

**ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E MEIO AMBIENTE
ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E DO MEIO AMBIENTE**

AMANDA CARNEIRO MARQUES

**APLICAÇÃO DO MÉTODO DO PERÍMETRO MOLHADO
PARA DETERMINAÇÃO DA VAZÃO ECOLÓGICA NO
TRECHO MÉDIO DO RIO PARAÍBA DO SUL**

**UNIVERSIDADE
FEDERAL
FLUMINENSE**

NITERÓI

2017

AMANDA CARNEIRO MARQUES

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia de Recursos Hídricos e do Meio Ambiente, da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador (a):

Prof^a Dr^a Mônica de Aquino Galeano Massera da Hora

NITERÓI

2017

**Ficha Catalográfica elaborada pela Biblioteca da Escola de Engenharia e
Instituto de Computação da UFF**

Observação: A ficha catalográfica deve ser impressa no verso da folha anterior e não deve ser incluída no número total de páginas do Trabalho de Conclusão de Curso.

AMANDA CARNEIRO MARQUES

**APLICAÇÃO DO MÉTODO DO PERÍMETRO MOLHADO PARA DETERMINAÇÃO
DA VAZÃO ECOLÓGICA NO TRECHO MÉDIO DO RIO PARAÍBA DO SUL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia de Recursos Hídricos e do Meio Ambiente, da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Aprovada em ____ de _____ de _____.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a Mônica de Aquino Galeano Massera da Hora, DSc – UFF.

Prof. Manoel Isidro de Miranda Neto, DSc – UFF

Prof. Marcelo Wangler de Avila, MSc – UFF

À minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por todas as oportunidades que me foram proporcionadas ao longo da vida.

Meus mais sinceros agradecimentos aos meus pais, a minha avó e a minha madrinha por toda a dedicação e por serem meus maiores exemplos e inspirações. Agradeço pela paciência, apoio e motivação em todos os desafios com os quais eu me deparei e por sempre acreditarem que eu seria capaz de conseguir alcançar todos os meus objetivos e aspirações.

Agradeço aos meus tios, primos e amigos por sempre apoiarem minhas decisões e por proporcionarem todo o suporte para que eu conseguisse concretizar meus sonhos.

Agradeço também ao meu companheiro de vida, por toda ajuda, apoio e carinho durante esta grande jornada acadêmica. Agradeço pela paciência e pelos incentivos para superar meus maiores obstáculos e pela determinação que me motiva a continuar com todos os meus projetos.

Agradeço imensamente a todos os meus professores, em especial a minha orientadora, professora Mônica da Hora, pela dedicação, orientação e conhecimento proporcionados e por tornarem esta jornada de descobertas ainda mais interessante.

“A água é o princípio de todas as coisas”. Tales de Mileto

“A água de boa qualidade é como a saúde ou a liberdade: só tem valor quando acaba”. João Guimarães Rosa

RESUMO

O presente estudo visa a aplicação do Método do Perímetro Molhado para determinação da vazão ecológica no curso médio do rio Paraíba do Sul. A região foi escolhida, pois neste trecho existe uma transposição de suas águas para a bacia do rio Guandu, tornando-o o principal manancial de abastecimento público da cidade do Rio de Janeiro e sua região metropolitana. Além disso, como o trecho está a jusante do aproveitamento hidrelétrico de Funil, sob concessão de Furnas Centrais, foi feita uma análise da influência da vazão liberada pelo aproveitamento no comportamento do estirão. Para tanto, o Método do Perímetro Molhado foi aplicado a partir dos dados de perfil transversal e resumo de medição de descarga obtidos no portal Hidroweb da Agência Nacional de Águas para duas estações fluviométricas localizadas no trecho médio do rio Paraíba do Sul, uma no município de Barra Mansa e outra no município de Volta Redonda. A seção transversal representativa foi definida a partir da utilização dos softwares Hidro 1.2, Microsoft Excel e AutoCAD. A análise incluiu a seleção da seção representativa do perfil transversal de cada estação fluviométrica; correlação entre parâmetros hidráulicos; elaboração da curva-chave e representação de diferentes níveis d'água no AutoCAD para determinação dos parâmetros área e perímetro molhado da seção escolhida. Em seguida, foi plotada a relação perímetro molhado versus vazão, onde a vazão ecológica, em cada estação fluviométrica, foi estimada a partir da identificação do primeiro ponto de inflexão consistente na curva traçada. As vazões ecológicas resultantes foram 24,28 m³/s para Barra Mansa e 37,58 m³/s para Volta Redonda. As vazões máximas outorgáveis definidas pela Agência Nacional de Águas em rios federais, resultaram em 88,2 e 84,7 m³/s, respectivamente. Conclui-se que as vazões ecológicas no trecho estão sob influência da operação do aproveitamento hidrelétrico de Funil e não pelas seções transversais das estações fluviométricas.

PALAVRAS – CHAVE: gestão; recursos hídricos; qualidade da água.

ABSTRACT

This study aims the application of the Wetted Perimeter Method to determine the ecological flow in the middle course of the Paraíba do Sul river. The section was chosen because there is a water transposition from the Paraíba do Sul river to the Guandu river basin, making it the main source of public supply in Rio de Janeiro city and its metropolitan region. In addition, since the section is downstream from the Funil hydroelectric project, under Furnas Central concession, an analysis was made about the influence of the released flow. For this purpose, the Wetted Perimeter Method was applied using cross section and discharge measurement data obtained from the Hidroweb portal of the National Water Agency for two fluviometric stations located in the middle stretch of the Paraíba do Sul river, one in Barra Mansa city and another in Volta Redonda city. The representative cross section was defined using the softwares Hidro 1.2, Microsoft Excel and AutoCAD. The analysis included the selection of the representative section of the transversal profile of each fluviometric station; correlation between hydraulic parameters; elaboration of the water level vs. flow curve and representation of different water levels in AutoCAD to determine the wetted area and perimeter of the chosen section. Then, the wetted perimeter vs. flow curve was plotted, where the ecological flow in each fluviometric station was estimated from the identification of the first consistent inflection point in the plotted curve. The resulting ecological flows were 23.47 m³/s for Barra Mansa and 37.58 m³/s for Volta Redonda. The maximum allowable flows defined by the National Water Agency in federal rivers resulted in 88.2 and 84.7 m³/s, respectively. It is concluded that the ecological flows in the stretch are influenced by the operation of the Funil hydroelectric plant and not only by the cross sections of the fluviometric stations.

KEY WORDS: management; water resources; water quality.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Esquema do Complexo de Lajes (LIGHT, 2012).....	5
Figura 2: Representação do subsistema que envolve a transposição de águas do rio Paraíba do Sul para o Complexo de Lajes (LIGHT apud OLIVEIRA, 2013).....	7
Figura 3: Etapas para elaboração da curva vazão x perímetro molhado (STALNAKER, et al.,1995 apud BENETTI, et al., 2003)	9
Figura 4: Evolução das seções transversais da estação 58300000 ao longo do tempo	11
Figura 5: Evolução das seções transversais da estação 58305001 ao longo do tempo	11
Figura 6: Seção escolhida para representação do perfil transversal da estação 58300000, localizada no município de Barra Mansa.....	12
Figura 7: Seção escolhida para representação do perfil transversal da estação 58305001, localizada no município de Volta Redonda	13
Figura 8: Relação entre vazão e área molhada para a estação 58300000, localizada em Barra Mansa.....	14
Figura 9: Relação entre velocidade e área molhada para a estação 58305001, localizada em Volta Redonda.....	14
Figura 10: Gráfico Perímetro Molhado x Vazão utilizado na determinação da vazão ecológica pelo Método do Perímetro Molhado para a estação 58300000, localizada em Barra Mansa.....	19
Figura 11: Gráfico Perímetro Molhado x Vazão utilizado na determinação da vazão ecológica pelo Método do Perímetro Molhado para a estação 58305001, localizada em Volta Redonda.....	20

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Parâmetros hidráulicos obtidos através da representação do perfil transversal e das diferentes cotas em AutoCAD (Área Molhada e Perímetro Molhado) e parâmetros hidráulicos calculados através de equações apresentadas no estudo para a estação 58300000, localizada em Barra Mansa.....	17
Tabela 2: Parâmetros hidráulicos obtidos através da representação do perfil transversal e das diferentes cotas em AutoCAD (Área Molhada e Perímetro Molhado) e parâmetros hidráulicos calculados através de equações apresentadas no estudo (Velocidade e Vazão) para a estação 58305001, localizada em Volta Redonda.....	18

SUMÁRIO

1. Introdução	1
1.1. Objetivo	2
1.2. Justificativa	2
1.3. Organização do Trabalho	3
2. Materiais e Métodos	4
2.1. Área de Estudo	4
2.2. Método do Perímetro Molhado	8
2.3. Aplicação do Método no Trecho em Estudo	10
3. Resultados e Discussão	19
4. Conclusões e Recomendações	21
5. Referências Bibliográficas	22
Apêndice A	24

1. Introdução

A bacia do rio Paraíba do Sul engloba uma área de drenagem de cerca de 55.500 km², sendo que o estado de São Paulo é detentor de aproximadamente 13.900 km², o estado do Rio de Janeiro detém aproximadamente 20.900 km² e o estado de Minas Gerais possui em torno de 20.700 km² da área da bacia localizada em seus territórios (ANA, 2017a). A bacia abrange 184 municípios, sendo 39 localizados em São Paulo, 57 localizados no Rio de Janeiro e 88 em Minas Gerais (CEIVAP, 2017).

Em 2010, a população da bacia era estimada em 5,5 milhões de habitantes, sendo 1,8 milhão no estado de São Paulo, 1,3 milhão em Minas Gerais e 2,4 milhões no Rio de Janeiro. É importante ressaltar que 16% da população fluminense residia na bacia do Paraíba neste período, e que aproximadamente 14,2 milhões de pessoas, somados os 8,7 milhões de habitantes da região metropolitana do Rio de Janeiro, abasteciam-se das águas da Bacia do Rio Paraíba do Sul (CEIVAP, 2017).

Atualmente, a bacia abrange uma das áreas industriais mais desenvolvidas do país, que arrecada aproximadamente 10% do PIB (Produto Interno Bruto) nacional e tem um importante papel na implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos (MARENGO & ALVES, 2005).

Os principais usos da água na bacia são: abastecimento público, diluição de esgotos, irrigação e geração de energia hidrelétrica. Em menor escala, também se encontram a pesca, aquicultura, recreação e navegação (CEIVAP, 2017).

Em relação a geração de energia hidrelétrica, o sistema Paraíba do Sul-Guandu é responsável por suprir de energia elétrica e água a cidade do Rio de Janeiro. Este sistema compreende a transposição das águas do rio Paraíba do Sul em Santa Cecília, que é composta pela estação elevatória de Santa Cecília, barragem de Santana, estação elevatória de Vigário, usinas hidrelétricas Nilo Peçanha e Fontes Nova, reservatório de Ponte Coberta e usina hidrelétrica Pereira Passos (ANA, 2017a).

Além da transposição de águas para abastecimento humano e geração de energia elétrica, o que diminui a quantidade de águas em determinados rios da bacia, incluindo o Paraíba do Sul, diversos fatores contribuem para a degradação da qualidade das águas da bacia, tais como: disposição inadequada do lixo, desmatamento indiscriminado (o que pode acarretar no assoreamento dos rios e agravar as consequências das cheias), retirada de recursos minerais para a

construção civil sem a devida recuperação ambiental, uso indevido e não controlado de agrotóxicos, extração abusiva de areia, ocupação desordenada do solo e pesca predatória (CEIVAP, 2017).

Com foco nestes aspectos ambientais, é relevante o conhecimento da vazão ecológica, que pode ser definida como a mínima vazão que deve permanecer em um corpo hídrico para garantir a quantidade e a qualidade da água, no tempo e no espaço, necessária para manter os componentes, as funções e os processos dos ecossistemas aquáticos (MMA, 2010). Existem diferentes tipos de metodologias para quantificação da vazão ecológica em um rio, classificadas em quatro categorias principais: métodos hidrológicos, hidráulicos, de classificação de habitats e holísticos. Cada um destes grupos leva em consideração, majoritariamente, determinados aspectos do sistema onde o rio está inserido ou uma análise multidisciplinar das interrelações entre diferentes características do sistema.

A metodologia selecionada para a aplicação na região em estudo foi o Método do Perímetro Molhado, classificado como um método hidráulico que tem por objetivo estabelecer uma relação entre as vazões que escoam em um curso d'água e os correspondentes perímetros molhados, considerando que existe uma relação diretamente proporcional entre tais perímetros e a capacidade biogênica do rio (PORTELA, 2004 apud SOUSA, 2010).

1.1. Objetivo

O presente estudo tem o objetivo de quantificar a vazão ecológica no trecho médio do rio Paraíba do Sul, compreendido entre o aproveitamento hidrelétrico de Funil até Santa Cecília.

1.2. Justificativa

Devido à importância histórica, econômica e social da região e as crescentes interferências humanas que causam uma diminuição na quantidade ofertada e na qualidade da água presente nos cursos hídricos, tornam-se necessários estudos a fim de promover uma melhor gestão do recurso, levando em consideração aspectos ambientais da região.

1.3. Organização do Trabalho

A estrutura do trabalho compõe-se na aplicação do Método do Perímetro Molhado para o trecho médio do rio Paraíba do Sul, apresentado em forma de seções.

Seção 1: Caracterização da bacia hidrográfica em estudo, do método utilizado e das demais características físicas, econômicas e sociais determinantes da área de estudo; caracteriza a bacia hidrográfica como um todo.

Seção 2.1: Caracterização da área de estudo levada em consideração para aplicação do método e dos principais empreendimentos que influenciam na disponibilidade de água da região.

Seção 2.2: Apresentação do Método do Perímetro Molhado e descrição da metodologia.

Seção 2.3: Aplicação do método no trecho em estudo, incluindo a representação gráfica das seções transversais, o desenvolvimento de relações entre os parâmetros hidráulicos das seções em estudo, a elaboração da curva-chave e a elaboração das seções em AutoCAD para análise da relação entre perímetro molhado e vazão.

Seção 3: Apresentação dos gráficos perímetro molhado vs. vazão para as seções em estudo, determinação da vazão ecológica para o trecho em estudo e comparação da vazão encontrada com a vazão máxima outorgável pela Agência Nacional de Águas.

Seção 4: Apresentação das conclusões do trabalho, assim como os desdobramentos para pesquisas futuras.

As publicações e banco de dados consultados para o desenvolvimento da pesquisa estão relacionados nas Referências Bibliográficas e Apêndices.

2. Materiais e Métodos

2.1. Área de Estudo

No trecho considerado, compreendido entre o aproveitamento hidrelétrico de Funil até Santa Cecília, utilizando as informações disponíveis no portal Hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA), foram identificadas duas estações fluviométricas, a saber: 58300000 (“UHE Funil Jusante 2”), localizada no município de Barra Mansa e 58305001 (“Volta Redonda”), localizada no município de Volta Redonda. Todas as estações estão situadas no curso médio do rio Paraíba do Sul, no estado do Rio de Janeiro.

Nesta região está localizado o principal sistema de geração de energia do Grupo Light denominado Complexo de Lajes que começou a ser construído em 1903 e, atualmente, apresenta capacidade instalada de 612 MW (LIGHT, 2012).

O empreendimento também conta com duas usinas elevatórias: Santa Cecília, localizada em Barra do Piraí, e Vigário, situada em Piraí. Estas usinas viabilizam a transposição de uma parcela das águas do rio Paraíba do Sul para a bacia do rio Guandu, permitindo o abastecimento de água para a região metropolitana do Rio de Janeiro (LIGHT, 2012). Os componentes do sistema estão representados esquematicamente na Figura 1.



- | | | |
|--|---------------------------------------|--|
| 1 - Reservatório de Santa Branca | 7 - Reservatório de Santana | 13 - Usina Hidrelétrica de Fontes Velha |
| 2 - Usina Hidrelétrica de Santa Branca | 8 - Reservatório de Santa Cecília | 14 - Usina Hidrelétrica Pereira Passos |
| 3 - Reservatório de Tócos | 9 - Usina Elevatória de Santa Cecília | 15 - Pequena Central Hidrelétrica de Paracambi |
| 4 - Reservatório de Lajes | 10 - Usina Hidrelétrica Nilo Peçanha | 16 - Reservatório Ilha dos Pombos |
| 5 - Reservatório de Vigário | 11 - Usina Hidrelétrica Fontes Nova | 17 - Usina Hidrelétrica de Ilha dos Pombos |
| 6 - Usina Elevatória de Vigário | 12 - Reservatório Ponte Coberta | |

Figura 1: Esquema do Complexo de Lajes (LIGHT, 2012)

A criação das usinas e estações elevatórias da Ilha dos Pombos (1924), Fontes Nova (1940), Santa Cecília (1952), Vigário (1952), Nilo Peçanha (1952) e Pereira Passos (1962) ocorreu em face da intensa expansão urbana da cidade do Rio de Janeiro e região metropolitana e da crescente demanda por energia. Em 1905, iniciava-se a construção da usina de Fontes para produzir energia elétrica gerada por força hidráulica. A fim de viabilizar o funcionamento da usina, iniciou-se também a construção da barragem e do reservatório de água em uma região localizada na porção sul do planalto da Serra do Mar, situada a 64 km do Rio de Janeiro, nos municípios de Pirai, São João Marcos e Mangaratiba. Em relação a produção de energia, a hidrelétrica de Fontes (que entrou em operação em 1908),

localizada no município de Piraí, para a qual foi construída a represa Ribeirão das Lajes, era a maior hidrelétrica do Brasil naquele momento. A capacidade de geração de energia foi acrescida em mais de 60% com a inauguração do segundo sistema de alimentação da usina em 1913 (OLIVEIRA, 2013).

Diversos foram os impactos originados a partir da construção da represa na região sul fluminense, incluindo a extinção de um município (São João Marcos), quando a Light recebeu o direito de desapropriação das terras em 1941. Um ano antes da conclusão das obras, em 1907, o governo do estado do Rio de Janeiro deu autorização para que fosse aumentada a disponibilidade hídrica do Reservatório de Lajes por meio de um desvio parcial das águas do rio Piraí, afluente do rio Paraíba do Sul. Em 1940, no governo do presidente Getúlio Vargas, foi assinado o Decreto-Lei 2059/40, que previa o aumento da capacidade do reservatório de Ribeirão das Lajes através da elevação de sua barragem, com o objetivo de suprir o aumento da capacidade de geração de energia e fornecer água à cidade. Esses objetivos foram alcançados com a construção da segunda usina geradora de energia, a Usina de Fontes Nova, e da adutora que corta todo o território entre a represa e a zona sul da cidade do Rio de Janeiro (OLIVEIRA, 2013).

O primeiro subsistema do complexo é composto pelo Reservatório de Lajes, Reservatório de Tócos, Barragem de Tócos e pelas Usinas de Fontes Velha e Fontes Nova. Nesse subsistema o reservatório é interligado diretamente por dutos ao sistema de geradores da usina. Já o segundo subsistema é mais complexo, devido ao fato de operar com a transposição de águas do rio Paraíba do Sul para a movimentação das turbinas nas novas usinas criadas na fase de expansão do sistema. Em 1945, o governo federal autorizou a Light a desviar águas dos rios Paraíba do Sul e Piraí para a implantação de novas usinas hidrelétricas (Nilo Peçanha e Pereira Passos) no entorno das usinas de Fontes Velha e Fontes Nova (OLIVEIRA, 2013).

O funcionamento desse subsistema começa com o fechamento do canal por onde o rio Piraí desaguava no rio Paraíba do Sul. Devido a isso, o rio Piraí é represado e, com a transposição das águas do rio Paraíba do Sul, há um aumento do volume de águas para a nova represa que surgia com o fechamento do canal. Essa nova represa passa a receber contribuições de águas tanto das nascentes do rio Piraí, no município de Rio Claro, situado na Serra do Mar, quanto da transposição das águas do rio Paraíba do Sul. As águas dessa nova represa são

bombeadas pela Estação Elevatória de Vigário, situada no centro da cidade de Pirai, para os lagos artificiais que levam as águas ao ponto em que se encontra a adutora da Usina Nilo Peçanha, construída próxima das Usinas Fontes e Fontes Nova. Esse subsistema pode ser observado na Figura 2.

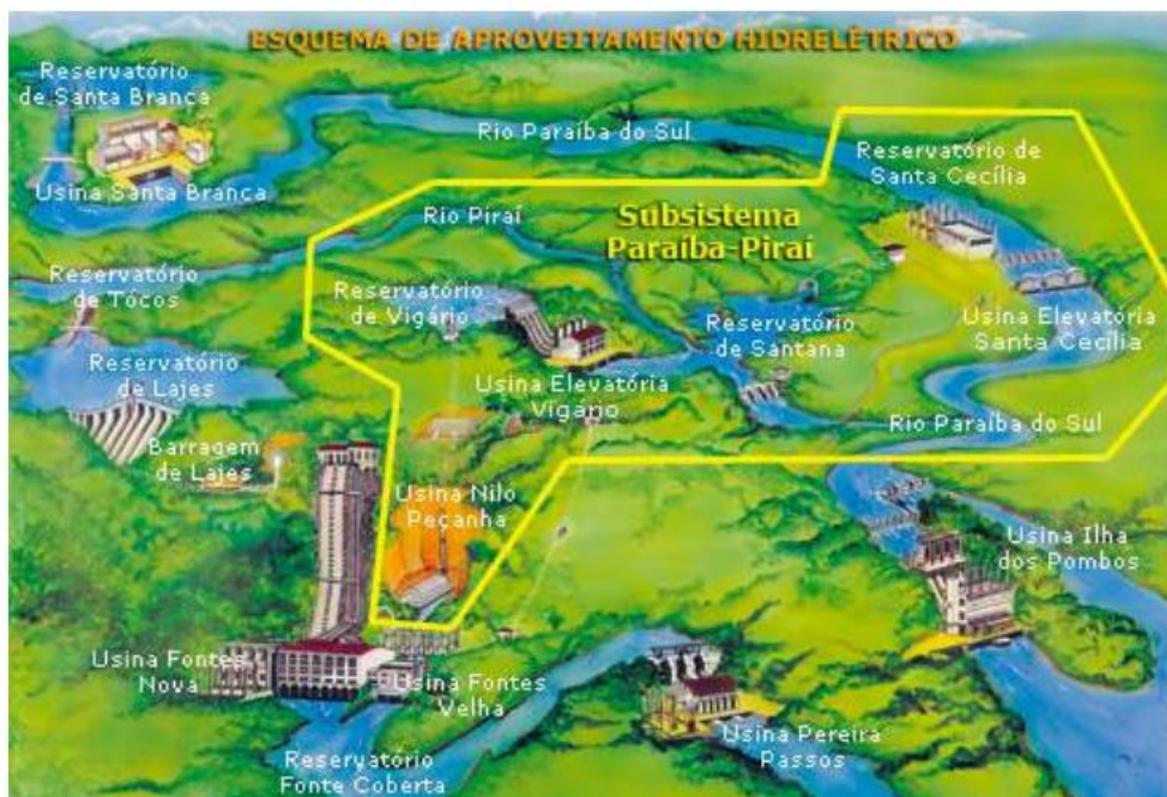


Figura 2: Representação do subsistema que envolve a transposição de águas do rio Paraíba do Sul para o Complexo de Lajes (LIGHT apud OLIVEIRA, 2013)

A estação elevatória de Santa Cecília, localizada no município de Barra do Pirai, é responsável pela divisão das águas que serão transpostas para o rio Guandu e as que seguirão pelo rio Paraíba do Sul para jusante da bacia. Por um lado (rio Guandu) está o abastecimento de cerca de nove milhões de pessoas da região metropolitana da cidade do Rio de Janeiro, indústrias e outros usuários; por outro lado, porém, estão outras cidades e usuários. O reservatório de Santa Cecília possui o limite mínimo de vazão instantânea de $71 \text{ m}^3/\text{s}$ e o bombeamento para o rio Guandu é de $119 \text{ m}^3/\text{s}$, considerando a média diária. No mês de março de 2017, a vazão afluente média a Santa Cecília foi de $216 \text{ m}^3/\text{s}$ e a vazão liberada média para o rio Paraíba do Sul foi de $92 \text{ m}^3/\text{s}$ (ANA, 2017b).

O subsistema apresentado envolve a transposição de parcela das águas do rio Paraíba do Sul, conforme abordado anteriormente. O presente estudo para determinação da vazão ecológica pelo Método do Perímetro Molhado será desenvolvido nessa região, a montante da transposição, a fim de concluir se a vazão ecológica do trecho médio do rio Paraíba do Sul está sendo respeitada.

Além do Complexo Light cabe destacar a presença da UHE Funil, construída no rio Paraíba do Sul em um local conhecido como “Salto do Funil”, no município do Resende, no estado do Rio de Janeiro. Sua construção é planejada desde a década de 30, com o objetivo de permitir a eletrificação de uma estrada de ferro ligando o Rio de Janeiro, São Paulo e Belo Horizonte. Porém, apenas em 1961 foi iniciada a construção pela Companhia Hidrelétrica do Vale do Paraíba. Em 1965, foi absorvida pela Eletrobrás, quem dois anos mais tarde, designou Furnas para concluir a construção da obra e colocá-la em funcionamento. Sua operação teve início em 1969, e um ano e meio depois, a usina já fornecia ao sistema elétrico sua capacidade total de 216 MW (FURNAS, 2017).

Apesar de possuir uma potência instalada inferior às demais usinas da empresa, a Usina de Funil é considerada de grande importância para o sistema por estar próxima aos grandes centros consumidores e por sua barragem possibilitar a regularização de vazões¹ (FURNAS, 2017). A título de exemplo da capacidade de regularização, a vazão afluente média ao reservatório de Funil no mês de abril de 2017 foi de 111 m³/s e a vazão liberada média, de 155 m³/s (ANA, 2017b).

2.2. Método do Perímetro Molhado

A metodologia é baseada na definição de relações entre o perímetro molhado de uma seção de um rio e o habitat disponível para os peixes e outros componentes da biota aquática na mesma seção (ANNEAR & CONDER, 1984 apud PARKER, et al., 2004). Este método baseia-se no pressuposto de que as necessidades de desova e passagens de peixes em um rio são garantidas quando uma descarga mínima é assegurada a partir de uma curva relacionando perímetros molhados com vazões (SOUSA, 2010). A determinação da vazão ecológica por este método é feita considerando o critério de manutenção das características físicas do habitat e o critério do ponto de inflexão (PAULO, 2007). A análise é desenvolvida normalmente

¹ De acordo com HORA (2008), os reservatórios de regularização aumentam a disponibilidade hídrica para jusante dos barramentos.

em um trecho considerado crítico para a manutenção das funções dos organismos aquáticos (SOUSA, 2010).

O método consiste na medição de vazões e os correspondentes perímetros molhados em uma ou mais seções do trecho selecionado, com o objetivo de obter-se uma caracterização da variação dos perímetros molhados com a mudança da vazão. O principal ponto de inflexão da curva indica o instante em que o perímetro molhado apresenta variação pouco significativa comparada a variação da vazão (SOUSA, 2010). A vazão correspondente a esse ponto é a vazão ecológica recomendada. A metodologia está ilustrada pela Figura 3. A figura representa uma mesma seção em diferentes instantes. Para cada instante (P1, P2, P3 e P4) há uma medição de descarga e perímetro molhado.

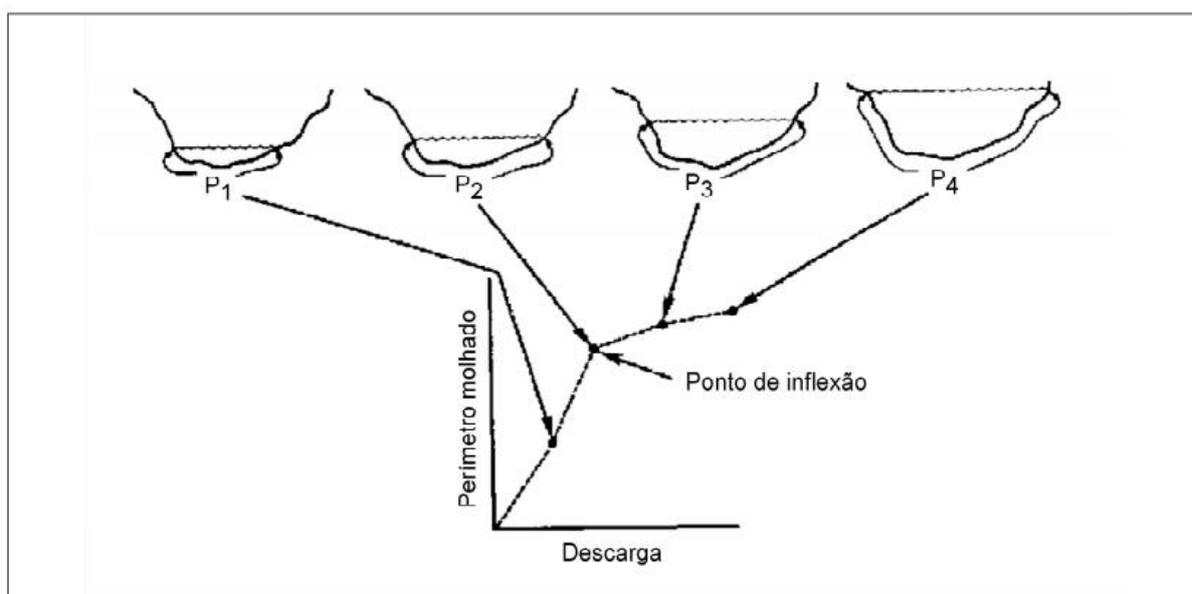


Figura 3: Etapas para elaboração da curva vazão x perímetro molhado (STALNAKER, et al., 1995 apud BENETTI, et al., 2003)

Os métodos hidráulicos, como o Método do Perímetro Molhado, relacionam características do escoamento com necessidades da biota aquática. Uma limitação da metodologia do perímetro molhado é que ele recomenda apenas um valor de vazão ecológica (PAULO, 2007), enquanto o ideal seria uma abordagem levando em consideração o escoamento em períodos de cheia e seca (GIPPEL & STEWARDSON, 1998).

2.3. Aplicação do Método no Trecho em Estudo

O Método do Perímetro Molhado foi aplicado para calcular a vazão ecológica no trecho médio do rio Paraíba do Sul. As estações fluviométricas selecionadas para a análise foram:

- UHE Funil Jusante 2 (código 58300000): localizada no rio Paraíba do Sul, no município de Barra Mansa, no estado do Rio de Janeiro, onde a companhia responsável e operadora da estação é Furnas;
- Volta Redonda (código 58305001): localizada no rio Paraíba do Sul, no município de Volta Redonda, no estado do Rio de Janeiro, onde o órgão responsável pela estação é a ANA (Agência Nacional de Águas) e o operador é a CPRM (Serviço Geológico do Brasil).

Primeiramente, dados de perfis transversais, resumos de medições de descarga e séries históricas de vazões foram obtidos no portal Hidroweb da ANA para cada seção em estudo. Apesar das estações estarem em operação há muitos anos, e dado que a vazão ecológica deve representar a condição mais atual possível do rio, optou-se por avaliar as seções transversais a partir do ano 2000. Os resumos de medição de descarga para cada posto estão consolidados no Apêndice A.

A partir destas informações, foram desenhadas em Excel as seções transversais para verificação da sua estabilidade, ou seja, se elas sofreram variações ao longo dos anos. A comparação dos perfis transversais de cada estação e a análise da estabilidade das seções ao longo do tempo foram realizadas através da representação das seções brutas e consistidas plotadas em Hidro e em Excel, que podem ser observadas para a estação localizada em Barra Mansa na Figura 4 e para a estação localizada em Volta Redonda, Figura 5.

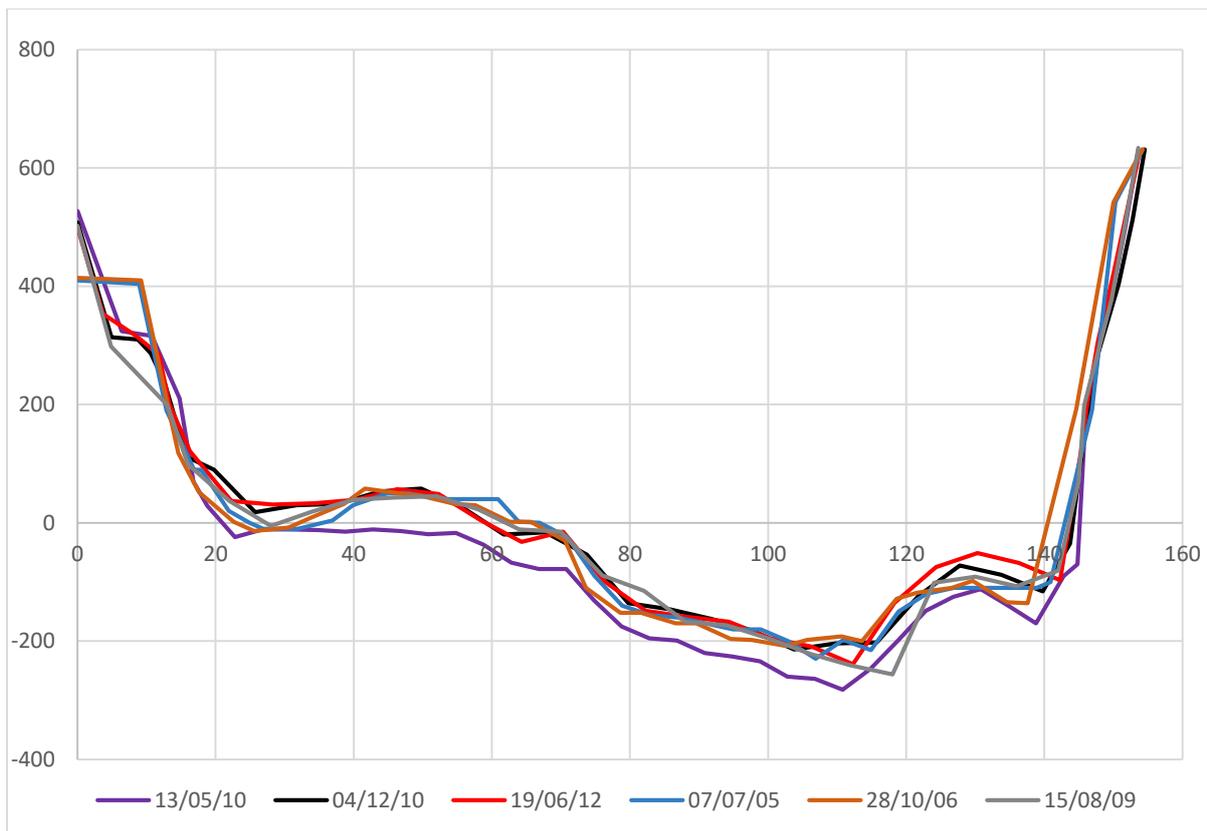


Figura 4: Evolução das seções transversais da estação 58300000 ao longo do tempo

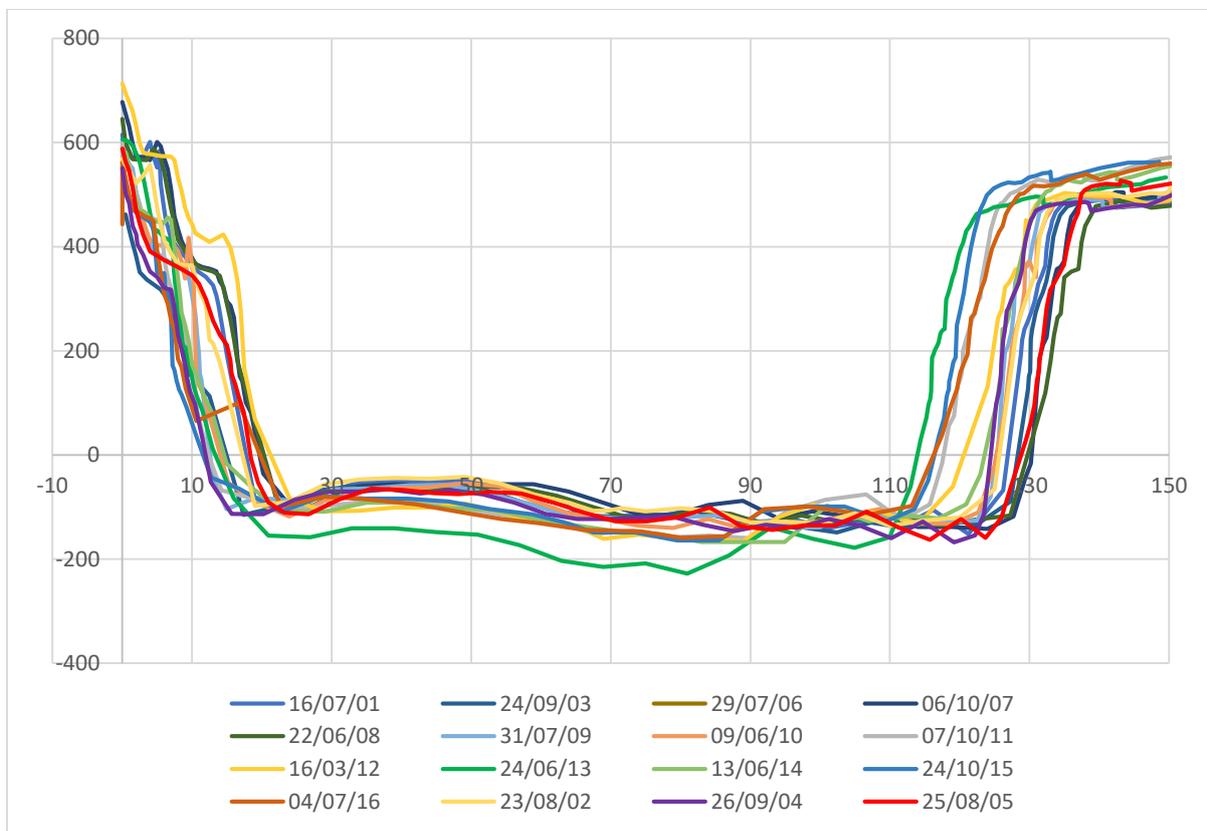


Figura 5: Evolução das seções transversais da estação 58305001 ao longo do tempo

As seções plotadas em diferentes cores representam levantamentos topobatimétricos realizados a partir do ano 2000. A partir da análise das Figuras, pode-se observar que as seções transversais de ambas as estações fluviométricas não sofreram, ao longo do tempo, grandes variações podendo admiti-las como estáveis.

A partir dos dados de resumo de medição de descarga, foram observadas as datas para as quais as medições foram realizadas no mesmo dia do levantamento do perfil transversal a partir do ano 2000. As seções transversais foram selecionadas a partir do valor da menor medição de vazão. As seções selecionadas para a estação localizada em Barra Mansa e em Volta Redonda estão representadas pelas Figuras 6 e 7, respectivamente.

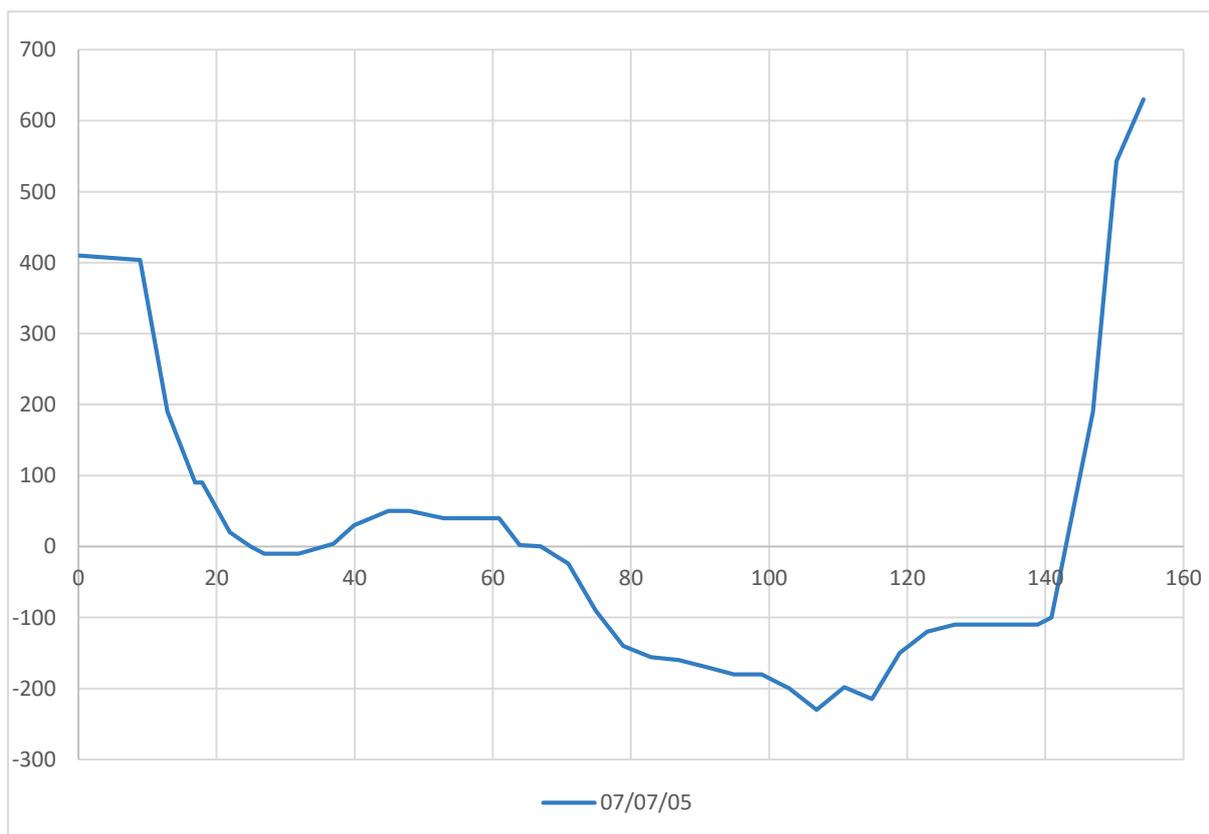


Figura 6: Seção escolhida para representação do perfil transversal da estação 58300000, localizada no município de Barra Mansa

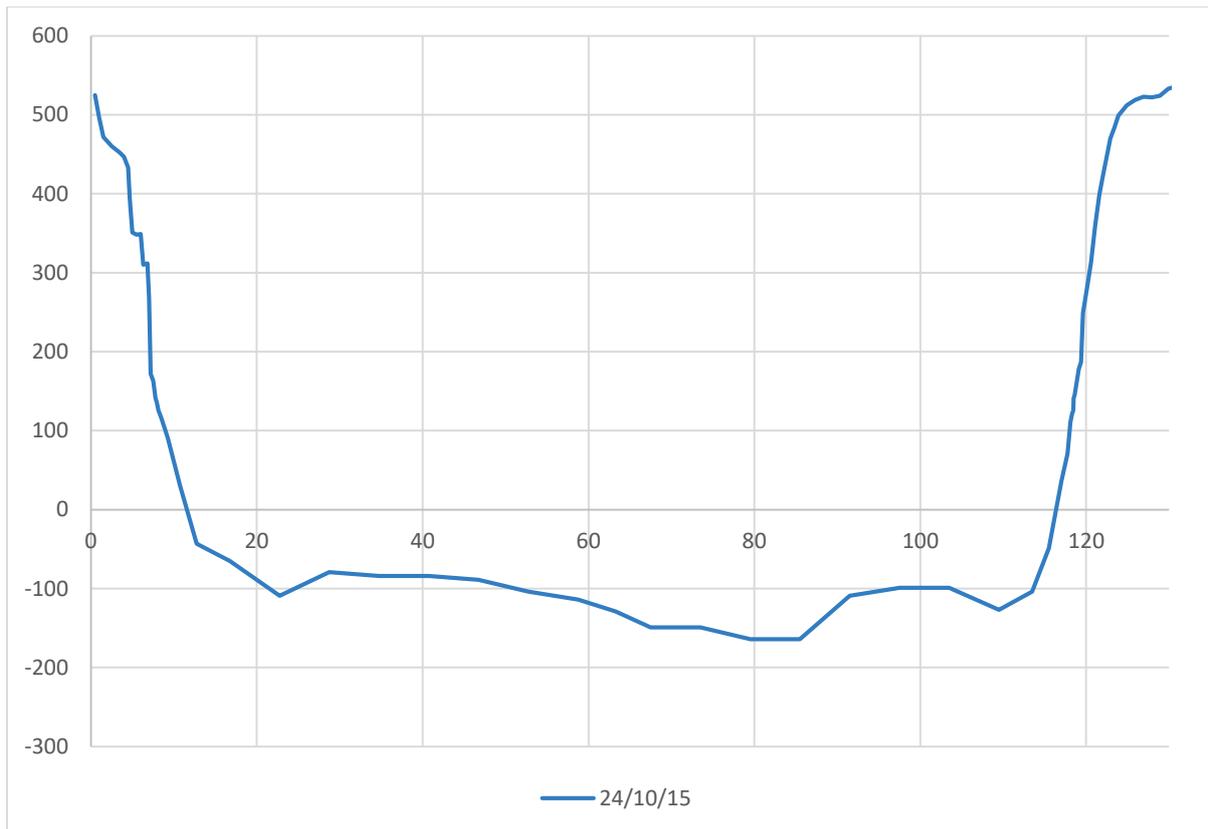


Figura 7: Seção escolhida para representação do perfil transversal da estação 58305001, localizada no município de Volta Redonda

Foram também plotados gráficos a fim de avaliar a relação entre os parâmetros “velocidade e área molhada” e “vazão e área molhada” da seção transversal para cada posto. As equações encontradas foram validadas através do coeficiente de determinação (r^2), que varia entre 0 e 1, indicando, em porcentagem, o quanto a equação consegue explicar os valores observados. Os gráficos estão apresentados nas Figuras 8 e 9, respectivamente. Para o posto 58300000, localizado em Barra Mansa, o maior coeficiente de determinação foi resultante da relação “vazão vs. área molhada”. Já para o posto 58305001, localizado em Volta Redonda, o maior coeficiente de determinação foi observado na relação “velocidade vs. área molhada”.

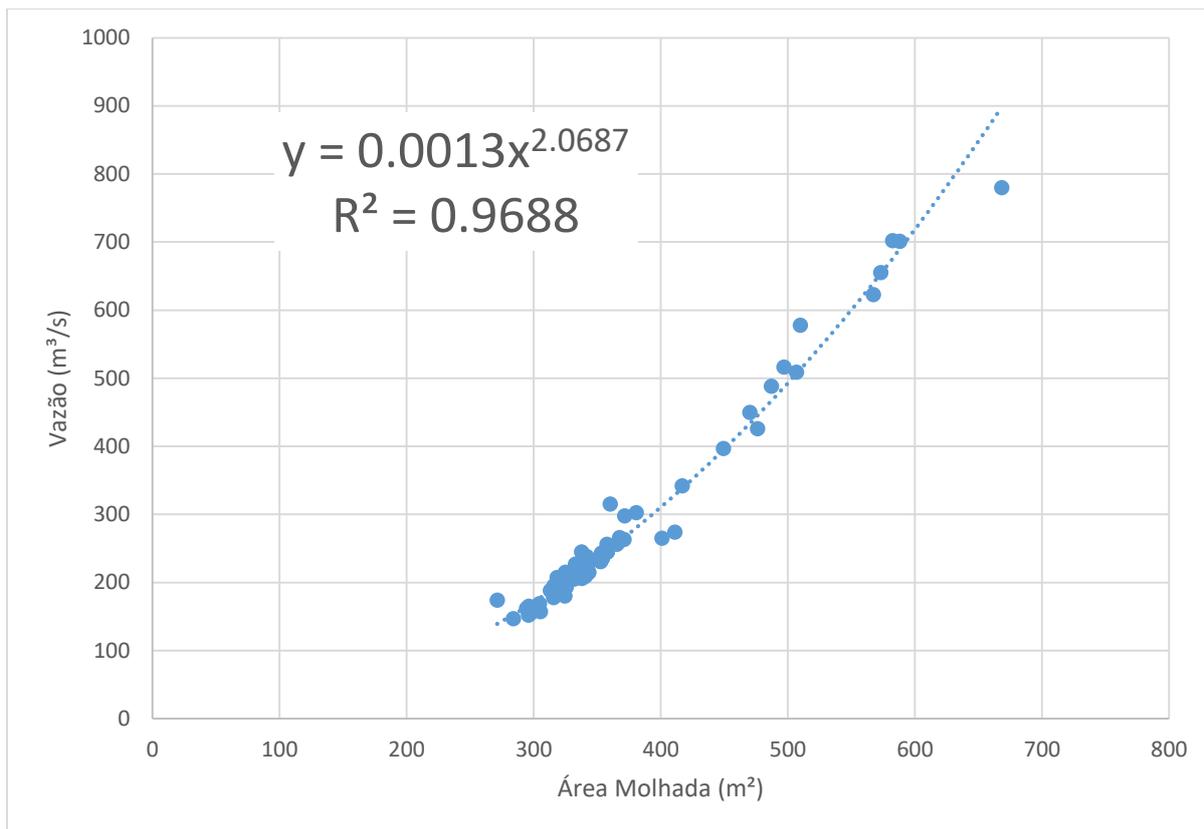


Figura 8: Relação entre vazão e área molhada para a estação 58300000, localizada em Barra Mansa

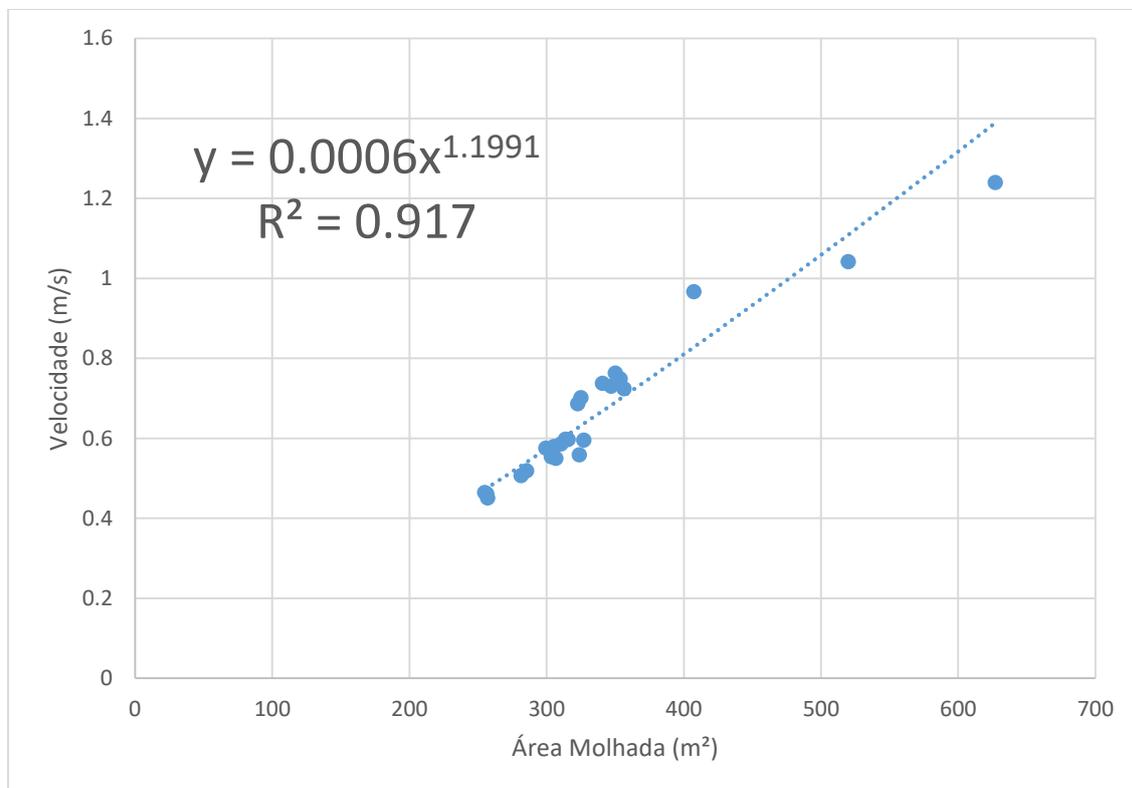


Figura 9: Relação entre velocidade e área molhada para a estação 58305001, localizada em Volta Redonda

Pode-se observar a partir da análise dos gráficos que os valores dos coeficientes de determinação (r^2) foram superiores a 0,9 para as duas estações, o que indica uma correlação consistente entre os dados.

Foram também traçadas as curvas-chave de ambas as estações fluviométricas, utilizando dados disponíveis no resumo de medição de descarga de cada estação. De acordo com Jaccon e Cudo (1989), a curva-chave relaciona a vazão que escoar em um corpo hídrico e o nível d'água (cota). Também conhecida como cota-vazão ou cota-descarga, a curva-chave de uma seção pode ser representada de três maneiras diferentes: equação matemática, forma gráfica ou tabela de calibragem. Segundo os autores, a equação geral da curva-chave é expressa por:

$$Q = a \cdot (h \pm h_0)^b \quad (1)$$

onde Q é a vazão (m^3/s), a é a constante da função potência, h é a altura da superfície da água (m), h_0 é a altura representativa da vazão nula (m), e b é a inclinação da curva-chave.

O parâmetro h_0 é definido como a leitura do nível d'água para o qual a vazão é nula. Sendo assim, h_0 pode assumir valores positivos ou negativos, dependendo da posição do zero no referencial em relação ao leito do rio.

Para a estação 58305001 (Volta Redonda), com o auxílio de ferramentas computacionais (Solver do Microsoft Excel) os termos h_0 , α e β foram determinados de forma a minimizar a soma dos quadrados dos desvios entre os valores de vazão medidos e os valores calculados pela curva-chave. A relação encontrada foi:

$$Q = 114,4512(h - 0,2706)^{1,3192} \quad (2)$$

O valor encontrado de 0,2706 metros para h_0 indica que este é o nível d'água para o qual a velocidade do rio é nula, portando não há vazão. Conseqüentemente, para a aplicação do Método do Perímetro Molhado na estação, este valor será adotado como o zero de referência da seção.

Para a estação 58300000 (Barra Mansa), o valor de h_0 encontrado foi igual a 0,0032 metros, aproximado para zero. Como o maior coeficiente de determinação (r^2) foi obtido pela equação resultante da metodologia iterativa, a ferramenta Solver do Excel forneceu a seguinte equação.

$$Q = 68,6516(h - 0,0032)^{1,7639} \quad (3)$$

Após a elaboração dessas curvas, a seção escolhida para cada estação foi traçada em AutoCAD. A partir do traçado da seção, foi utilizado o nível d'água correspondente à vazão mínima do resumo de medição de descarga (dia 07/07/2005 para o posto localizado em Barra Mansa e dia 24/10/2015 para o posto localizado em Volta Redonda). Com o nível d'água e o perfil traçados em AutoCAD, foram obtidas a área molhada e o perímetro molhado da seção. A área foi comparada com o valor de área molhada fornecida pelo resumo de medição de descarga. Como esses valores apresentaram diferenças percentuais inferiores a 3%, a representação gráfica em AutoCAD foi validada.

O valor da velocidade para a primeira medição também foi calculado através da equação obtida pela relação Velocidade vs. Área Molhada para o posto 58305001. Com a área e a velocidade, foi possível a obtenção da vazão através da equação da continuidade apresentada a seguir:

$$Q = v \cdot A \quad (4)$$

Onde:

Q = vazão em m^3/s ;

v = velocidade em m/s;

A = área da seção em m^2 .

As vazões obtidas através da representação das seções em AutoCAD e da aplicação da equação obtida através da relação Vazão vs. Área Molhada para o posto 58300000 e da equação da continuidade para o posto 58305001 foram comparadas com os valores de vazões obtidos pela curva-chave de cada estação. Os resultados do AutoCAD e as vazões calculadas a partir das curvas-chave para as estações de Barra Mansa e Volta Redonda estão representados pelas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1: Parâmetros hidráulicos obtidos através da representação do perfil transversal e das diferentes cotas em AutoCAD (Área Molhada e Perímetro Molhado) e parâmetros hidráulicos calculados através de equações apresentadas no estudo para a estação 58300000, localizada em Barra Mansa

Cota (cm)	Área Molhada (m ²)	Perímetro Molhado (m)	Vazão (m ³ /s) *	Vazão Curva-Chave (m ³ /s)	Diferença entre vazão calculada e vazão curva-chave (%)
189	337.99	135.03	221.56	210.38	5%
179	324.85	134.39	204.11	191.11	6%
169	311.55	133.74	187.20	172.65	8%
159	298.31	133.11	171.12	155.01	9%
149	285.13	132.47	155.84	138.19	11%
139	272.01	131.82	141.37	122.22	14%
129	258.95	131.18	127.69	107.11	16%
119	245.95	130.61	114.79	92.86	19%
109	233.01	129.90	102.64	79.51	23%
99	220.13	129.25	91.25	67.06	27%
89	207.32	127.60	80.61	55.54	31%
79	194.68	126.79	70.77	44.97	36%
69	182.11	125.98	61.64	35.39	43%
59	169.62	125.17	53.22	26.81	50%
49	157.24	120.61	45.50	19.28	58%
39	145.73	104.71	38.88	12.85	67%
29	135.52	100.74	33.45	7.58	77%
19	125.63	97.88	28.60	3.56	88%
9	116.08	94.20	24.28	0.92	96%
0	106.97	86.32	0.00	0.00	-

* Vazão estimada a partir da relação vazão vs. área molhada (Figura 8)

Tabela 2: Parâmetros hidráulicos obtidos através da representação do perfil transversal e das diferentes cotas em AutoCAD (Área Molhada e Perímetro Molhado) e parâmetros hidráulicos calculados através de equações apresentadas no estudo (Velocidade e Vazão) para a estação 58305001, localizada em Volta Redonda

Nível d'água (cm)	Área Molhada (m ²)	Perímetro Molhado (m)	Velocidade (m/s)	Vazão (m ³ /s)	Vazão Curva-Chave (m ³ /s)	Diferença entre vazão calculada e vazão curva-chave (%)
136	268.02	111.60	0.49	131.20	128.14	2%
126	249.26	111.27	0.45	111.85	112.85	-1%
116	238.26	110.64	0.43	101.28	98.05	3%
106	227.31	110.14	0.40	91.33	83.78	8%
96	216.41	109.85	0.38	81.97	70.07	15%
86	205.54	109.27	0.36	73.19	56.98	22%
76	194.71	108.91	0.33	64.97	44.59	31%
66	183.91	108.41	0.31	57.31	32.98	42%
56	173.15	107.91	0.29	50.20	22.30	56%
46	162.45	107.40	0.27	43.63	12.75	71%
36	151.79	106.87	0.25	37.58	4.73	87%
27	141.17	106.42	0.00	0.00	0.00	-

A partir na análise das tabelas, pode-se concluir que os valores de vazão obtidos a partir da aplicação da curva-chave apresentam uma boa aproximação dos valores de vazão calculados a partir do AutoCAD para as maiores vazões analisadas. Porém, analisando as menores vazões avaliadas no estudo, os valores obtidos através da curva-chave são muito discrepantes em relação aos valores calculados em AutoCAD, o que indica que a curva-chave não apresenta uma boa aproximação para vazões baixas, até porque não há vazões medidas abaixo de 0,0032 metros para o posto 58300000 e abaixo de 0,2706 metros para o posto 58305001.

3. Resultados e Discussão

A partir dos dados de perímetro molhado e vazão para cada cota obtidos em AutoCAD, foi possível a elaboração de um gráfico “Perímetro Molhado vs. Vazão”. O primeiro ponto de inflexão consistente da curva é considerado para determinação da vazão ecológica recomendada pelo Método do Perímetro Molhado. As Figuras 10 e 11 representam essas curvas para as estações localizadas em Barra Mansa e Volta Redonda, respectivamente.

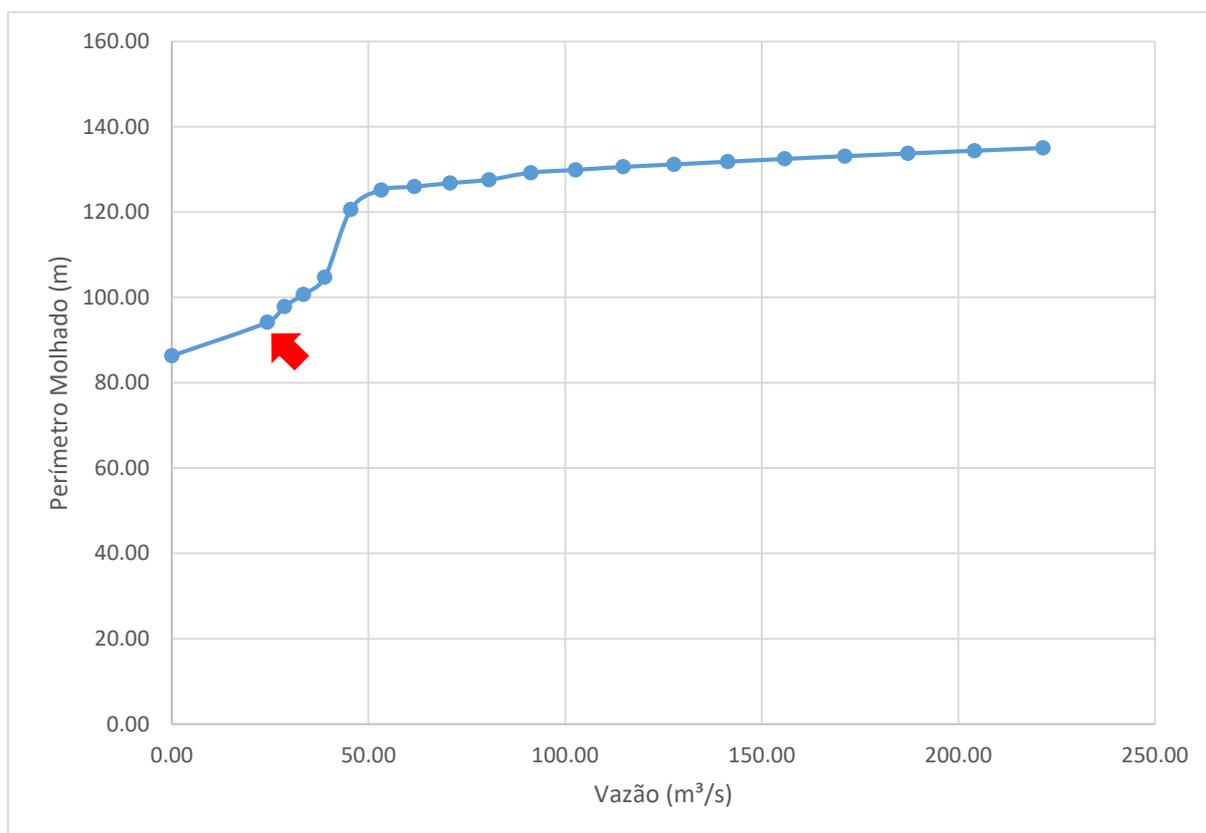


Figura 10: Gráfico Perímetro Molhado x Vazão utilizado na determinação da vazão ecológica pelo Método do Perímetro Molhado para a estação 58300000, localizada em Barra Mansa

A curva representada pela Figura 10 apresenta o primeiro ponto de inflexão consistente onde há uma mudança brusca na tendência do gráfico. Esse ponto indica a vazão ecológica recomendada pelo Método do Perímetro Molhado e ocorre na vazão 24,28 m³/s.

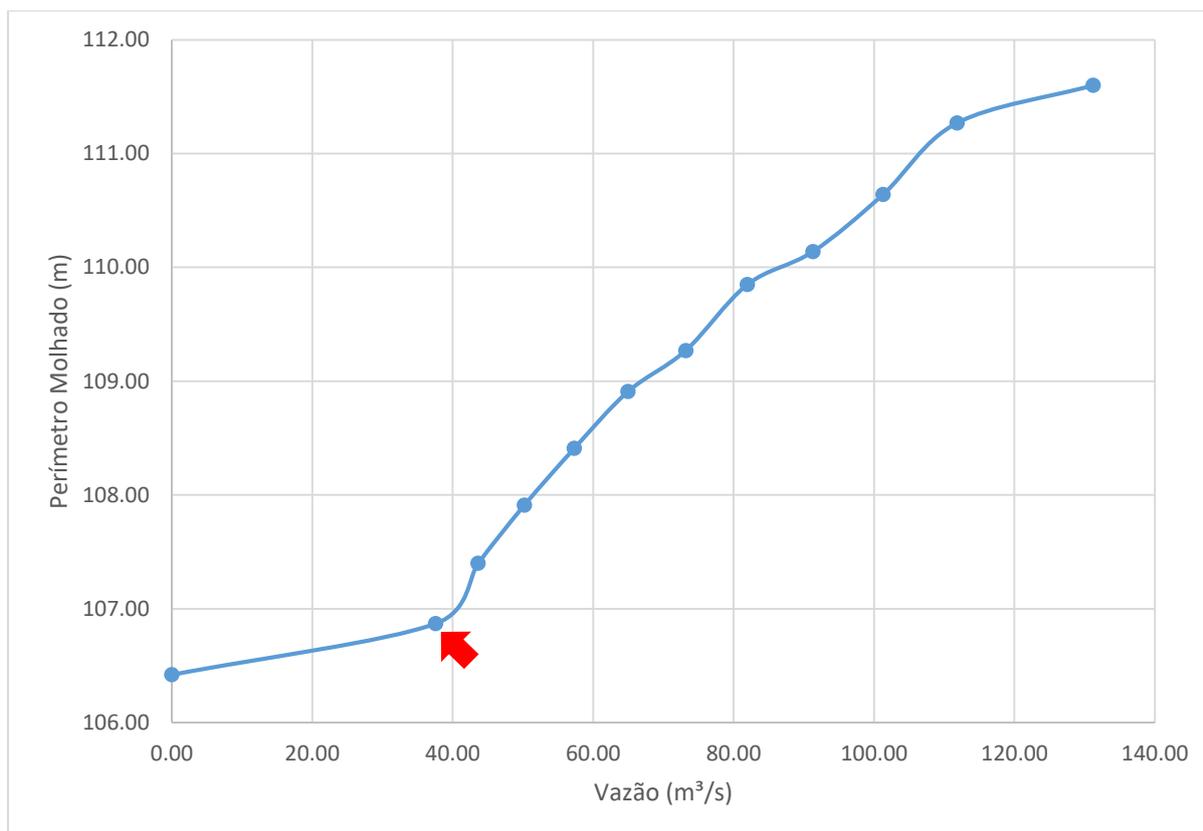


Figura 11: Gráfico Perímetro Molhado x Vazão utilizado na determinação da vazão ecológica pelo Método do Perímetro Molhado para a estação 58305001, localizada em Volta Redonda

A curva representada pela Figura 11 apresenta o primeiro ponto de inflexão consistente onde há uma mudança brusca na tendência do gráfico. Esse ponto indica a vazão ecológica recomendada pelo Método do Perímetro Molhado e ocorre na vazão 37,58 m³/s.

A fim de proporcionar uma abordagem mais detalhada sobre a avaliação dos valores obtidos nas vazões ecológicas, foi realizada uma análise da vazão de máxima outorgável (VMO) adotada pela Agência Nacional de Águas (ANA), uma vez que o rio Paraíba do Sul é um rio federal. A VMO representa 70% da Q_{95} (vazão que está presente 95% do tempo no rio). O estudo foi desenvolvido utilizando os dados de séries históricas de vazões de cada estação fluviométrica.

A Q_{95} calculada para a estação 58300000, localizada em Barra Mansa, resultou em 126 m³/s e a VMO em 88,2 m³/s. Já para a estação 58305001, localizada no município de Volta Redonda, a Q_{95} resultou em 121 m³/s e a VMO em 84,7 m³/s.

4. Conclusões e Recomendações

O estudo apresentado foi desenvolvido no trecho médio do rio Paraíba do Sul, a jusante do aproveitamento hidrelétrico de Funil, no município de Resende, e a montante da transposição das águas do rio Paraíba do Sul para a bacia do rio Guandu, em Santa Cecília.

Foi feita uma avaliação das vazões ecológicas, a partir do Método do Perímetro Molhado, em duas seções deste trecho a saber, Barra Mansa e Volta Redonda. As vazões ecológicas resultantes foram 24,28 m³/s para Barra Mansa e 37,58 m³/s para Volta Redonda.

À título de comparação foram calculadas as vazões máximas outorgáveis definidas pela Agência Nacional de Águas em rios federais em ambos os locais e os resultados foram 88,2 e 84,7 m³/s, respectivamente.

Dos resultados, pode-se inferir que no trecho em questão, o rio Paraíba do Sul está, como era de se esperar, sob influência da regra de operação da UHE Funil e, neste caso, as vazões defluentes do aproveitamento são superiores à condição que o rio teria se não houvesse o aproveitamento hidrelétrico.

Para estudos futuros, recomenda-se que esta avaliação seja verificada também em outros trechos do rio Paraíba do Sul, preferencialmente a jusante dos demais aproveitamentos hidrelétricos. Recomenda-se também a revisão da aplicação das curvas-chaves para vazões mínimas.

5. Referências Bibliográficas

- Agência Nacional de Águas, 2017a. *Estudos Auxiliares para a Gestão do Risco de Inundações - Bacia do Rio Paraíba do Sul*.
Disponível em: <http://gripbsul.ana.gov.br/>
[Acesso em 10 Fev. 2017].
- Agência Nacional de Águas, 2017b. *Sala de Situação - Bacia do rio Paraíba do Sul*.
Disponível em:
<http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/saladesituacao/v2/RioParaibadoSul.aspx>
[Acesso em 24 Mar. 2017].
- Agência Nacional de Águas, 2017c. *Portal Hidroweb*.
Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/default.asp>
[Acesso em 18 02 2017].
- BENETTI, A. D., LANNA, A. E. & COBALCHINI, M. S., 2003. Metodologias para Determinação de Vazões Ecológicas em Rios. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Volume 8, pp. 149-160.
- CEIVAP, 2017. *Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul*.
Disponível em: <http://www.ceivap.org.br/>
[Acesso em 10 Fev. 2017].
- FURNAS, 2017. *Sistema Furnas de geração e transmissão*.
Disponível em: http://www.furnas.com.br/hotsites/sistemafurnas/usina_hidr_funil.asp
[Acesso em 28 Abr. 2017].
- GIPPEL, C. J. & STEWARDSON, M. J., 1998. Use of Wetted Perimeter in Defining Minimum Environmental Flows. *Regulated Rivers: Research & Management*, Volume 14, pp. 53-67.
- HORA, M. A. G. M., 2008. Metodologia para Compatibilização da Geração de Energia em Aproveitamentos Hidrelétricos com os Demais Usos dos Recursos Hídricos. Estudo de Caso: Bacia Hidrográfica do Rio Tocantins. *Tese (Doutorado em Engenharia Civil)*. Universidade Federal do Rio de Janeiro - Rio de Janeiro, p. 143.
- JACCON, G. e CUDO, K. J. *Curva-chave: Análise e Traçado*. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica. Brasília 1989, p.273, v. 1.
- LIGHT, 2012. *Light Energia*.
Disponível em: <http://www.light.com.br/grupo-light/Empresas-do-Grupo/light-energia.aspx>
[Acesso em 23 Mar. 2017].
- MARENGO, J. A. & ALVES, L. M., 2005. Tendências Hidrológicas da Bacia do Rio Paraíba do Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia*, Volume 20, pp. 215-226.
- Ministério do Meio Ambiente, 2010. Enfoque Ecosistêmico Aplicado à gestão dos recursos hídricos. *41 Reunião da Câmara Técnica de Controle e Qualidade Ambiental*.

OLIVEIRA, F. J. G., 2013. Eletrificação e formação do patrimônio territorial da Light na cidade do Rio de Janeiro e no Médio Vale do Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Econômica*, Volume 3, pp. 1-20.

PARKER, G. W., ARMSTRONG, D. S. & RICHARDS, T. A., 2004. Comparison of Methods for Determining Streamflow Requirements for Aquatic Habitat Protection at Selected Sites on the Assabet and Charles Rivers, Eastern Massachusetts, 2000-02. *U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2004-5092*, p. 72.

PAULO, R. G. F., 2007. Ferramentas para Determinação de Vazão Ecológica em Trechos de Vazão Reduzida: Destaque para Aplicação do Método do Perímetro Molhado no Caso de Capim Branco I. *Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos)*, Universidade Federal de Minas Gerais - Belo Horizonte, p. 97.

ROCHA, G. C., 2017. Determinação da curva-chave em estação fluviométrica localizada no rio Guapiaçu, região leste da bacia da Baía de Guanabara. *Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil)*. Escola de Engenharia, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, p. 60.

SOUSA, D. V. R., 2010. Vazão Ambiental em Belo Monte: Análise do Estudo de Impactos Ambientais e Aplicação do Método do Perímetro Molhado para Comparação Crítica. *Universidade Federal do Rio de Janeiro - Rio de Janeiro*.

Apêndice A

Resumo de Medição de Descarga para a estação UHE Funil Jusante 2 (código: 58300000) a partir do ano 2000, obtido no portal Hidroweb da Agência Nacional de Águas

Registro ID	Nível Consist	Data	Hora	Número Medição	Cota (cm)	Vazão (m ³ /s)	Área Molhada (m ²)	Largura (m)	Velocidade Média (m/s)	Profundidade (m)
826	2	04/01/2000	11:30	69005	294	450	470.17	143.8	0.956	3.26
827	2	11/01/2000	8:55	69006	397	780	668.3	147.1	1.166	4.54
828	2	23/02/2000	8:30	69007	245	342	416.83	141	0.819	2.95
829	2	27/04/2000	8:00	69008	214	266	367.61	141	0.724	2.6
830	2	11/07/2000	8:26	69009	197	219	334.12	136.5	0.655	2.44
835	2	15/10/2001	13:21	69014	184	195	315.77	131.94	0.618	2.39
836	2	07/01/2002	15:00	69015	199	227	332.9	127.39	0.681	2.61
837	2	15/04/2002	13:24	69016	196	226	341.01	136.76	0.662	2.49
838	2	15/07/2002	15:28	69017	184	188	312.99	135.66	0.599	2.3
839	2	07/10/2002	15:17	69018	177	174	271.26	130.77	0.64	2.07
840	2	07/01/2003	13:33	69019	199	227	342.81	135	0.661	2.53
841	2	07/01/2003	16:07	69020	194	205	331.79	135	0.616	2.45
842	2	22/04/2003	9:55	69021	185	208	332.45	136	0.626	2.44
843	2	22/04/2003	11:42	69022	184	193	325.47	136	0.593	2.39
844	2	08/07/2003	9:01	69023	188	201	320.26	126.61	0.628	2.52
845	2	21/08/2003	9:12	69024	169	165	296.08	133.15	0.556	2.22
846	2	21/08/2003	13:38	69025	166	162	294.29	134.8	0.552	2.18
847	2	07/10/2003	9:50	69026	165	154	296.76	135	0.517	2.19
848	2	07/10/2003	13:30	69027	163	147	284.08	133	0.518	2.13
849	2	07/01/2004	8:44	69028	164	159	295.84	137.32	0.537	2.15
850	2	27/02/2004	10:34	69029	382	701	587.93	140.2	1.192	4.19
851	2	28/02/2004	13:27	69030	379	702	582.41	144.15	1.205	4.04
852	2	29/02/2004	12:16	69031	363	655	573.21	140.41	1.142	4.08
853	2	01/03/2004	9:53	69032	353	623	567.33	139.65	1.098	4.06
854	2	21/04/2004	8:30	69033	276	426	476.01	142.7	0.895	3.33
855	2	21/04/2004	10:54	69034	269	397	449.24	142.7	0.883	3.14
856	2	07/07/2004	13:55	69035	160	156	298	130	0.521	2.29
857	2	08/07/2004	9:02	69036	159	152	295.96	130	0.512	2.27
858	2	23/10/2004	13:58	69037	176	178	315.5	134	0.563	2.35
859	2	23/10/2004	15:50	69038	176	182	316.68	134	0.575	2.36
860	2	04/01/2005	7:00	69040	203	228	342.62	135	0.665	2.53
861	2	04/01/2005	7:00	69039	209	256	357.52	135	0.716	2.64
862	2	01/04/2005	7:00	69042	213	256	365.53	136	0.7	2.68
863	2	01/04/2005	7:00	69041	214	263	371.13	136	0.709	2.72

864	2	07/07/2005	7:00	69043	189	206	337.99	134	0.609	2.52
865	2	07/07/2005	7:00	69044	189	209	340.63	134	0.614	2.54
866	2	21/10/2005	7:00	69045	171	169	304.46	132.4	0.556	2.29
867	2	21/10/2005	7:00	69046	171	157	305.32	132.4	0.514	2.3
868	2	10/01/2006	7:00	69047	205	245	357.96	135.8	0.685	2.63
869	2	10/01/2006	7:00	69048	205	243	353.32	135.8	0.687	2.6
870	2	10/01/2006	9:40	69047	205	245	358	135.8	0.685	2.63
871	2	10/01/2006	11:32	69048	205	243	353.32	135.8	0.687	2.6
872	2	22/04/2006	7:00	69049	201	236	354.13	133	0.665	2.66
873	2	22/04/2006	7:00	69050	201	231	352.45	133	0.656	2.65
874	2	22/04/2006	8:45	69049	201	236	354.13	133	0.665	2.66
875	2	22/04/2006	10:50	69050	201	231	352.45	133	0.656	2.65
876	2	15/07/2006	7:00	69051	194	224	337.45	133.3	0.663	2.53
877	2	15/07/2006	7:00	69052	194	215	343.2	133.3	0.626	2.57
878	2	15/07/2006	9:20	69051	194	224	337.45	133.3	0.663	2.53
879	2	15/07/2006	11:19	69052	194	215	343.2	133.3	0.626	2.57
880	2	28/10/2006	7:00	69053	191	214	333.94	131.4	0.639	2.54
881	2	28/10/2006	7:00	69054	192	214	337.44	131.4	0.633	2.56
882	2	28/10/2006	8:17	69053	191	214	333.94	131.4	0.639	2.54
883	2	28/10/2006	9:52	69054	192	214	337.44	131.4	0.633	2.56
884	2	20/01/2007	7:00	69055	195	229	338.62	134	0.676	2.52
885	2	20/01/2007	7:00	69056	195	215	324.93	134	0.661	2.42
886	2	20/01/2007	8:39	69055	195	229	338.62	134	0.676	2.52
887	2	20/01/2007	10:50	69056	195	215	324.93	134	0.661	2.42
888	2	26/05/2007	7:00	69057	193	218	335.73	132	0.649	2.54
889	2	26/05/2007	7:00	69058	193	220	334.48	132	0.656	2.53
890	2	27/09/2007	7:00	69059	181	186	320.2	133	0.581	2.4
891	2	27/09/2007	7:00	69060	181	180	324.48	133	0.555	2.43
892	2	15/12/2007	7:00	69061	189	204	328.1	132	0.622	2.48
893	2	15/12/2007	7:00	69062	191	208	332.8	132	0.625	2.52
894	2	13/03/2008	7:00	69063	310	509	506.8	144	1.005	3.51
895	2	13/03/2008	7:00	69064	300	488	486.9	142	1.002	3.42
896	2	30/03/2011	11:15	69080	316	578.027	509.73	138	1.134	3.6937
897	2	30/03/2011	13:12	69081	308	516.141	496.85	138	1.0388	3.6004
898	2	29/06/2011	10:20	69082	199	237.955	341.82	134	0.6961	2.5509
899	2	29/06/2011	13:00	69083	199	237.248	339.82	134	0.6982	2.536
900	2	21/09/2011	11:50	69084	219	298.028	371.52	134.5	0.8022	2.7622
901	2	21/09/2011	13:40	69085	217	302.554	380.635	134.5	0.7949	2.83
902	2	05/12/2011	14:47	69086	209	274	411	124.7	0.666	3.3
903	2	05/03/2012	15:22	69087	211	265	401	123.3	0.661	3.25
904	2	19/06/2012	10:45	69088	204	244.623	337.68	132.9	0.7244	2.5409
905	2	19/06/2012	12:17	69089	202	239.475	339.831	132.9	0.7047	2.557
906	2	21/09/2012	11:15	69090	186	207.14	318.32	133	0.6507	2.3934
907	2	21/09/2012	13:07	69091	186	210.48	324.91	133	0.6478	2.4429
908	2	07/12/2012	10:20	69092	198	218	340	135	0.64	2.52

909	2	07/12/2012	11:57	69093	198	215.669	334.92	135	0.6439	2.4809
472	1	02/03/2016	10:00	69111	218	315.338	360.21	134.4	0.8754	2.6801

Resumo de Medição de Descarga para a estação Volta Redonda (código: 58305001) a partir do ano 2000, obtido no portal Hidroweb da Agência Nacional de Águas

Registro ID	Nível Consist	Data	Hora	Número Medição	Cota (cm)	Vazão (m³/s)	Área Molhada (m²)	Largura (m)	Velocidade Média (m/s)	Profundidade (m)
649	2	22/01/2000	7:00	288	274	394	407.3	118	0.967	3.45
650	2	24/05/2000	7:00	289	203	251	340.7	117.3	0.738	2.9
651	2	05/08/2000	7:00	290	190	222	322.6	117	0.687	2.76
652	2	15/10/2000	10:40	291	217	265	353.7	117	0.749	3.02
653	2	27/01/2001	12:30	292	216	267	350.1	117	0.763	2.99
654	2	16/07/2001	15:30	293	192	228	325.1	117	0.702	2.78
655	2	21/10/2001	11:05	294	220	258	356.43	117	0.724	3.05
656	2	31/01/2002	12:10	295	355	542	519.95	120	1.042	4.33
657	2	31/05/2002	14:30	296	173	187.56	313.73	117	0.598	2.68
658	2	23/08/2002	14:10	297	165	172.47	299.59	116	0.576	2.58
659	2	28/11/2002	14:40	298	174	188.49	315.56	117	0.597	2.7
660	2	25/02/2003	18:40	299	168	181.9	310.45	117	0.586	2.65
661	2	03/07/2003	18:10	300	162	168	303.4	117	0.554	2.59
662	2	24/09/2003	18:00	301	148	148	285.3	116	0.519	2.46
663	2	04/07/2004	15:15	302	145	142.6	281.4	116	0.507	2.43
664	2	26/09/2004	12:45	303	175	181.1	323.8	117	0.559	2.77
665	2	05/12/2004	13:15	304	165	168.79	306.76	117	0.55	2.62
666	2	25/08/2005	13:00	305	179	194.79	327.09	117	0.596	2.8
320	1	29/07/2006	16:30	306	209	251.62	360.39	117	0.698	3.08
321	1	04/06/2007	16:45	307	194	236.076	341.87	116	0.691	2.95
322	1	06/10/2007	17:00	308	173	191.47	314.76	115	0.608	2.74
323	1	18/04/2008	12:45	309	257	334.748	403.86	122	0.829	3.31
324	1	22/06/2008	12:25	310	177	187.983	310.21	116.5	0.606	2.66
325	1	31/10/2008	12:35	311	196	234.72	351.92	120	0.667	2.93
326	1	31/07/2009	17:20	312	191	228.47	338.36	115.5	0.675	2.93
327	1	06/11/2009	12:00	313	264	356.94	415.07	118	0.86	3.52
328	1	14/02/2010	12:22	314	345	520.893	502.48	120	1.0366	4.1873
329	1	09/06/2010	15:15	315	198	227.633	346.61	117	0.6567	2.9625
330	1	15/09/2010	11:25	316	195	224.287	340.208	117	0.6593	2.9078
331	1	30/11/2010	11:15	317	195	219.945	334.163	117	0.6582	2.8561
332	1	20/03/2011	12:30	318	313	469.266	481.249	119	0.9751	4.0441
333	1	02/07/2011	16:40	319	192	216.253	343.141	117	0.6302	2.9328
334	1	07/10/2011	15:45	320	195	219.107	335.26	111	0.6535	3.0204

335	1	16/03/2012	12:57	321	276	372.181	430.958	114	0.8636	3.7803
336	1	26/05/2012	13:45	222	197	233.379	341.303	112	0.6838	3.0473
337	1	26/05/2012	13:45	322	197	233	341	112	0.684	3.05
338	1	10/08/2012	13:05	323	201	229.028	329.223	112	0.6957	2.9395
339	1	05/11/2012	11:20	234	190	207.759	335.28	112	0.6197	2.9936
340	1	05/11/2012	11:20	324	190	208	335	112	0.62	2.99
341	1	16/03/2013	17:05	325	257	334.724	403.178	114	0.8302	3.5366
342	1	24/06/2013	13:07	326	193	222.468	337.765	112	0.6586	3.0158
343	1	09/10/2013	16:45	327	184	211.6	328.95	112	0.6433	2.9371
344	1	29/11/2013	15:07	328	194	270.041	335.385	114	0.8052	2.942
345	1	22/03/2014	11:30	329	178	187.363	316.228	112	0.5925	2.8235
346	1	13/06/2014	16:40	330	169	175.515	315.31	112	0.5566	2.8153
347	1	13/10/2014	12:52	331	173	165.892	316.323	112	0.5244	2.8243
348	1	29/11/2014	10:33	332	169	155.96	297.8	112.77	0.524	2.64
349	1	24/03/2015	16:30	333	146	130.539	274.925	112	0.4748	2.4547
350	1	28/06/2015	11:55	334	151	160.357	260.225	116.8	0.6162	2.228
351	1	24/10/2015	12:05	335	136	104.009	268.018	111	0.3881	2.4146
352	1	20/01/2016	11:25	336	455	779.46	627.06	120.03	1.24	5.22
353	1	25/03/2016	10:48	337	211	253.68	347.2	113.15	0.731	3.07
354	1	04/07/2016	12:23	338	128	118.569	254.978	111.22	0.465	2.292
355	1	17/08/2016	14:51	339	128	118.3	256.345	108.6	0.462	2.36
356	1	07/09/2016	16:10	340	125	115.966	256.98	110.15	0.451	2.33
357	1	03/12/2016	15:38	341	160	176.998	305.375	114.25	0.58	2.67