração máxima, a vazão a ser usada pelas PCHs seria de 40,70 m³/s. Seguindo, então, rigorosamente o que estabelece o critério de outorga individual, nesse ponto as PCHs poderiam retirar no máximo 3,54 m³/s, um valor extremamente limitante se for considerada a necessidade do aproveitamento usar sua capacidade máxima de geração.

Em outra análise utilizou-se os dados da estação 21750000 para gerar vazões diárias no ponto de retirada pelas PCHs. Os resultados mostraram outras limitações não só do critério de vazão de referência adotado pelo Estado, mas, de forma genérica, de todos os modelos de referência que têm como base um valor fixo de vazão.

Como a vazão do rio não é constante e a Q₉₀ é um valor fixo, com base nos dados diários do ponto e no que estabelece o Decreto, foi possível verificar alguns aspectos:

- a) A partir da série da estação 21750000, a Q₉₀ no ponto do aproveitamento foi de 22,06 m³/s. Nesta circunstância, qualquer aproveitamento ou intervenção nesse ponto deverá assegurar, para manter os 25% da Q₉₀, uma vazão remanescente ou ecológica de 5,51 m³/s. Dos 16,55 m³/s restantes, as PCH só poderia turbinar 4,13 m³/s que corresponde a 25% de 75% da Q₉₀.
- b) Foram escolhidas aleatoriamente duas datas, uma correspondente ao período chuvoso (17/02/1999) e outra ao período seco (17/09/2006), coincidindo com o período usado na regionalização.
- c) No dia 17/02/1999, considerado alto pico de chuva, a vazão do rio era 56,50 m³/s e no dia 17/09/2006, período seco, a vazão era de 21,88 m³/s. Os dois valores apresentam vazões menores que a Q₉₀(22,06 m³/s). São números indicativos e demonstram as limitações, a inflexibilidade e a fragilidade que o método dessa natureza apresenta. Conforme pode ser observado na Figura 4.11, os meses onde a Q₉₀ é mais afetada, representada pela curva de não atendimento são: agosto, setembro e outubro, onde a vazão natural do rio em grande parte dos dias é menor que a Q₉₀, os quais coincidem com o período de menor precipitação, bem como os meses de maior demanda hídrica.

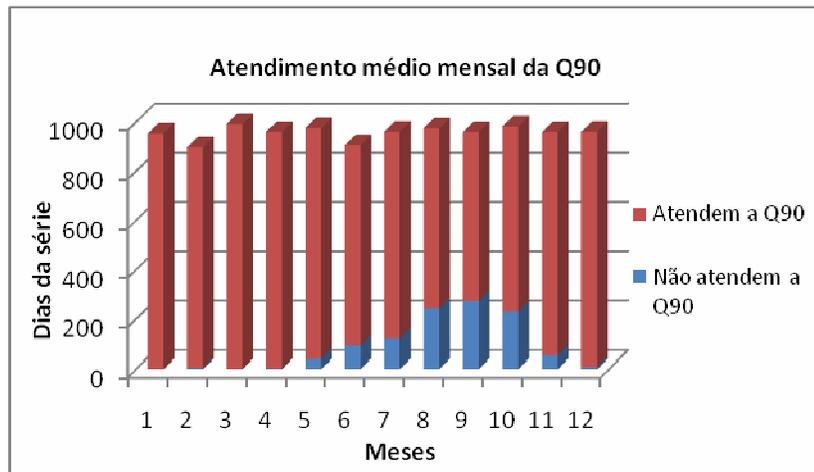


Fig. 4.11 – Curva de não atendimento anual da Q₉₀

- d)** A partir da série, $40,70\text{m}^3/\text{s}$, vazão máxima turbinável, corresponde a uma permanência de apenas 10% do tempo. A alternativa nesse caso é administrar a vazão turbinada em função do regime de vazões, ou seja, nos meses em que houver maiores vazões pode-se otimizar o aproveitamento podendo alcançar a geração máxima.

5.2. Limitações de ordem econômica

Caso o órgão outorgante mantenha o rigor dos percentuais estabelecidos no decreto, haveria uma drástica redução da energia a ser gerada pelas PCHs Agrotrafo e Palmeiras. A avaliação da energia garantida resume-se inicialmente, ao cálculo da média das vazões afluentes, censuradas pelo engolimento máximo das turbinas, de uma série de afluências (sintética ou histórica) sobre um período adequado. Em seguida, basta multiplicar essa média pela produtividade da usina e descontar as indisponibilidades da usina através de coeficientes apropriados (TEIF e TEIP) para se obter a energia assegurada. A equação então resulta em:

$$E_a = 8,76 \times K \times \bar{Q} \times (1 - TEIF) \times (1 - TEIP) \text{ [MWh/ano]}$$

Sendo:

TEIF - Taxa efetiva de indisponibilidade forçada;

TEIP - Taxa efetiva de indisponibilidade programada;

\bar{Q} - Vazão média censurada (m^3/s), dada por:

$$\bar{Q} = \frac{1}{T} \sum_{t \in T} \min(Q_t; Q^*)$$

onde:

Q_t - vazão afluente no tempo t ;

Q^* - vazão máxima de engolimento da usina.

K - produtividade média da usina ($kW/m^3/s$), dada por:

$$K = \frac{g \times \rho \times H_L \times \eta}{1.000} = g \times H_L \times \eta$$

Sendo:

g = aceleração da gravidade ($9,81 \text{ m/s}^2$);

H_L = queda líquida (m)

η = rendimento global da central (p.u);

ρ = densidade da água (1000 kg/m^3).

A Tabela 5.1 mostra como ficaria o caso, nos dois cenários: Cenário 1 – Condição atual. Cenário 2 – Com limitação do critério de outorga.

Tabela 5.1 – Situação da geração de energia com os cenários 1 e 2. – Método Q_{90}

Cenário 1 – Condição atual						
Vazão Turbinada (m^3/s)	Energia Firme (MW/h)	Valor Estimado (R\$/MW/h)	Faturamento Anual (R\$)			
40,70	9,33	133,65*	10.923.321,42			
Cenário 2 – Com limitação do critério de outorga						
Método	Período	Vazão Turbinada (m^3/s)	Energia. Asseg. MW/h	Energia Firme (MW/h) Ef = Pot in x n	Valor Estimado (R\$/MW/h)	Faturamento Anual (R\$)
Q_{90}	Anual	4,13	1,11	0,74	133,65	866.372,76

* Valor retirado do Artigo: Riscos financeiros em uma PCH no Proinfa (Autores: Jailson José Medeiros, Luiz Claudio Pires Estima e Marcelo Jaques Martins).

** Energia Assegurada

n = Rendimento = 0,67

Nessas condições, a energia assegurada que era de 14,04 MWh/ano passaria a ser de 1,11 MWh/ano o que refletiria numa significativa redução da arrecadação do aproveitamento, o que provavelmente a tornaria um empreendimento inviável.

Neste mesmo aspecto econômico se houvesse a mesma simulação, porém adotando outros métodos de avaliação de vazão ecológica como por exemplo a $Q_{7,10}$ e o Método de Tennant, haveria as seguintes condições, com as mesma base de dados.

5.2.1. $Q_{7,10}$

No caso da simulação utilizando como referência a $Q_{7,10}$, o valor da vazão de referência para outorga obtido foi de 20,32 m³/s. A vazão ecológica, nesse caso considerando o critério seria de 5,08 m³/s e cada usuário teria direito de retirar os 25% de 75% da $Q_{7,10}$ que corresponderia a uma vazão máxima turbinada de 3,81 m³/s. A partir desse valor e utilizando a mesma fórmula anterior, a simulação com a energia a ser gerada fica da seguinte forma:

Tabela 5.2 – Situação da geração de energia com os cenários 1 e 2 – Método $Q_{7,10}$

Cenário 1 – Condição atual						
Vazão Turbinada (m ³ /s)	Energia Firme (MW/h)	Valor Estimado (R\$/MW/h)	Faturamento Anual (R\$)			
40,70	9,33	133,65*	10.923.321,42			
Cenário 2 – Com limitação do critério de outorga						
Método	Período	Vazão Turbinada (m ³ /s)	Energia. Asseg. MW/h	Energia Firme (MW/h) Ef = Pot in x n	Valor Estimado (R\$/MW/h)	Faturamento Anual (R\$)
$Q_{7,10}$	Anual	3,81	1,02	0,68	133,65	800.106,95

* Valor retirado do Artigo: Riscos financeiros em uma PCH no Proinfa (Autores: Jailson José Medeiros, Luiz Claudio Pires Estima e Marcelo Jaques Martins).

** Energia Assegurada

n = Rendimento = 0,67

5.2.2. Método de Tennant

A partir da série histórica utilizada foi possível obter a vazão média anual no local do aproveitamento. Neste caso o valor calculado foi 37,26 m³/s. A partir da tabela que relaciona a condição do rio com a vazão recomendada, a faixa utilizada foi de 30% da média como o valor de vazão de referência o que corresponde a uma vazão ecológica de 11,17 m³/s. Restaria então 26,09 m³/s a ser outorgada. Considerando que conforme o critério de outorga cada usuário só poderia ter acesso a 25% da vazão outorgável o valor a ser turbinado pelo Método de Tennant seria de 6,62 m³/s. A partir desse valor e utilizando a mesma fórmula anterior, a simulação com a energia a ser gerada fica da seguinte forma:

Tabela 5.3 – Situação da geração de energia com os cenários 1 e 2 – Método de Tennant

Cenário 1 – Condição atual						
Vazão Turbinada (m ³ /s)	Energia Firme (MW/h)	Valor Estimado (R\$/MW/h)	Faturamento Anual (R\$)			
40,70	9,33	133,65*	10.923.321,42			
Cenário 2 – Com limitação do critério de outorga						
Método	Período	Vazão Turbinada (m ³ /s)	Energia. Asseg. MW/h	Energia Firme (MW/h) Ef = Pot in x n	Valor Estimado (R\$/MW/h)	Faturamento Anual (R\$)
Tennant	Anual	6,62	1,78	1,19	133,65	1.396.265,07

* Valor retirado do Artigo: Riscos financeiros em uma PCH no Proinfa (Autores: Jailson José Medeiros, Luiz Claudio Pires Estima e Marcelo Jaques Martins).

** Energia Assegurada

n = Rendimento = 0,67

Comparativamente, entre os três métodos, do ponto de vista do aproveitamento econômico e do percentual de vazão a ser mantida no curso d'água o método de Tennant se mostrou o mais interessante, além de oferecer um maior incremento da vazão turbinada, garante um aporte maior de água para contribuir com a melhoria da integridade ecológica do trecho.

5.3. Limitações de ordem ambiental

O critério de vazão ecológica com base em um valor fixo não leva em consideração aspecto da sazonalidade do regime de vazões. Esse fato ficou evidenciado claramente quando foi identificado que em determinadas épocas do ano a vazão natural do rio é menor que a Q_{90} . Esses resultados levam a crer que principalmente no período de estiagem, no TVR, haveria um intenso desequilíbrio entre o regime de vazões naturais dos rios, os usos, e o regime de habitat, reprodução e migração dos organismos aquáticos, principalmente os peixes.

Segundo o Estudo de Impacto Ambiental das PCHs Água Limpa e Areia, 2000, localizada imediatamente a jusante das PCHs Agrotrafo/Palmeiras duas espécies (*Myleus pacu* - Pacu Dente Seco e *Leporinus cf. maculatus* - Piau) são comuns ao trecho de jusante e montante de Agrotrafo/Palmeiras, no alto curso do rio Palmeiras, onde as condições físico-químicas da água são nitidamente diferentes.

Em relação ao alto curso do rio Palmeiras, a montante de Agrotrafo/Palmeiras, os estudos revelaram que a ictiofauna é bastante reduzida. As espécies predominantes são o pacu, piau e o jau. Possíveis causas da pouca abundância da ictiofauna local podem está relacionadas a alguns aspectos:

- a) As condições de subida do rio, dificultada para a maioria das espécies de peixes, principalmente aquelas que não fazem a piracema, devido aos trechos encachoeirados do médio curso do rio;
- b) A turbidez muito baixa ou nula durante todo o ano, a água permanece transparente (100% de transparência), inclusive no período chuvoso, o que dificulta o

esconderijo dos peixes, não se tornando atrativa para desova. A turbidez está diretamente relacionada à presença de minerais de argila em suspensão na água, e é um dos fatores primordiais do desencadeamento da piracema;

- c) A ausência de vegetação marginal, devido aos solos arenosos distróficos (pobres em matéria orgânica). Na região prevalecem as gramíneas e as ciperáceas, que ocorrem em sua maioria em solos pobres e úmidos.
- d) A jusante das PCHs Agrotrafo/Palmeiras, bem como das PCHs Água Limpa e Areia, as rochas passam de areníticas para argilíticas-siltosas com horizontes de rochas carbonáticas. Essa nova condicionante geológica favorece a formação de matas ciliares (fornecendo alimentos), o aumento do pH da água até francamente básico, e por consequência favorecendo a proliferação de peixes.
- e) O alto curso do rio Palmeiras, justo a partir das PCHs Agrotrafo/Palmeiras, exhibe um regime de fluxo sensivelmente mais lento (baixo gradiente), sem corredeiras e inclusive com exposição de meandros, condicionado pelo substrato rochoso (arenitos Urucuia), formando lagoas marginais sazonais, as quais podem constituir-se em locais de procriação das espécies lá ocorrentes.

Como foi constatado o hábito de migração das espécies de peixe mais comuns, haveria a necessidade da aplicação de um método para identificar quais possíveis hábitos relacionados aos aspectos da vazão, velocidade e substrato. Uma alternativa seria determinação desses aspectos por meio da aplicação do método IFIM através do seu Índice de Aptidão de Habitat- IAH para cada espécie, de preferência aquelas de subsistência e de importância comercial, como é o caso do pacu e do piau.

Neste caso a metodologia incremental de vazões remanescentes, também conhecidas como IFIM e seu aplicador operacional o PHABSIM, tem apoiado decisores em diversas partes do mundo quanto aos requerimentos de determinadas espécies de peixes e seus índices de aptidão de habitat. Essa pode ser uma alternativa ao órgão outorgante para essa limitação, sendo necessário, no entanto, a disponibilidade dos atributos que o método requer.

De forma complementar e associado ao aspecto das limitações ambientais, poder-se-ia acrescentar ainda outros usos e necessidades de água no TVR, os quais carecem de estudos mais especializados, como por exemplo:

- manutenção da conexão entre rio e planície;
- contribuição ou forma de atração para o mecanismo de transposição de peixes;
- pesca de comunidades ribeirinhas;
- aspectos paisagísticos;
- manutenção de espécies raras ou endêmicas.

5.4. Limitações de ordem legal

A partir da aplicação dos termos que regulamentam o critério de outorga e manutenção de vazões ecológicas no estado do Tocantins faz-se uma análise das condições de prioridades definidas pela norma.

Nessa lógica o que prevê a norma em termos de prioridade de uso considerando um conflito entre disponibilidade e demanda exclusivamente para o caso das PCHs Agrotrafo e Palmeiras cuja vazão máxima turbinada supera em mais de oito vezes o que estabelece o Decreto para cada usuário. Dessa forma se tiver as seguintes condições 1 e 2 abaixo, que soluções a legislação aponta como viáveis?:

Se a vazão no ponto de derivação correspondente a 25% de 75% da Q_{90} é menor do que a vazão demandada pela turbina. Se a vazão afluyente no ponto de derivação para as turbinas é menor do que a Q_{90} . Não há uma solução operacional para o problema. No entanto, o Art. 25 do Decreto nº 2432/05 estabelece que ocorrendo eventos que resultem em demandas superiores à oferta de recursos hídricos numa bacia, o órgão outorgante (Naturatins) poderá instituir regime de controle especial do uso de recursos hídricos pelo período que se fizer necessário.

Diante de um cenário com regime de controle especial, conforme o Art 25, em seu parágrafo 2º, serão prioritariamente assegurados os volumes mínimos necessários para abastecimento humano, de animais, preservação da fauna e atividades econômicas, nessa ordem. Tal regime será implementado de acordo com critérios do órgão outorgante em regulamento próprio, garantida a participação dos Comitês de Bacias Hidrográficas, se houverem.

Seguindo a ordem de prioridade a preservação da fauna é mais prioritária do que o uso econômico onde estaria enquadrado o uso para geração de energia. Como o valor da Q_{90} é fixo durante o ano todo, os “usos econômicos” seriam os mais afetados, pois seriam os primeiros a serem racionados caso haja um controle maior sobre os usos.

6. CONCLUSÕES

Entre os métodos mais utilizados para determinação de uma vazão ecológica que atenda às demandas e aos requerimentos dos ecossistemas aquáticos, aqueles que se baseiam em critérios hidrológicos são os mais aplicados atualmente. E a necessidade de se definir procedimentos para licenciamento ambiental e outorga de direito de uso de recursos hídricos, principalmente no caso de intervenções como barragens para geração de energia, tem sido um dos principais pontos para alavancar a discussão desse tema no Brasil e no mundo.

Os estudos atualmente disponíveis sobre vazão ecológica, ainda estão muito distantes das demandas apresentadas pelos órgãos ambientais e de recursos hídricos, quando o assunto é limites a serem retirados ou a serem mantidos, haja vista que tendem a buscar soluções isoladas para casos específicos de setores predominantemente estratégicos e não visam uma solução sustentável ecológica, econômica, social e sinérgica para a bacia hidrográfica.

Não se tem atualmente uma certeza de qual órgão deve abrigar a vazão ecológica, seja por meio do licenciamento ambiental no âmbito dos órgãos ambientais ou através da outorga ligada aos órgãos outorgantes. No entanto as grandezas que envolvem as questões ambientais e ecológicas do meio aquático têm se mostrado mais complexas do que as grandezas físicas como vazão por exemplo. Por isso, para se tentar partir para um consenso, um cenário possível seria a vazão ecológica estar atrelada aos órgãos com maior banco de dados sobre recursos hídricos o que facilitaria a tomada de decisão por parte do órgão gestor seja ele ambiental ou de recursos hídricos.

Ainda não há um consenso sobre a terminologia mais adequada para se empregar para a parcela de água a ser mantida nos rios para a manutenção e a sustentabilidade dos ecossistemas aquáticos. Percebe-se que a área da hidrologia prefere usar termos como vazão remanescente, residual, sanitária e até fluxo de base. Já outra facção mais ligada à área ambiental sugere vazão ecológica ou ambiental. Todos os conceitos estão em fase de construção, mas o maior desafio é a sua aplicabilidade.

Há necessidade, em caráter emergencial, que os órgãos gestores de recursos hídricos e de meio ambiente e tomadores de decisão estabeleçam regras efetivamente claras para garantir as vazões a serem mantidas e retiradas de forma a não apenas manter a integridade ecológica dos rios e a sustentabilidade dos ecossistemas aquáticos, mas também oferecer condições para potencializar outros usos na bacia hidrográfica.

Não há nas legislações de âmbito federal e estadual uma definição clara sobre competência institucional para regular a questão da vazão ecológica no âmbito dos órgãos ambientais e de recursos hídricos. Mas há uma constatação de que esse tema é de interesse de todos e serve, sobretudo, para alcançar uma integração maior entre as políticas e os sistemas de recursos hídricos e de meio ambiente, fundamentalmente quanto aos instrumentos de outorga e licenciamento ambiental.

É necessário o aprimoramento de instrumentos de gestão como os planos de recursos hídricos, o zoneamento ecológico, a outorga, o enquadramento e o licenciamento ambiental para que as intervenções sobre os recursos hídricos não comprometam a disponibilidade natural dos rios, nem tampouco a demanda ambiental por parte dos organismos vivos presentes na água, ou outras funções ecológicas importantes a serem preservadas.

As metodologias atualmente disponíveis para determinação da vazão ecológica são tradicionalmente divididas em quatro categorias: hidrológicas, hidráulicas, habitat e holísticas. O método adotado pelo Estado se enquadra na categoria hidrológica. A escolha por parte do Estado, baseia-se principalmente na facilidade de obtenção dos dados

Para se avaliar como a limitação do critério de vazão ecológica poderia afetar a biota aquática, principalmente no caso do TVR da PCH Agrotrafo/Palmeiras, seria necessário, para trabalhos e pesquisas futuras, um estudo do comportamento dos hábitos migratórios dos peixes, que poderiam ter a contribuição do próprio usuário. Neste caso, poderiam ser aplicados outros métodos de determinação de vazão ecológica como aqueles classificados como métodos de habitats. É o caso do Método do Instream Flow Incremental Methodology que envolve um grupo maior de especialistas de áreas mais específicas, onde

os parâmetros requeridos para a definição da vazão ecológica baseiam-se na preferência das espécies e organismos aquáticos.

Se houver rigor por parte do órgão outorgante estadual para o cumprimento individual do limite estabelecido no decreto de outorga, poderá ocorrer conflito com o setor de geração de energia, principalmente no caso da PCH Agrotrafo/Palmeiras que poderá sofrer uma redução drástica na energia gerada e na arrecadação. Neste caso poderá ser observado o que estabelece o Art. 21 do Decreto Federal 2.655/98 em seu parágrafo 4º quando diz: *“O valor da energia assegurada alocado a cada usina hidrelétrica será revisto a cada cinco anos, ou na ocorrência de fatos relevantes”*.

Devido à forte influência do aspecto sazonal da bacia do rio Palmeiras e sua significativa relação com o aquífero Urucuia, que alimenta as vazões de base, os resultados demonstrados pelas simulações indicam que antes de recomendá-lo para outros estudos em outras bacias deve-ser ter o cuidado de analisar como a hidrologia se comporta frente aos demais aspectos físicos como precipitação, áreas de recarga de aquíferos e formação hidrogeológica, fundamentais para o conhecimento do regime de vazões.

7. RECOMENDAÇÕES

Uma alternativa para dirimir conflitos por usos atuais e futuras e demandas ambientais no caso específico das PCHs Agrotrafo/Palmeiras, seria intervenções no TVR com a finalidade de ofertar água. Atualmente, no trecho de 3 quilômetros percorridos pelo TVR não há indício de qualquer uso ou retirada direta na calha principal do trecho curto-circuitado. Mas caso seja confirmada a presença de peixes com hábitos migratórios essa alternativa pode se transformar numa solução. Com a redução da vazão que passa no TVR, e considerando a quantidade de pontos encachoeirados, é possível que haja a necessidade de incremento da vazão para facilitar a transposição de espécies migratórias.

No caso da ameaça da diminuição da vazão turbinada em função do cumprimento dos valores de outorga individual, recomenda-se a adoção por parte dos órgãos outorgantes de um critério que considere a sazonalidade das vazões. Uma solução é o hidrograma ecológico que tem foco não só nas vazões mínimas dos períodos mais secos, mas aponta para uma solução que leva em conta o manejo adaptativo da água. No entanto, essa solução ainda é um desafio para os órgãos gestores de recursos hídricos e carece de maior estudo em busca da otimização da relação dos ecossistemas com a sazonalidade dos regimes hidrológicos.

É fundamental que o poder público, representado pelos órgãos gestores de recursos hídricos e meio ambiente, a sociedade civil organizada e os usuários de água, busquem o diálogo e a negociação para a solução de conflitos. Para isso, os comitês de bacias têm papel fundamental, haja vista que foram criados pela legislação com a finalidade de garantir a gestão descentralizada dos recursos hídricos.

Atualmente, há predominância de apenas uma modalidade de usos na bacia. É fundamental que as outorgas já emitidas e aquelas ainda em fase de reserva de disponibilidade, principalmente para o setor elétrico, façam previsões de usos futuros para garantir o princípio da multiplicidade de usos, principalmente aqueles com maior potencial como a irrigação e a práticas de esportes náuticos para que não haja maiores conflitos oriundos dos limites impostos pelo regulamento de outorga.

É necessário que haja mais investimento na geração de informações hidrológicas, por meio do adensamento da rede hidrometeorológica estadual para o aprimoramento das decisões por parte de órgãos gestores e tomadores de decisão, sociedade e usuários.

É extremamente importante que a discussão sobre vazão ecológica atualmente em pauta no Conselho Nacional de Recursos Hídricos, por meio da Câmara Técnica de Procedimentos de Outorga e Ações Reguladoras - CTPOAR se torne um instrumento não só recomendativo, mas que possa ser eficiente, prático e que busque a direção da resolução do problema.

A diminuição das incertezas só é possível com estudos, pesquisas e novas tecnologias. Para isso o Fundo Setorial de Recursos Hídricos – CT-Hidro tem papel importante, na divulgação de estudos em andamento, bem como na ampliação das bases de apoio financeiro não só junto às universidades e centros de pesquisas, mas também junto aos órgãos dos poderes públicos federal, estaduais e municipais ligados a gestão ambiental e dos recursos hídricos.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acreman, M.; Dunbar, M.J. 2004. *Defining environmental river flow requirements. Hydrology and Earth Science Systems*, 8(5): 861-76.
- Alves, M.E., 1993. *Métodos de Determinação do caudal ecológico*. Dissertação Mestrado. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Portugal. p.162.
- Annear, T.C., A.A., Conder, 1984. *Relative Bias of several fisheries instream flow methods. North American Journal of Fisheries Management*, 4.p. 451-539.
- Arthington, A.H. 1998. *Comparative Evaluation of Environmental Flow assessment Techniques: Review of Holistic methodologies*. LWRRDC Occasional Paper 26/98, 46 pp.
- Baron JS, Poff NL, Angermeier PL, Dahm CN, Gleick PH, Hairston NG, Jackson RB, Johnston CA, Richter BD, Steinman AD. 2002. *Meeting ecological and societal needs for freshwater*. *Ecological Applications* 12: 1247–1260.
- Benetti, A.D.; Lanna, A.E.; 2000 **Estabelecimento de critérios para definição da vazão ecológica no Rio Grande do Sul: Relatório Final**. Fundação Estadual de Proteção Ambiental – FEPAM: Porto Alegre, RS
- Benneti, A.D.; Lanna, A.E.L; Cobalchini, M.S. 2003. *Metodologias para determinação de vazões ecológicas em rios. Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Vol.8. Nº 02. abr/jun. 2003. p. 12.
- Bochechas, J.; Ferreira, M. T.; Pinheiro, A. N. 1998. *“Gestão Ecohidráulica em Portugal: Diagnóstico e Principais Linhas de Actuação”*, Actas do 4º Congresso da Água, Portugal, 1998.
- Bovee, K.D.; Lamb, B.L.; Bartholow, J.M.; Stalnaker, C.B.; Taylor, J.; e Henriksen, J.; 1998. *Stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology*. U.S. Geological Survey, Biological Resources Division Information and Technology Report USGS/BRD- 1998-0004. Colorado, p.139.

- Brasil. Agência Nacional de Águas. *Nota Técnica nº158/2005/SOC*, 2005. p 31.
- BRASIL. Agência Nacional de Águas. Resolução N° 131, de 11 de maio 2003. *Dispõe sobre a emissão de declaração de reserva de disponibilidade hídrica e de outorga de direito de uso de recursos hídricos*. Diário Oficial da União, Brasília, 11/05/03 p. 5.
- Brasil. Comitê da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco - CBHSF *Deliberação nº 08/04*.
- Brasil. Constituição (1988) *Constituição da República Federativa do Brasil*. Brasília: Senado, 1988. 168p.
- Brasil. Decreto-Lei nº 24.643 de 10 de julho de 1934: *Institui o Código de Águas*.
- Brasil. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. *“Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do ART. 21 da Constituição Federal e altera o ART. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989”*. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 8 de janeiro de 1997.
- Brasil. Resolução ANEEL nº 395/98 de 04 dez. 1998. *“Estabelece os procedimentos gerais para registro e aprovação de estudos de viabilidade e projeto básico de empreendimentos de geração hidrelétricas, assim como da autorização para exploração de Centrais Hidrelétricas até 30MWe da outras providências.”* Diário Oficial da União, Brasília, 10 jun. 2006. p.74
- Brasil. Resolução CONAMA nº 005, de 15 jun 1988. *Dispõe sobre o licenciamento de obras de saneamento básico”* Diário Oficial da União, Brasília, 16 nov. 1988. p. 2.
- Brasil. Resolução CONAMA nº 357, de 17 mar 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.”* Diário Oficial da União, Brasília, 18 mar. 2005. p. 7.
- Brasil. Resolução CONAMA nº 357, de 17 mar. 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" Diário Oficial da União, Brasília, 18 mar. 2005. p. 24

Collischonn, W.; Agra, S.G.; Freitas, G.K.; Priante, G.; Tassi, R.; Souza, C.F. 2005. *Em busca do hidrograma ecológico*. In: Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa, Nov. 2005, CD-ROM.

Collischonn, W.; Tucci, C.E.M., 2009 *Parecer técnico sobre a vazão remanescente na UHE São Domingos, no Rio Verde – MS*. p 42.

Cruz, J.C. 2001. *Disponibilidade Hídrica para Outorga: Avaliação de Aspectos Técnicos e Conceituais*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 189 p. (Tese. Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental).

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

Cruz, R.C. 2005. *Prescrição de vazão ecológica: aspectos conceituais e técnicos para bacias com carência de dados*. Porto Alegre: UFRGS. Tese (Doutorado em Ecologia), Instituto de Biociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 135p.

De Paulo, G.F.R. 2007. *Ferramentas para a determinação de vazões ecológicas em trechos de vazão reduzida: destaque para aplicação do método do perímetro molhado no Caso de Capim Branco I*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Saneamento Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal e Minas Gerais. 2007. p. 114.

Geomam – Geologia e Meio Ambiente Ltda. **Estudo de Impacto Ambiental - EIA das PCHs Água Limpa e Areia**, Vol. II., 2000, p. 67.

- Farias Júnior, J. E. F. 2006. *Análise de metodologias utilizadas para a determinação da vazão ecológica. Estudo de Caso: rio Coruripe/AL e rio Solimões/AM*. Dissertação de Mestrado em Ciências em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2006. p.150.
- Fitzhugh TW, Richter BD. 2004. Quenching *urban thirst: growing cities and their impacts on freshwater ecosystems*. *BioScience* 54: 741–754.
- Gleick PH. 1998. The World's Water 1998–1999: *The Biennial Report on Freshwater Resources*. Island Press: Washington, DC.
- Gordon, N.D., McMahon, A., Finlayson, B.L., Gippel, C.J., Nathan, R.J. *Stream Hydrology. An introduction for Ecologists*. Second Edition, Wiley. 2004.
- King J.M. & Louw D. 1998. *Instream flow assessments for regulated rivers in South Africa using the building block methodology*. *Aquatic Ecosystem Health and Restoration*, 1: 109- 124.
- King J.M., Brown C.A. & Sabet H. 2003. *A scenary based holistic approach to environmental flow assessments for rivers*. *River Research and Applications*, 19: 619-640.
- King, J. M. & LOUW, M. D., 1999. “*Instream flow assessments for regulated rivers in South Africa using the Building Block Methodology*”. Resource Directed Measures for Protection of Water Resources: River Ecosystems, Department of Water Affairs and Forestry, South Africa, v. 1.0, 24 de Setembro de 1999.
- Kulik, B. H. 1990 *A method to refine the New England aquatic base flow policy*. *Rivers* 1, 8 – 22.
- Loar, J.M., Sale, M.J., 1981. *Analysis of environmental issues related to small-scale hydroelectric development. v. instream flow needs for fisheries resources*. Environmental Sciences Division Publication n° 1829. Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy.
- Lopes, L.F.G., Cortes, R.M.V., Do Carmo, J.S.A., 2001. *Determinação do caudal ecológico a jusante da barragem do Touvedo – rio Lima*. Portugal, p. 14.

- Mendes, L. A. 2007. *Análise dos critérios de outorga de direito de usos consuntivos de recursos hídricos baseados em vazões mínimas e em vazões de permanência*. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2007. p.189.
- Morhardt, J.E., 1986. *Instream Flow Methodologies*. EA Engineering Science and Technology, Inc. California, USA.
- Mortari, D., 1997. “*Uma abordagem geral sobre a vazão remanescente, em trechos “curto-circuitados”, de usinas hidrelétricas*”, in Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 12., 1997, Vitória, ES. Anais. Vitória: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1997, p.7.
- Orth, D. J. & Maughan, O. E., 1981. “*Evaluation of the "Montana Method" for Recommending Instream Flows in Oklahoma Streams*”, Proc. Okla. Acad. Sci. 61:62-66.
- Pelissari, V. B., 2000. “*Vazão ecológica de rios: estudo de caso: Rio Timbuí, Santa Teresa, ES*”. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental. Departamento de Hidráulica e Saneamento, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, 2000, pp.151.
- Pelissari, V. B., Sarmiento, R. **Vazão Ecológica para o Rio Santa Maria da Vitória, ES**. V Simpósio Estadual sobre Saneamento e Meio Ambiente, 11 a 15 de agosto. 2003. Vitória, ES.
- Poff NL, Allan JD, Bain MB, Karr JR, Prestegard KL, Richter BD, Sparks RE, Stromberg JC. 1997. *The natural flow regime: a paradigm for river conservation and restoration*. *BioScience* 47: 769–784.
- Portugal (2002) Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território. Decreto Regulamentar N.º 11/2002 de 08-03-2002. *Plano de Bacia Hidrográfica (PBH) do Lima - 3ª Fase – Estratégias, Medidas e Acções*. (Rev.1 - 00/09/15). Diário da República I Série B. Disponível em http://www.dran.pt/temas/pbh/cdrom/lima/3_fase/Li3.pdf. Acessado em 26/06/2006

- Postel S, Richter B. 2003. *Rivers for Life: Managing Water for People and Nature*. Island Press: Washington, DC.
- Postel S. 1999. *Pillar of Sand: Can the Irrigation Miracle Last?* W.W. Norton: New York
- Richter BD, Mathews R, Harrison DL, Wigington R. 2003. *Ecologically sustainable water management: managing river flows for ecological integrity*. Ecological Applications 13: 206–224.
- Rosenberg DM, McCully P, Pringle CM. 2000. *Global-scale environmental effects of hydrological alterations*: introduction. BioScience 50: 746–751.
- Santos, A.H.M.; Leopoldo Junior, U. R.; Marco Aurélio, R.A.G.; Márcio Antônio, S. 2003. *Vazão remanescente no trecho de vazão reduzida de pequenas centrais hidrelétricas*. Anais XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2003. p. 13.
- Sarmiento, R.; 2007. *Estado da arte da vazão ecológica no Brasil e no mundo*. Unesco/Ana/CBHSF. p 38.
- Secretaria de Recursos Hídricos e Meio Ambiente do Estado do Tocantins [SRHMA]. *Plano da Bacia do Rio Palma*, 2008. (www.recursohidricos.to.gov.br)
- Silveira, G. L., Tucci, C. E. M. e Silveira, A. L. L. (1998). *Quantificação de vazão em pequenas bacias sem dados*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos 3, 111-131.
- Stalnaker, C., Lamb, B. L., Henriksen, J., Bovee, K. e Barthlow, J. (1995) The *Instream Flow Incremental Methodology. A Primer for IFIM*. U.S. Department of Interior. National Biological Service, Washington, D.C.
- Sugai, M.; 2007. *Exposição de motivos sobre vazão ecológica ao CPAP/CNRH*. p. 6.
- Tassi, R. In press. *Gerenciamento hidro-ambiental de terras úmidas*. Tese de doutorado, Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre/RS-Brasil.
- Tennant, D. L. (1976) *Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources*. Fisheries 1, 6 – 10.

- Tharme, R.E. 2003. *A global perspective on environmental flow assessment: Emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers*. Rivers Research and Applications. 19:397-441.
- The Nature Conservancy. 2005. *Flow Restoration Database*. <http://www.freshwaters.org/tools>. [1 August 2005].
- Tocantins. Decreto 2.432 de 06 de Junho de 2005: *Regulamenta a outorga do direito de uso de recursos hídricos de que dispõe os artigos 8º, 9º e 10 da Lei 1.307, de 22 de março de 2002*.
- Tocantins. Instituto Natureza do Tocantins. 2008. *Portaria NATURATINS nº 904 de 07/08/08. Estabelece os procedimentos técnicos e administrativos para emissão da declaração de reserva de disponibilidade hídrica e de outorga para uso de potencial de energia hidráulica para aproveitamentos hidrelétricos em rios de domínio do estado do Tocantins e dá outras providências*” Publicada no Diário Oficial do Estado em 07 ago. 2008.
- Tocantins. Lei 1.307 de 22 de Março de 2002: *institui a Política Estadual de Recursos Hídricos e cria o Sistema Estadual de Gestão de Recursos Hídricos*.
- TOCANTINS. Secretaria de Recursos Hídricos e Meio Ambiente. Estudo de **Regionalização de vazões da margem direita do rio Tocantins**. Palmas. 2007. p. 205.