

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Instituto de Ciências Agrárias
Especialização em Recursos Hídricos e Ambientais

Anna Paula Almeida do Vale

**ANÁLISE DE PLUVIOSIDADE E CURVA-CHAVE NA BARRAGEM CODORNAS
NO RIO DO PEIXE EM NOVA LIMA, MINAS GERAIS**

Montes Claros, MG

2023

Anna Paula Almeida do Vale

**ANÁLISE DE PLUVIOSIDADE E CURVA-CHAVE NA BARRAGEM CODORNAS
NO RIO DO PEIXE EM NOVA LIMA, MINAS GERAIS**

Trabalho apresentado ao Programa de Especialização em Recursos Hídricos e Ambientais, na Universidade Federal de Minas Gerais Campus Montes Claros, Instituto de Ciências Agrárias, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Especialista em Recursos Hídricos e Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Flávio Pimenta

Montes Claros, MG

2023

Vale, Anna Paula Almeida do.

V149a
2023 Análise de pluviosidade e curva-chave na barragem Codornas no Rio do Peixe em Nova Lima, Minas Gerais [manuscrito]/ Anna Paula Almeida do Vale. Montes Claros, 2023.
48f.: il.

Monografia (especialização) - Área de concentração em Recursos Hídricos e Ambientais. Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Ciências Agrárias.

Orientador: Flávio Pimenta de Figueiredo.

Banca examinadora: Flávio Pimenta de Figueiredo, Flávio Gonçalves Oliveira, Luiz Henrique de Souza.

Inclui referências: f. 46-48

1. Gestão ambiental. 2. Usinas hidrelétricas. 3. Águas pluviais. 4. Precipitação (Meteorologia). 5. Pluviômetros. I. Figueiredo, Flávio Pimenta de. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Agrárias. III. Título.

CDU: 556.123



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
ESPECIALIZAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTAIS

FOLHA DE APROVAÇÃO

ANÁLISE DA PLUVIOSIDADE E CURVA-CHAVE NA BARRAGEM CODORNAS LOCALIZADA NO RIO DO PEIXE EM NOVA LIMA,
MINAS GERAIS

ANNA PAULA ALMEIDA DO VALE

Trabalho Final de Curso de Especialização (TFCE) submetido à Comissão de Avaliação designada pela Comissão de Coordenação do curso de Especialização em Recursos Hídricos e Ambientais, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Recursos Hídricos e Ambientais.

TFCE aprovado em vinte e um de dezembro de 2023 pela comissão de avaliação constituída pelos membros:

Flávio Pimenta de Figueiredo
Orientador - ICA/UFMG

Flavio Gonçalves Oliveira
Avaliador - ICA/UFMG

Luiz Henrique de Souza
Avaliador - ICA/UFMG

Montes Claros, data da assinatura eletrônica.

Dalton Rocha Pereira
Coordenador de Pós-graduação *Lato Sensu*



Documento assinado eletronicamente por **Dalton Rocha Pereira, Coordenador(a) de curso de pós-graduação**, em 28/12/2023, às 09:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2932698** e o código CRC **E6F22C98**.

RESUMO

A legislação brasileira determina que a gestão dos recursos hídricos deve ser baseada nos usos múltiplos e descentralizado da água, levando em conta seus diversos usos e a participação da sociedade e do governo nas decisões sobre esse recurso. Considerando que as centrais hidrelétricas são empreendimentos que provocam diversos impactos ambientais incluindo mudanças no comportamento hídrico seja no próprio regime hidrológico à montante e/ou jusante, no curso do rio ou nas interferências no transporte de sedimentos, tem-se que essa temática demanda e exige maiores estudos no que se diz respeito a forma como é realizada a gestão desses recursos hídricos. Dessa forma, o presente trabalho visa aprimorar a visão a respeito das ferramentas de gestão de recursos hídricos com ênfase na aplicação do Relatório Anual de Monitoramento Hidrológico exigido para as concessionárias energéticas através da Resolução Conjunta ANA/ANEEL N° 03, de 10 de agosto de 2010 revogada pela Resolução Conjunta ANA/ANEEL N° 127, de 26 de julho de 2022, abordando o histórico de monitoramento da estação com análise pluviométrica e da consistência dos dados com elaboração da respectiva curva-chave de descarga líquida e relação da Cota x Área x Volume (CAV), uma ferramenta exigida para usinas com 10 anos ou mais de operação. Portanto, é apresentado os dados de uma estação específica de monitoramento nomeada como PCH E-Nova localizada a jusante da barragem Codornas.

Palavras-chave: Gestão Hídrica; Centrais hidrelétricas; Consistência de dados de chuva, cota e vazão; Curva-chave; Curva Cota x Área x Volume; Pluviosidade; Curva de Dupla-Massa.

ABSTRACT

Brazilian legislation determined that the management of water resources must be based on the multiple and decentralized uses of water, considering its various uses and the participation of Society and the government in decisions about this resource. Considering that hydroelectric plants are enterprises that cause various environmental impacts, including changes in water behavior, whether in the upstream or downstream hydrological regime, in the course of the rivers or in the interferences in the transport of sediments, this theme demands and requires further studies regarding the way in which the management of these water resource is carried out. In this way, this work aims to improve the vision regarding the water resources management tools with emphasis on the application of the Annual Hydrological Monitoring Report required for energy concessionaires through the ANA/ANEEL Joint Resolution N° 03, of August 10, 2010 revoked by the ANA/ANEEL Joint Resolution N° 127, of July 26, 2022, addressing the history of the monitoring station with rainfall and analyzing the consistency of the data with the elaboration of the respective key curve of net discharge and the Quota x Area x Volume (CAV) ratio, a tool required for plants with 10 years of operation or more. Therefore, data from a specific monitoring station named PCH E-Nova located downstream of the Codorna dam are presented.

Keywords: Water management; Hydroelectric plants; Data consistency of rainfall, elevation and flow; Liquid discharge key curve; Curve Quota x Area x Volume (CAV); Rainfall; Double mass curve.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa bacia hidrográfica Rio do Peixe MG.....	21
Figura 2 - Localização esquemática das estações utilizadas como base para consistência dos dados pluviométricos da estação 41193000.....	25
Figura 3 - Localização das seções de controle do reservatório em análise da Cota x Área x Volume – Estação Código 56675080.....	38

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Equações para consistência de dados pluviométricos utilizando três metodologias para preenchimento de falhas.....	14
Quadro 2 - Ficha técnica da estação código 56675080 para análise da curva Cota x Área x Volume.....	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Registros de falhas diárias levantadas para o período de 2015 a 2021...	23
Tabela 2 - Total pluviométrico das estações base durante os dias de falhas da estação 41193000 e o valor adotado para consistência, calculado por regressão linear entre as estações.	26
Tabela 3 - Valores adotados para a consistência dos dados diários limnimétricos da estação 41193000.....	31
Tabela 4 - Relação cota-descarga transmitidas e utilizadas para exemplificação da determinação da curva-chave de descarga líquida para a estação 41193000.	33
Tabela 5 - Características da Curva-chave	34
Tabela 6 - Coordenadas batimétricas do reservatório da estação 56675080 para análise da curva Cota x Área x Volume	37
Tabela 7 - Resumo da relação Cota x Área x Volume - UHE.....	38

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E REFERENCIAL TEÓRICO	10
2. MATERIAIS E MÉTODOS	12
3. REFERENCIAL TEÓRICO	13
3.1 Caracterização de uma Bacia Hidrográfica	13
3.2 Dados pluviométricos e as metodologias de consistência dos mesmos.....	13
3.2.1 Verificação da consistência dos dados pluviométricos	15
3.3 Dados fluviométricos e sua consistência	15
3.3.1 Construção da curva-chave de descarga líquida.....	16
3.4 Relação Cota x Área x Volume do reservatório e sua funcionalidade	17
3.4.1 Construção da curva Cota x Área x Volume.....	18
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	20
4.1 Caracterização e descrição da bacia hidrográfica – Estação Código 41193000 20	
4.2 Aplicação da metodologia de análise e consistência dos dados pluviométricos de uma estação de monitoramento.....	22
4.3 Aplicação da metodologia de análise e consistência dos dados fluviométricos de uma estação	30
4.4 Aplicação da construção de uma curva-chave para uma estação de monitoramento	32
4.5 Aplicação da construção de uma curva Cota x Área x Volume de um dado reservatório	35
4.5.1 Avaliação da curva Cota x Área x Volume e informações implícitas..	40
5. CONCLUSÃO	42
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
7. REFERÊNCIAS	45

1. INTRODUÇÃO E REFERENCIAL TEÓRICO

Um dos maiores desafios da hidrologia é conhecer adequadamente o comportamento dos processos hidrológicos e as suas ferramentas de gestão para real aplicação. O Brasil possui atualmente um conjunto de ações para regular e controlar o uso das águas que visa a proteção desse recurso de forma a preservá-lo tanto em quantidade como em qualidade.

A Política Nacional de Recursos Hídricos traz consigo o Plano Nacional de Recursos Hídricos, que compete a ANA – Agência Nacional de Águas – a sua elaboração. A ANA defende que a eficiência do uso da água é um assunto de grande importância entre os órgãos gestores desse recurso em todo o país, sendo que esse uso racional da água é uma meta a se alcançar utilizando de ações de planejamento e da gestão dos recursos hídricos.

Especificamente em relação as centrais hidrelétricas, teve-se por muito tempo o conceito de que a geração de energia hidrelétrica não causava impactos ambientais negativos ao meio ambiente, no entanto, diversas pesquisas já demonstraram que esse conceito é errôneo e que este tipo de geração de energia antes tido como “energia limpa” causa inúmeros impactos ambientais negativos desde a sua construção até o seu funcionamento (INATOMI & UDAETA, 2011).

Portanto, o presente trabalho terá como base a análise dos dados disponibilizados pelo Sistema Nacional de Informações sobre os Recursos Hídricos através do sistema de gestão e análise dos dados do monitoramento hidrológico em tempo real adotando uma estação de monitoramento previamente escolhida. Dessa forma, a itemização abordada servirá de modelo para eventuais aplicações bem como análise da gestão realizada em cima dos dados obtidos e incluirão:

- Caracterização e descrição da bacia hidrográfica
- Metodologias de consistência de dados pluviométricos e fluviométricos;
- Construindo uma curva-chave de descarga líquida;
- Relação Cota x Área x Volume do reservatório e sua funcionalidade;
- Resultados e discussão do estudo.

Essa aplicação de dados hidrológicos em séries históricas e demais estudos consiste, especificamente para centrais hidrelétricas, na análise de dados monitorados com base em alguns indicadores que proporcionam a possibilidade de desenvolver estudos e alcançar os resultados desejados (ANA, s.d). Assim,

é possível estabelecer as condições e os procedimentos a serem observados pelos concessionários e autorizados de geração de energia hidrelétrica para instalação, operação e manutenção de estações hidrométricas visando ao monitoramento pluviométrico, limnimétrico, fluviométrico, sedimentométrico e de qualidade da água associado ao aproveitamento hidrelétrico. (ANA/ANEEL, 2010).

Sendo as hidrelétricas responsáveis pela maior geração de energia no Brasil, a análise dos sistemas de monitoramento das mesmas diante as diversas ferramentas disponíveis, considera-se de suma importância para o setor bem como para preservação e manejo dos recursos diante de diversos cenários, incluindo as crises hídricas eventuais no país nos períodos de seca além do controle do volume útil dos reservatórios e acompanhamento do processo de assoreamento dos mesmos devido ao barramento existente.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a elaboração deste trabalho foi necessário, além do referencial teórico a base de dados disponibilizados no Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos através do sistema de gestão e análise dos dados do monitoramento hidrológico em tempo real de uma determinada estação, sendo utilizado como metodologia a pesquisa desses dados de monitoramento hídrico realizados em centrais hidrelétricas e posteriormente utilização dos mesmos para aplicação e análise da consistência, abordando ainda os possíveis métodos de consistência.

Dessa forma, serão abordados os seguintes temas imprescindíveis para a elaboração do Relatório Anual de Monitoramento Hídrico em atendimento à resolução ANA/ANEEL:

- Caracterização da Bacia Hidrográfica
- Banco de dados pluviométricos e metodologia de consistências dos mesmos
- Banco de dados fluviométricos e construção da curva-chave de descarga líquida
- Relação da curva Cota x Área x Volume de um reservatório

Assim, pode-se concluir que este trabalho é uma pesquisa que traz o lado descritivo, mas também exploratório quando é aplicado exemplos de determinados itens correspondentes a gestão hídrica e levantamento de dados fazendo do trabalho um estudo de caso.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Caracterização de uma Bacia Hidrográfica

A Bacia hidrográfica é a unidade territorial base para análise de todo o ciclo hidrológico em meio terrestre, o que torna sua caracterização de suma importância e permite um melhor entendimento do comportamento hidrológico dessa bacia, principalmente em ocorrência de eventos extremos (UFPR, s.d.).

3.2 Dados pluviométricos e as metodologias de consistência dos mesmos

É considerado como pluviometria pela meteorologia, qualquer tipo de fenômeno que relaciona a queda de água do céu, incluindo neve, chuva ou granizo, sendo a precipitação pluviométrica aquela correspondente a ocorrência de chuvas, uma parte importante do ciclo hidrológico por ser a responsável por retornar à maior parte de água doce ao planeta (INMET, 2015).

A aquisição de dados pluviométricos de boa qualidade para se ter uma série histórica coerente é um desafio dentro da hidrologia, mesmo com a simplicidade que as medições utilizadas possuem. O objetivo de se ter uma estação para medições de dados de chuva é para obter uma série ininterrupta de precipitações ao longo dos anos que servirão para entendimento a respeito da recorrência de eventos de chuva, estudos complementares e até mesmo para o estudo da variação da intensidade das chuvas ao longo das tormentas.

Por se tratar de muitos dados dependentes de equipamentos tecnológico ou de um operador/leiturista, existe a possibilidade de ocorrer falhas em alguns períodos ou a coleta e registro de dados se mostrarem incoerentes. Isso se dá por diversos motivos e por isso é essencial que antes de analisar a consistência de tais dados é necessário saber o método de aquisição dos mesmos bem como dos aparelhos, lugares de instalação e até mesmo da personalidade do observador, se for o caso (TUCCI, CARLOS E. M.).

Dessa forma, os dados pluviométricos devem passar por consistência para só depois serem utilizados em estudos complementares. O primeiro passo para a

preparação desses dados é a identificação e devida correção de erros grotescos o que poderia ser tratado como uma análise preliminar dos dados. Em seguida, poderão aparecer lacunas que devem ser preenchidas seguindo um dos três métodos listados abaixo, sendo:

- Método de ponderação regional: normalmente utilizado para preenchimento de falhas mensais ou anuais de precipitação utilizando no mínimo três estações com dados completos para realizar a consistência e preenchimento dos dados de outra estação que apresente as falhas;
- Método de regressão linear: considerado o mais aprimorado no qual utiliza da regressão linear simples ou múltipla para correlacionar as falhas pluviométricas de um posto de monitoramento com algum outro próximo
- Método de ponderação regional com base em regressões lineares: que como o próprio nome já diz, é uma combinação dos dois métodos anteriores.

O Quadro 1 a seguir apresenta as equações utilizadas em cada um dos tipos de métodos de consistências citados acima.

Quadro 1 - Equações para consistência de dados pluviométricos utilizando três metodologias para preenchimento de falhas

Método	Equação	Parâmetros
Ponderação Regional	$y = \frac{1}{3} \left[\frac{y_m}{x_{m1}} + \frac{y_m}{x_{m2}} + \frac{y_m}{x_{m3}} \right]$	<ul style="list-style-type: none"> • y = precipitação do posto Y a ser estimada; • x₁, x₂ e x₃ = precipitações correspondentes ao mês ou ao ano que se deseja preencher, observadas em três estações vizinhas; • y_m = precipitação média do posto Y; • x_{m1}, x_{m2} e x_{m3} = as precipitações médias nas três estações circunvizinhas.
Regressão Linear	$y_{ci} = a_0 \cdot x_{1i} + a_1 \cdot x_{2i} + \dots + a_{n-1} \cdot x_{ni} + a_n$ <p style="text-align: center;">ou</p> $y_{ci} = a_0 \cdot x_{1i}^{a1} \cdot x_{2i}^{a2} \cdot x_{3i}^{a3} \dots \cdot x_{ni}^{an}$	<ul style="list-style-type: none"> • n = número de postos considerados; • a₀, a₁ ..., a_n = coeficiente a serem estimados; • x_{1i}, x_{2i}, ..., x_{ni} = as observações registradas nos postos vizinhos

Método	Equação	Parâmetros
Ponderação Regional com base em Regressões Lineares	$W_{xj} = r_{yxj} \int (r_{yx1} + r_{yx2} + \dots + r_{yxn})$ <p>Que para achar o valor a ser preenchido no posto da falha pluviométrica tem-se que</p> $y^c = x_1 \cdot W_{x1} + x_2 \cdot W_{x2} + \dots + x_n \cdot W_{xn}$	<ul style="list-style-type: none"> • W_{xj} = fator de peso entre os postos Y e X_j; • r_{yxj} = o coeficiente de correlação entre os postos citados • n = o número total de postos vizinhos considerados.

3.2.1 Verificação da consistência dos dados pluviométricos

Para a verificação da análise da consistência dos dados pluviométricos é comumente utilizado a curva de duplas massa. Essa análise deve ser realizada conforme descrito no Manual de Hidrologia sobre Curvas de Dupla Massa elaborado pelo *Geological Survey*, e consiste basicamente em, utilizando o software *Microsoft Excel* para facilitar os cálculos, fazer o acumulado das chuvas da estação em estudo ao longo dos anos e plotar os valores obtidos em um gráfico cuja abscissa será representada pelo valor médio dos acumulados nas estações que serviram de apoio para a consciência. Dessa forma, o acumulado ponto de apoio será representado como uma linha tracejada, enquanto o acumulado da estação em análise é plotado os valores anuais em formas de pontos.

O que define se a análise de consistência foi coerente é essa relação entre o acumulado da estação com o ponto de apoio, que devem ser o mais coincidente possível com R^2 o mais próximo de 1. No item 4.2 é apresentado um estudo de caso com aplicação da consistência dos dados pluviométricos e sua verificação através da curva de dupla massa.

3.3 Dados fluviométricos e sua consistência

A fluviometria é a área da hidrologia que estuda e trata das técnicas de medição de níveis d'água, velocidades e vazões dos rios com o objetivo de quantificar o regime dos mesmos caracterizando suas grandezas básicas e os diversos parâmetros e curvas representativas (WIKIPÉDIA, s.d.).

Diversos são os métodos para medir a descarga líquida de um curso hídrico sendo complexo conhecer diretamente a descarga em um dado instante, já que as medições são demoradas e caras. Dessa forma, para se conhecer a vazão ao longo do tempo é estabelecido uma relação ligando a altura do nível d'água com a vazão, já que é mais fácil medir a referida altura. Ou seja:

“O conhecimento dessa relação (curva-chave) permite substituir a medição contínua de descargas líquidas por uma medição contínua das cotas (níveis de água).” (TUCCI, CARLOS E. M., 1993)

Sendo assim, para a análise do banco de dados fluviométricos deverá ser levado em consideração os dados de cota registrados pela estação em estudo, realizar sua consistência e aí aplicar a devida equação da curva-chave para chegar à descarga líquida.

3.3.1 Construção da curva-chave de descarga líquida

Tucci (2013) afirma que para estabelecer a curva-chave de descarga líquida em um curso hídrico existem vários métodos que podem ser classificados em duas categorias:

- Os métodos teóricos, que usam as equações gerais de hidráulica;
- Os métodos experimentais que estabelecem a curva-chave a partir de vários pares de cotas/descarga medidos experimentalmente com uma distribuição, preferencialmente, regular.

A relação de cota e descarga líquida de uma seção permite calcular a descarga que corresponde a uma dada altura de água. Relação essa determinada pela representação aproximada do traçado da curva de calibragem, feita a partir dos resultados das medições apoiadas nos parâmetros de escoamento.

A relação cota-descarga (h/Q) pode ser representada por trechos sucessivos ou em sua totalidade através de equações matemáticas, sendo que as mais utilizadas de acordo com Tucci (2013) são:

a) Forma exponencial: (1)

$$Q = a(h - h_0)^n$$

Onde Q é a vazão, h é a cota da água em metros e a e n são constantes determinadas para um local.

b) Forma polinomial: (2)

$$Q = a_0 + a_1h + a_2h^2 + \dots + a_nh^n$$

Considerando a forma exponencial de representação da curva-chave determinada pela relação da cota e vazão, alguns parâmetros devem ser levados em consideração (ANA - Agência Nacional de Águas), sendo:

- Desvio médio absoluto de até 10%;
- Coeficiente n com valores entre: $1,3 < n < 1,9$;
- Limite das medições acima e abaixo da curva aceitáveis de 30% - 70% ou 70% - 30%, devendo estar o mais próximo de 50% - 50%;
- Distribuição uniforme da correlação cota-descarga das medições em relação ao Desvio x Cota e Desvio x Tempo

3.4 Relação Cota x Área x Volume do reservatório e sua funcionalidade

A capacidade de armazenamento de um dado reservatório bem como a área de seu espelho d'água são dadas por equações matemáticas que correlacionam seus parâmetros com seu nível (ou cota). Essa correlação e equações são comumente chamadas de Cota x Área x Volume (KUHNNEN, 2020).

Conforme Matos (2012), os reservatórios são considerados filtros de sedimentos, o que, por sua vez, contribuem com o seu assoreamento. Dessa forma, a relação da curva CAV (Cota x Área x Volume) se torna indispensável para a definição de normas operacionais do reservatório, análises de disponibilidade e demandas existentes, além de determinar o volume do reservatório para o devido controle de cheias e abastecimento de água.

Diante tal cenário, a Resolução Conjunta ANA/ANEEL 127/2022 determina que

Art. 8º Para empreendimento hidrelétrico despachado centralizadamente pelo ONS, no processo de assoreamento do reservatório deverá ser avaliado as suas tabelas de Cota x Área x Volume atualizadas, observando-se as seguintes preconizações:

I - O primeiro ciclo de avaliação do processo de assoreamento do reservatório com a respectiva atualização das tabelas Cota x Área x Volume será realizado ao se completar 10 anos do início da operação comercial do empreendimento hidrelétrico; II - Os ciclos subsequentes acontecerão, se necessário, tomando-se como referência a análise do processo de assoreamento por meio de seções de controle instaladas no reservatório, em conformidade com as diretrizes estabelecidas pela ANA no seu endereço virtual.

Sendo a ANA a responsável pela verificação dos estudos batimétricos realizados pelas concessionárias bem como sua fiscalização.

Além da Resolução Conjunta Nº 03/2010, revogada pela Resolução 127/2022, a Agência Nacional das Águas publicou o documento “Orientações para Atualização das Curvas Cota x Área x Volume” em dezembro de 2013, que estabeleceu procedimentos para o controle e monitoramento do processo de assoreamento de reservatórios, a serem adotados pelas concessionárias de energia elétrica, bem como as especificações técnicas mínimas a serem seguidas, sobre os trabalhos cartográficos e batimétricos que subsidiarão o atendimento à determinação.

3.4.1 Construção da curva Cota x Área x Volume

Seguindo as orientações contidas no Termo de Referência RHI – 17/2015, no Plano de Trabalho ECO/GA-587 RHI – 18/2016 e no documento “Orientações para Atualização das Curvas Cota x Área x Volume”, publicado pela ANA em dezembro de 2013, a elaboração de uma CAV inclui diversas atividades, dentre elas:

- Levantamento do contorno do reservatório – levantamento topobatimétrico;
- Mapeamento da área molhada do reservatório – levantamento batimétrico;
- Levantamento do Modelo Digital do Terreno – MDT

- Determinação das Seções de Controle.

Apenas após a realização das etapas acima que será possível obter os dados para a atualização e/ou elaboração de uma curva Cota x Área x Volume e, assim, avaliar o processo de assoreamento de um dado reservatório.

As curvas Cota x Área x Volume são obtidas a partir de uma rede de referência planimétrica, que se consolida na implantação de vértices para caracterizar o apoio geodésico planimétrico e altimétrico, o qual deve ter suas coordenadas planialtimétricas obtidas a partir do apoio geodésico planialtimétrico de 1° ordem (KUHLEN *apud* IBGE, 2017).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Resolução Conjunta ANA/ANEEL determina que estações hidrelétricas monitorem os dados pluviométricos, limnimétricos e fluviométricos das suas usinas através de estações de monitoramento que façam a coleta e transmissão dos dados de cota e vazão em tempo real sendo publicados no próprio sistema de gestão de disponibilização de dados da ANA – Agência Nacional de Águas.

Dessa forma, foram considerados os dados disponibilizados no Sistema Nacional de Informação sobre os Recursos Hídricos – SNIRH – a respeito de uma determinada estação cujo código ANA é 41193000/02043079, localizada no município de Nova Lima/MG, para desenvolvimento dos primeiros estudos e aplicação dos temas abordados no item 2 Materiais e Métodos a respeito da gestão desses dados hidrológicos que são monitorados e são a base para o Relatório Anual de Monitoramento em atendimento à Resolução ANA/ANEEL.

4.1 Caracterização e descrição da bacia hidrográfica – Estação Código 41193000

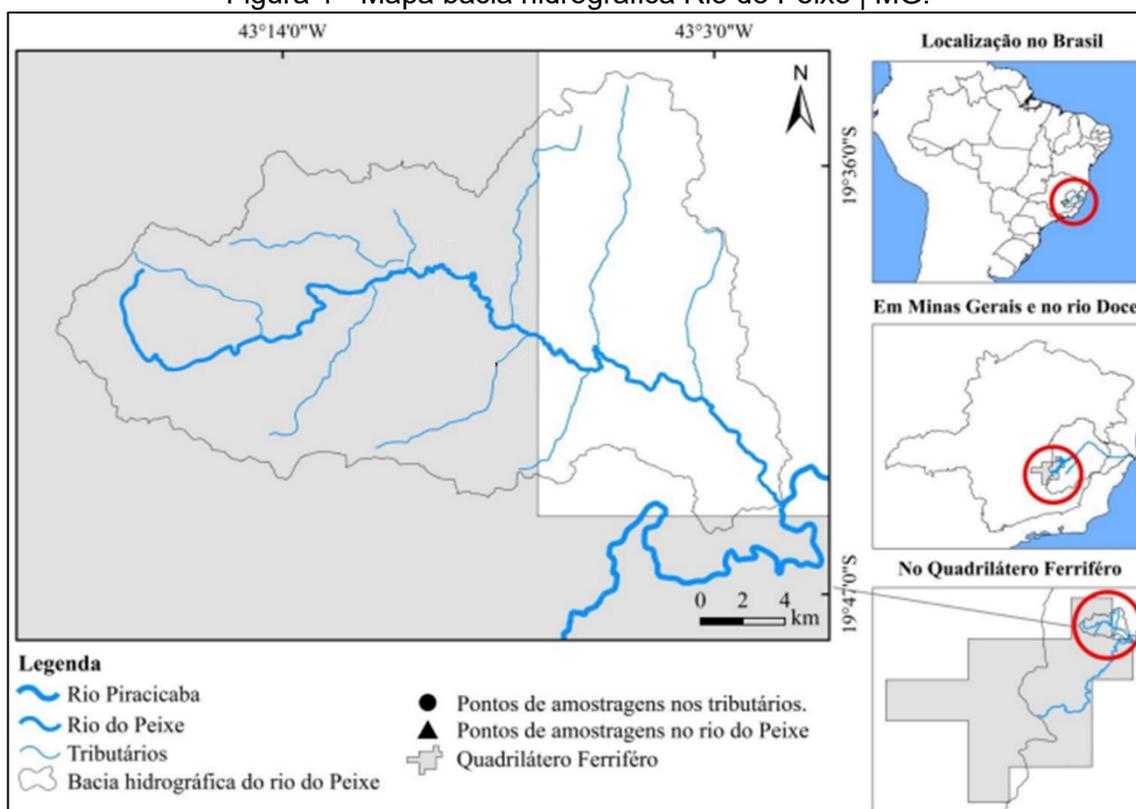
A estação 41193000/02043079 está localizada no Rio do Peixe no município de Nova Lima – MG que, segundo regulamentação adotada pela ANEEL, insere-se na Bacia 4, denominada Bacia do Rio São Francisco a mais extensa bacia hidrográfica do Brasil. Com uma extensão de 188km, o Rio do Peixe nasce na Serra Mantiqueira a uma altitude de 1300 metros, tendo sua bacia inserida na porção oeste da bacia hidrográfica do Rio Doce (NASCIMENTO, 2016).

O Rio do Peixe nasce no encontro do Ribeirão Capitão da Mata, que corre por 5,86 Km depois da Lagoa do Miguelão, com o Ribeirão Congonhas dos Marinheiros, que se estende por 4,44 Km desde a Lagoa das Codornas. Um nascimento modesto dentro no município de Rio Acima, pouco depois do alojamento chamado “Vila A”, antes da Usina Hidrelétrica G. Os dois córregos chegam em cursos reduzidos, que são acompanhados por grandes tubulações metálicas, onde um volume muito superior de água é transportado entre as usinas

Além de ser uma fonte de geração de energia elétrica para uso em atividades de mineração, o Rio do Peixe faz parte do plano de definição das captações de água para a Grande BH até 2050, o que torna ainda mais essencial o seu monitoramento como um todo. Dessa forma, o primeiro passo descritivo para um monitoramento hidrológico de um rio se diz respeito a delimitação da sua bacia hidrográfica e área de drenagem que servirão de base inicial para o entendimento das características e gestão ambiental local bem como no desenvolvimento de estudos e monitoramentos.

Sendo assim, pode-se observar na Figura 1 o mapa da bacia hidrográfica do Rio do Peixe elaborado utilizando o Modelo Digital de Elevação – MDE projetado no *Datum* WGS84 através do *Graph Modeling* definindo a hidrografia principal a ser estudada/delimitada.

Figura 1 - Mapa bacia hidrográfica Rio do Peixe | MG.



Fonte: Adaptado de Nascimento, 2022.

4.2 Aplicação da metodologia de análise e consistência dos dados pluviométricos de uma estação de monitoramento

Sendo assim, para análise e aplicação da consistência de dados pluviométricos, foi coletado do Sistema Hidro – Telemetria da ANA, os dados de chuva da estação 02043079 desde 2015 até o final de 2021, conforme disponibilizado. No entanto, as orientações da ANA é utilizar os registros coletados em cada estação, denominado *retriever*, que devem ser registrados desde a instalação da estação e, a cada relatório de monitoramento anual deve ser apresentado a série histórica completa de tais dados.

Os registros coletados no sistema da ANA são registrados/transmitidos a cada uma hora, contendo informações dos postos/estações de monitoramento que coletam chuva e cota registrada, bem como vazão calculada através da equação da calibragem (curva-chave). Dessa forma, para análise dos dados foram coletados aproximadamente 2.400 dados diários, que são aqueles passíveis e análise de consistência.

Em relação aos dados pluviométricos, para a consistência é realizado primeiramente a soma horária dos registros coletados e posteriormente verificado a sua consistência em relação aos valores discrepantes e/ou incoerentes e quanto a ausência dos registros, que para a análise em questão foram identificadas 133 falhas diárias que ocorreram entre os anos de 2015 e 2019, representando 5,6% dos dados coletados, e nenhum dado registrado com incoerência.

Essas falhas registradas são comumente ocasionadas por problemas com os equipamentos de monitoramento instalados que variam desde o local da instalação do equipamento que se feita de modo incorreto prejudica o equipamento, até mesmo a própria deterioração do equipamento ao longo do tempo que se não tiver manutenções constantes pode deixar de funcionar de forma satisfatória.

Para identificação e melhor ilustração, a Tabela 1 a seguir apresenta os dias de falhas nos registros brutos do posto de monitoramento da estação 02043079 e disponibilizado pelo Sistema de Telemetria da ANA.

Tabela 1 - Registros de falhas diárias levantadas para o período de 2015 a 2021.

| Data |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 24/11/2015 | 07/11/2017 | 25/11/2017 | 13/12/2017 | 13/03/2018 | 31/03/2018 | 22/02/2019 | 12/03/2019 |
| 23/01/2017 | 08/11/2017 | 26/11/2017 | 14/12/2017 | 14/03/2018 | 01/04/2018 | 23/02/2019 | 13/03/2019 |
| 24/01/2017 | 09/11/2017 | 27/11/2017 | 15/12/2017 | 15/03/2018 | 02/04/2018 | 24/02/2019 | 14/03/2019 |
| 23/10/2017 | 10/11/2017 | 28/11/2017 | 16/12/2017 | 16/03/2018 | 03/04/2018 | 25/02/2019 | 15/03/2019 |
| 24/10/2017 | 11/11/2017 | 29/11/2017 | 17/12/2017 | 17/03/2018 | 07/04/2018 | 26/02/2019 | 16/03/2019 |
| 25/10/2017 | 12/11/2017 | 30/11/2017 | 18/12/2017 | 18/03/2018 | 08/04/2018 | 27/02/2019 | 17/03/2019 |
| 26/10/2017 | 13/11/2017 | 01/12/2017 | 01/03/2018 | 19/03/2018 | 10/02/2019 | 28/02/2019 | 18/03/2019 |
| 27/10/2017 | 14/11/2017 | 02/12/2017 | 02/03/2018 | 20/03/2018 | 11/02/2019 | 01/03/2019 | |
| 28/10/2017 | 15/11/2017 | 03/12/2017 | 03/03/2018 | 21/03/2018 | 12/02/2019 | 02/03/2019 | |
| 29/10/2017 | 16/11/2017 | 04/12/2017 | 04/03/2018 | 22/03/2018 | 13/02/2019 | 03/03/2019 | |
| 30/10/2017 | 17/11/2017 | 05/12/2017 | 05/03/2018 | 23/03/2018 | 14/02/2019 | 04/03/2019 | |
| 31/10/2017 | 18/11/2017 | 06/12/2017 | 06/03/2018 | 24/03/2018 | 15/02/2019 | 05/03/2019 | |
| 01/11/2017 | 19/11/2017 | 07/12/2017 | 07/03/2018 | 25/03/2018 | 16/02/2019 | 06/03/2019 | |
| 02/11/2017 | 20/11/2017 | 08/12/2017 | 08/03/2018 | 26/03/2018 | 17/02/2019 | 07/03/2019 | |
| 03/11/2017 | 21/11/2017 | 09/12/2017 | 09/03/2018 | 27/03/2018 | 18/02/2019 | 08/03/2019 | |
| 04/11/2017 | 22/11/2017 | 10/12/2017 | 10/03/2018 | 28/03/2018 | 19/02/2019 | 09/03/2019 | |
| 05/11/2017 | 23/11/2017 | 11/12/2017 | 11/03/2018 | 29/03/2018 | 20/02/2019 | 10/03/2019 | |
| 06/11/2017 | 24/11/2017 | 12/12/2017 | 12/03/2018 | 30/03/2018 | 21/02/2019 | 11/03/2019 | |

Fonte: Sistema de Telemetria - ANA.

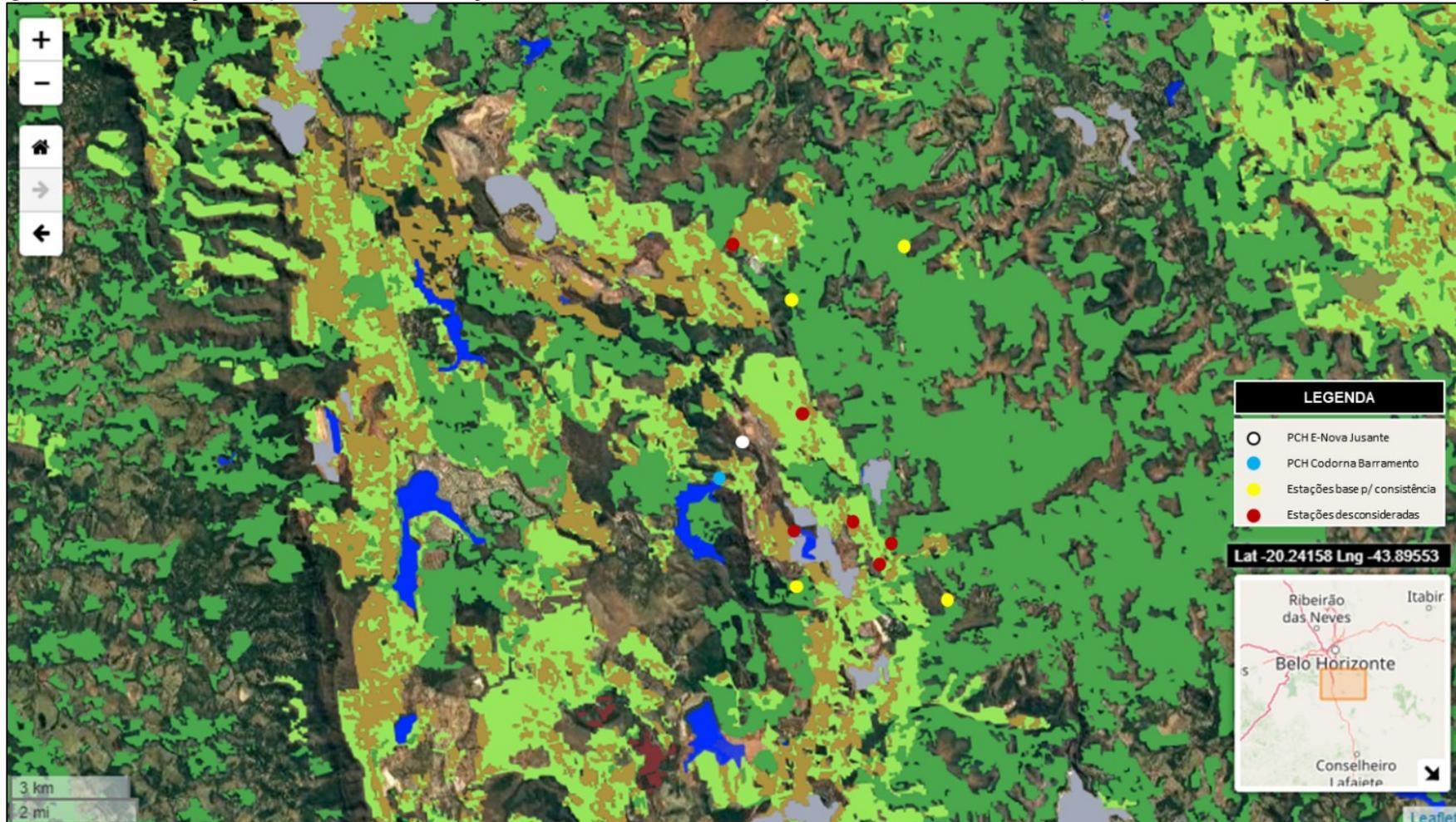
Após a identificação dos dias em que ocorreram as falhas dos dados pluviométricos, deve-se fazer a consistência deles, analisando os registros existentes e posteriormente preenchendo as falhas com prováveis dados. Para tanto, como citado anteriormente, existem três métodos de consistência dos dados e preenchimento das falhas: método de ponderação regional, de regressão linear e o que envolve ponderação regional com base em regressões lineares.

Por se tratar do preenchimento de falhas diárias, considerou-se o método de regressão linear múltipla como o de melhor aplicação. A regressão linear consiste na comparação dos dados de outros pontos de monitoramento em que houve os registros corretos e utilizar, através de equação de regressão apresentada no Item 3.2, os dados obtidos para preenchimento das falhas na série com os dados faltantes.

Dessa forma, foram identificados os outros postos de monitoramento próximos à estação 02043079 disponibilizados no Sistema de Telemetria da ANA e que poderiam ser utilizados para consistir em tais dados ausentes de forma a tentar se evitar uma sub ou superestimativa deles.

O mapa apresentado na Figura 2 a seguir possui a localização das estações consideradas para a análise e consistência dos dados pluviométricos da estação 02043079 durante o período analisado de 2015 a dezembro de 2021.

Figura 2 - Localização esquemática das estações utilizadas como base para consistência dos dados pluviométricos da estação 41193000.



Fonte: Adaptado de IDE-Sisema e HidroWeb, 2022

Pode-se observar na Tabela 2 a seguir apresenta os dados diários das estações que serviram de base para a consistência dos dados pluviométricos do posto em questão aplicando a metodologia da regressão linear múltipla, bem como o valor adotado para o preenchimento das falhas e sua devida consistência.

Tabela 2 - Total pluviométrico das estações base durante os dias de falhas da estação 41193000 e o valor adotado para consistência, calculado por regressão linear entre as estações.

Estação	Cód. 02043056	Cód. 02043060	Cód. 02043057	Cód. 01943148	Cód. 02043016	Estação 02043079
Data	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
01/02/2015	-	-	0,0	-	-	0,0
24/11/2015	-	-	0,5	-	-	0,2
23/01/2017	-	-	0,0	-	-	0,0
24/01/2017	-	-	0,5	-	-	1,0
23/10/2017	2,2	3,6	21,5	0	8,6	1,1
24/10/2017	0,2	0	0	0	0	0,0
25/10/2017	0	0	0	0,2	0	0,0
26/10/2017	0,4	5,6	5,25	0	0	0,5
27/10/2017	0,2	0,2	0,25	0	0	0,0
28/10/2017	27,6	32,8	28,75	29	40,6	23,0
29/10/2017	16,6	0	0	0,2	9,6	0,7
30/10/2017	0	5,4	2	0,2	1,2	0,3
31/10/2017	14	9	15,25	14,8	12,4	4,6
01/11/2017	1,4	1,4	1	0,6	1,2	0,1
02/11/2017	0	0,2	0	0,2	0,2	0,0
03/11/2017	0	0	0	0	0	0,0
04/11/2017	0	0	0	0	0	0,0
05/11/2017	3	0	0	1,2	0	0,1
06/11/2017	0,6	0	49,25	8,4	24,8	1,6
07/11/2017	0	0	0	0,2	0,2	0,0
08/11/2017	0,8	0	0	0	0	0,0
09/11/2017	9,6	5,4	6	5	4	0,6
10/11/2017	0,8	0,2	0,25	0	0,2	0,0
11/11/2017	3	8,2	7	26,4	11,8	1,1
12/11/2017	3	5,4	8,5	27,4	13,6	1,2
13/11/2017	0	0,2	0	0	0	0,0
14/11/2017	0	5,6	0,5	0	2,6	0,1
15/11/2017	0	0,2	0	0	0,2	0,0
16/11/2017	0	0	0	0	0,6	0,0
17/11/2017	0	1,6	2,75	0	0,4	0,1
18/11/2017	0,6	6,8	7,5	17,4	17,4	1,0

Estação	Cód. 02043056	Cód. 02043060	Cód. 02043057	Cód. 01943148	Cód. 02043016	Estação 02043079
Data	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
19/11/2017	51,4	37,6	34,75	46,6	79,8	11,5
20/11/2017	57	49,2	31,5	52,2	25,4	6,4
21/11/2017	5,6	8,8	6,25	14,8	10,2	0,8
22/11/2017	2	6,4	4,5	23	8,4	0,7
23/11/2017	12	15,4	16,5	12,2	12	1,4
24/11/2017	0,2	0	0	2,4	1,2	0,0
25/11/2017	0	1	2,25	6,2	0	0,1
26/11/2017	0,4	2,6	2	0,8	2,6	0,1
27/11/2017	0,4	0,2	0,25	0	0,4	0,0
28/11/2017	1,4	0,8	24,75	7,2	1,4	0,7
29/11/2017	0	4,8	1,75	3,8	16,2	0,3
30/11/2017	31,6	49,6	9,5	11,4	14,2	2,6
01/12/2017	52,8	83	44	29,2	40,8	20,8
02/12/2017	17	13,2	30,25	21,4	38,4	10,4
03/12/2017	32	14,6	16,75	24	27,8	9,1
04/12/2017	15,4	22,6	29,75	23,2	35,8	11,0
05/12/2017	20,4	2,8	3,75	1,2	1,2	1,5
06/12/2017	0,6	4,8	0,75	0	10,4	0,4
07/12/2017	0,2	0	0,25	1,4	0,6	0,0
08/12/2017	21	9,6	16,75	29,4	21,4	7,9
09/12/2017	3,2	15,6	1,5	33	0,8	1,5
10/12/2017	0,6	3	0	8	0	0,2
11/12/2017	29,8	6,2	19,5	41,2	53,4	20,9
12/12/2017	0	0,2	0	0	0,2	0,0
13/12/2017	0	0	0	0	1	0,0
14/12/2017	1	0,4	0	0	0,2	0,1
15/12/2017	7	7,2	0	0	1,2	0,8
16/12/2017	12,6	2,2	0,25	0	2,2	0,8
17/12/2017	0,2	0,2	0	0,2	0,2	0,0
18/12/2017	0	0	0	0	0	0,0
01/03/2018	-	-	0,25	0,2	0,2	0,0
02/03/2018	-	-	0	4,4	16,4	0,2
03/03/2018	-	-	6,75	10,8	1,4	0,3
04/03/2018	-	-	0	2	3,6	0,0
05/03/2018	-	-	1,5	16,8	1,2	0,1
06/03/2018	-	-	9	0	5	0,4
07/03/2018	-	-	20,25	33,4	31,6	4,5
08/03/2018	-	-	0	22,2	65,4	5,0
09/03/2018	-	-	29,75	42,8	19	4,0

Estação	Cód. 02043056	Cód. 02043060	Cód. 02043057	Cód. 01943148	Cód. 02043016	Estação 02043079
Data	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
10/03/2018	-	-	2,5	6,0	9,8	0,3
11/03/2018	-	-	13,25	21,8	11,8	1,4
12/03/2018	-	-	1,5	4,2	27,2	0,5
13/03/2018	-	-	0,25	5,2	1,2	0,0
14/03/2018	-	-	18,25	1,4	0,2	0,7
15/03/2018	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0
16/03/2018	-	-	12,0	17,8	14,6	1,4
17/03/2018	-	-	2,0	11,2	21,6	0,9
18/03/2018	-	-	7,0	1,2	15,2	0,3
19/03/2018	-	-	0,25	0,0	0,2	0,0
20/03/2018	-	-	1,0	9,6	1,8	0,1
21/03/2018	-	-	13,75	3,0	8,4	0,6
22/03/2018	-	-	46,0	9,0	7,8	2,1
23/03/2018	-	-	3,25	13	11,8	0,7
24/03/2018	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0
25/03/2018	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0
26/03/2018	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0
27/03/2018	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0
28/03/2018	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0
29/03/2018	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0
30/03/2018	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0
31/03/2018	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0
01/04/2018	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0
02/04/2018	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0
03/04/2018	-	-	0,0	2,0	0,0	0,0
07/04/2018	-	-	0,75	0,0	0,0	0,1
08/04/2018	-	-	5,25	0,0	0,0	0,8
10/02/2019	0,2	0,0	2,1	0,0	0,0	0,2
11/02/2019	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12/02/2019	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13/02/2019	38,2	43,6	16,5	72,6	31,4	27,2
14/02/2019	0,2	0,2	0,3	0,2	0,6	0,1
15/02/2019	0,8	2,2	9,9	5,8	6,0	1,3
16/02/2019	22,0	50,2	29,6	36,4	25,0	15,5
17/02/2019	19,8	14,6	22,8	42,2	35,2	17,2
18/02/2019	3,6	11,8	17,2	7,8	7,6	3,0
19/02/2019	1,4	22,2	3,7	4,4	2,8	2,0
20/02/2019	2,4	17,2	26,9	0,4	0,6	3,4
21/02/2019	13,0	3,8	5,4	19,6	17,2	4,8

Estação	Cód. 02043056	Cód. 02043060	Cód. 02043057	Cód. 01943148	Cód. 02043016	Estação 02043079
Data	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
22/02/2019	0,0	0,2	0,3	0,0	0,0	0,0
23/02/2019	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
24/02/2019	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
25/02/2019	0,0	2,6	0,8	0,0	0,0	0,2
26/02/2019	8,2	17,0	44,2	12,0	12,8	6,6
27/02/2019	2,6	4,6	0,3	0,6	1,2	0,6
28/02/2019	13,0	15,8	1,6	8,4	7,4	3,0
01/03/2019	2,4	24,0	9,3	3,2	0,0	7,7
02/03/2019	32,4	8,2	9,6	19,6	11,0	34,8
03/03/2019	0,0	0,2	0,0	0,2	0,2	0,0
04/03/2019	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
05/03/2019	0,2	7,4	1,4	0,0	5,4	1,7
06/03/2019	0,4	14,2	1,8	0,4	0,0	3,1
07/03/2019	0,2	0,2	4,5	0,0	0,0	1,4
08/03/2019	0,0	0,0	9,8	0,0	0,0	2,9
09/03/2019	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,1
10/03/2019	24,2	5,6	8,8	0,2	0,0	13,8
11/03/2019	8,6	26,4	5,5	11,2	4,0	13,2
12/03/2019	0,2	0,4	0,0	0,0	0,0	0,2
13/03/2019	0,4	12,0	14,6	15,8	2,0	8,9
14/03/2019	0,2	0,2	7,8	0,2	0,0	2,4
15/03/2019	4,2	21,2	0,3	1,8	4,8	6,1
16/03/2019	0,4	0,8	0,0	1,4	0,2	0,3
17/03/2019	0,0	24,0	0,0	22,4	22,0	42,7
18/03/2019	0,4	0,2	0,0	6,2	0,4	0,4
09/11/2021	-	4,8	0,75	0,0	0,0	2,5
10/11/2021	-	9,2	9,5	0,0	12,8	11,6
11/22/2021	-	30	26,5	-	40,2	114,3
12/11/2021	-	16,8	29,5	-	32,8	65,5
13/11/2021	-	0,0	0,0	59,6	0,0	0,0
14/11/2021	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15/11/2021	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

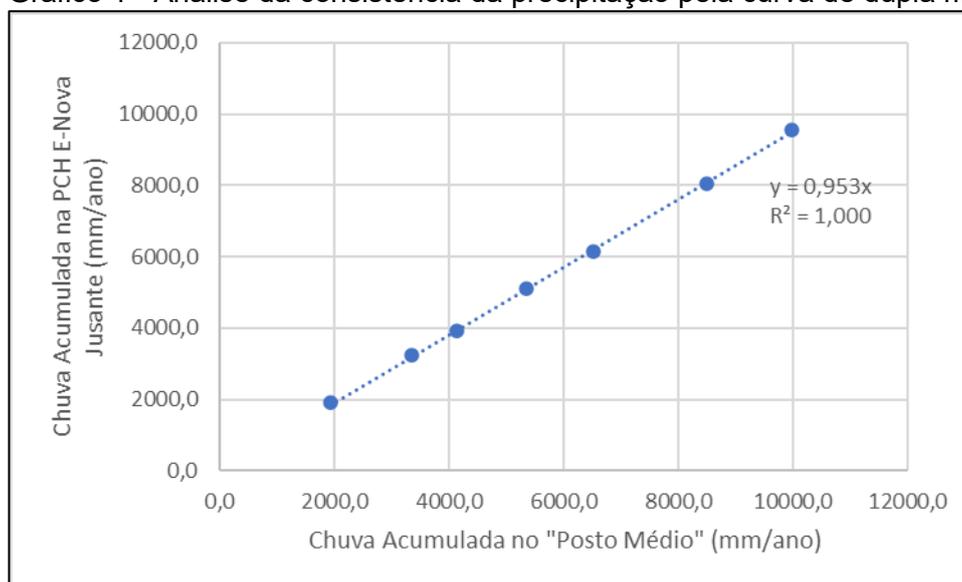
Fonte: Adaptado de SNITH: Sistema Hidro – Telemetria – Série Histórica, 2022.

Após esse preenchimento das falhas diárias foi realizada a verificação da consistência desses dados pluviométricos através da aplicação da curva de dupla massa, considerada a metodologia mais usual, que consiste na comparação dos

dados pluviométricos dessa estação com um ponto de apoio, conforme descrito no Item 3.2.1.

Pode-se observar no Gráfico 1 a análise de dupla massa para a estação 02043079 com as estações de apoio utilizando o software *Microsoft Excel* para realização do acumulado bem como traçado do gráfico no qual é possível evidenciar que a consistência dos dados se encontra pertinente com um R^2 bem próximo a 1,0 o valor ideal por indicar uma homogeneidade dos dados analisados.

Gráfico 1 - Análise da consistência da precipitação pela curva de dupla massa



Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

4.3 Aplicação da metodologia de análise e consistência dos dados fluviométricos de uma estação

Para exemplificação, foi utilizado os dados de cota e vazão disponibilizados pelo Sistema Hidro – Telemetria da ANA para acesso aos dados transmitidos pela estação 41193000 no período de 2015 a 2021. Através desses dados, foi possível identificar que não houve falhas na transmissão dos mesmos correspondentes aos anos de 2016 a 2020 e apenas 1 falha ao longo do ano de 2015 e 7 falhas diárias para o ano de 2021.

Pode-se observar na Tabela 3 a seguir os dias em que houveram falhas na transmissão dos dados de cota e vazão da estação 41193000 para o período de 2015

a 2021, bem como o valor, metodologia e justificativa para o preenchimento da falha e consequente consistência.

Tabela 3 - Valores adotados para a consistência dos dados diários limnimétricos da estação 41193000.

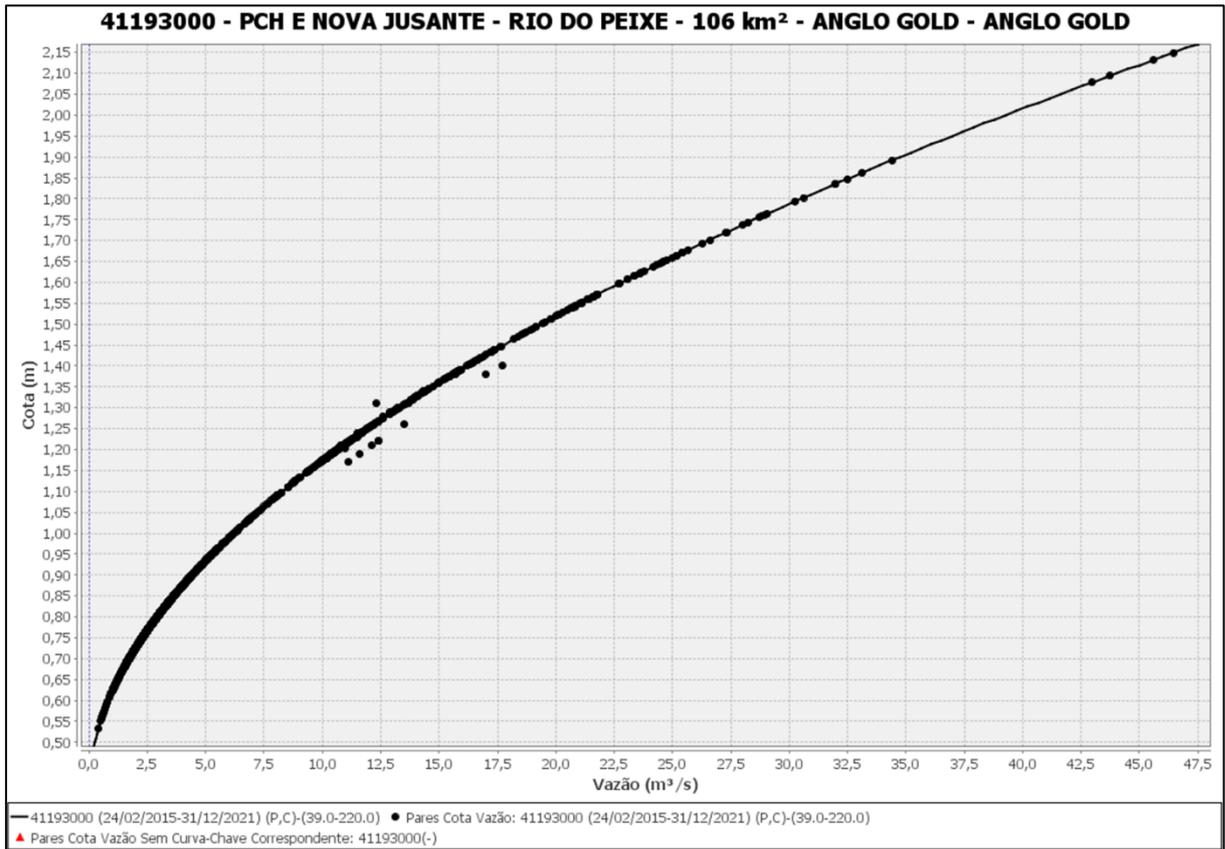
Data	Pluviosidade total do dia (mm)	Cota transmitida da estação de apoio (PCH Codornas Barramento) (m)	Cota adota (m)	Análise
24/11/2015	0,2	1192,41	0,80	Por se tratar de uma falha isolada, é considerado pertinente a adoção da média do nível do dia anterior com o dia seguinte para preenchimento e consistência do dado, uma vez que não houve precipitação significativa que poderia levar a uma maior alteração da cota.
09/11/2021	2,5	1195,77	1,22	A consistência para essas falhas levou em consideração a variação das cotas transmitidas pela estação de apoio, bem como possível interferência da pluviosidade no local.
10/11/2021	11,6	1195,72	1,17	
11/11/2021	114,3	1195,76	1,21	
12/11/2021	65,5	1195,95	1,40	
13/11/2021	0,0	1195,93	1,38	
14/11/2021	0,0	1195,81	1,26	
15/11/2021	0,0	1195,77	1,22	

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

É importante destacar a necessidade de apresentar a ANA a análise feita para a consistência do dado limnimétrico e qual o raciocínio e metodologia adotado, conforme pode ser visto na última coluna da Tabela 3 acima.

A partir da consistência dos dados limnimétricos tem-se a série histórica validada para os dados de cota para a estação de monitoramento, sendo cabível a elaboração e aplicação da curva de descarga líquida para consistência dos dados referente as vazões. Pode-se observar no Gráfico 2 a relação cota x vazão para os dados transmitidos da estação 41193000.

Gráfico 2 - Relação cota x vazão da estação 41193000 para o período em análise de 2015 a 2021.



Fonte: Adaptado Estação 41193000, 2015 a 2021.

Certamente, a análise das cotas e vazões de uma estação de monitoramento deve ainda incluir uma verificação dos dados transmitidos através da aferição em campo com as medições de descarga líquida. Assim é possível identificar a veracidade dos dados por estatística, bem como analisar possíveis erros tanto na curva-chave de descarga líquida estabelecida como nos equipamentos instalados na estação.

4.4 Aplicação da construção de uma curva-chave para uma estação de monitoramento

Como mencionado anteriormente, a elaboração da curva-chave de descarga líquida é baseada em medições empíricas realizadas em campo. No entanto, tais dados não se encontram disponibilizados e para que seja aplicada a construção a curva-chave modelo e objeto do desenvolvimento do presente trabalho, serão

utilizados alguns dados diários de transmissão da estação 41193000 pela consistência realizada no Item 4.3, sendo eles resumidos na Tabela 4 a seguir.

Tabela 4 - Relação cota-descarga transmitidas e utilizadas para exemplificação da determinação da curva-chave de descarga líquida para a estação 41193000.

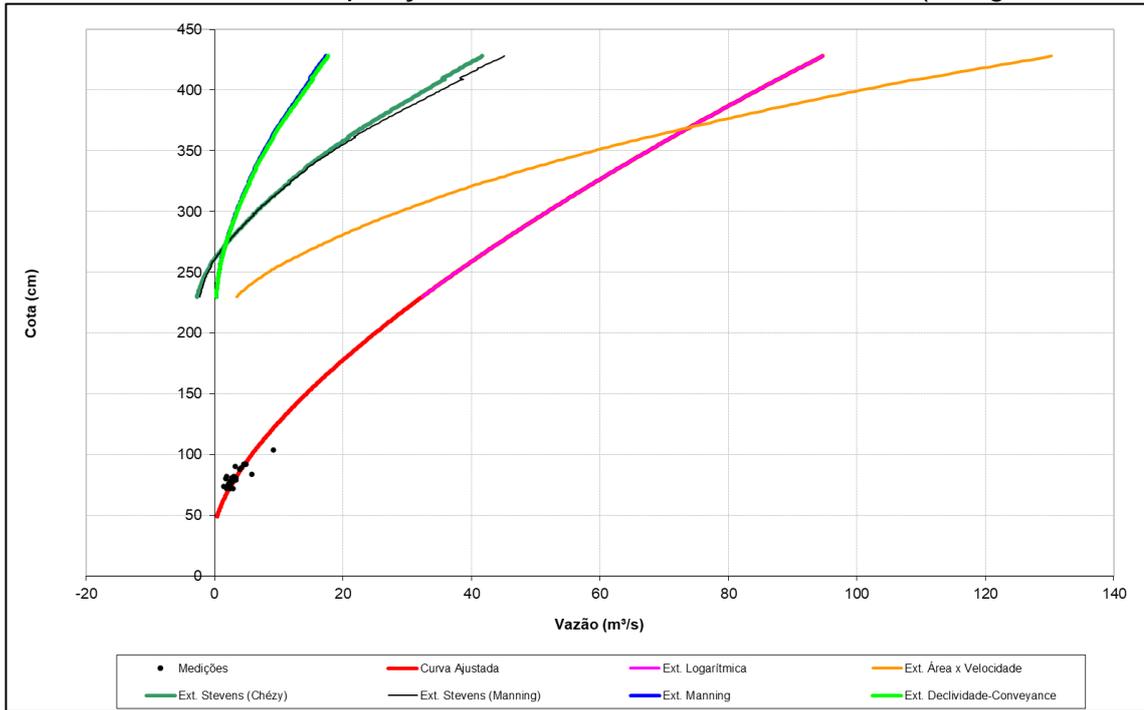
Data	Cota transmitida (cm)	Vazão transmitida (m³/s)	Data	Cota transmitida (cm)	Vazão transmitida (m³/s)
24/02/2015	77	3,0	07/08/2018	74	2,2
25/05/2015	75	2,8	05/11/2018	79	2,9
23/07/2015	76	2,9	04/02/2019	82	3,3
20/11/2015	89	4,8	05/05/2019	74	2,2
17/02/2016	74	2,6	02/08/2019	72	2,1
20/05/2016	86	4,3	31/10/2019	79	2,9
17/08/2016	81	3,5	02/02/2020	105	7
13/11/2016	72	2,4	28/04/2020	89	4,3
14/02/2017	79	3,3	28/07/2020	79	2,9
13/05/2017	69	2	26/10/2020	78	2,7
14/08/2017	75	2,8	23/01/2021	81	3,1
20/12/2017	77	2,9	23/04/2021	81	3,1
08/02/2018	81	3,5	22/07/2021	82	3,25
11/05/2018	90	4,3	20/10/2021	91	4,59

Fonte: Adaptado SNIRH, 2022.

A partir da planilha de análise de curva-chave disponibilizado pelo *Software* SiADH 2.0 da ANA, devem ser analisadas a distribuição dos dados acima, considerados como as medições em tempo, cota e volume bem como definida a menor variância e demais critérios para consistência, tais como o valor do coeficiente “n” e a calibração da curva com desvios satisfatórios.

Devem ser então analisados três métodos para a extrapolação da curva-chave da estação e definida de qual metodologia de extrapolação representaria as vazões dessa estação. Em relação à estação 41193000, após análises e ajustes da curva-chave, identificou-se que o método exponencial é o que melhor se adequa aos dados de monitoramento em análise (Gráfico 3) por ser o que melhor apresentou continuidade à curva-chave traçada para a estação, sendo este considerado como o de consistência dos dados e de determinação da vazão.

Gráfico 3 - Métodos de extrapolação da curva-chave da PCH 41193000 (Código 41193000).



Fonte: Adaptado Estação 41193000, 2015 a 2021.

Dessa forma, a curva-chave para a estação 41193000 analisada, consistida e extrapolada pelo método logaritmo foi expressa pela equação a seguir.

$$Q = 12,123 (H - 0,387)^{1,511}$$

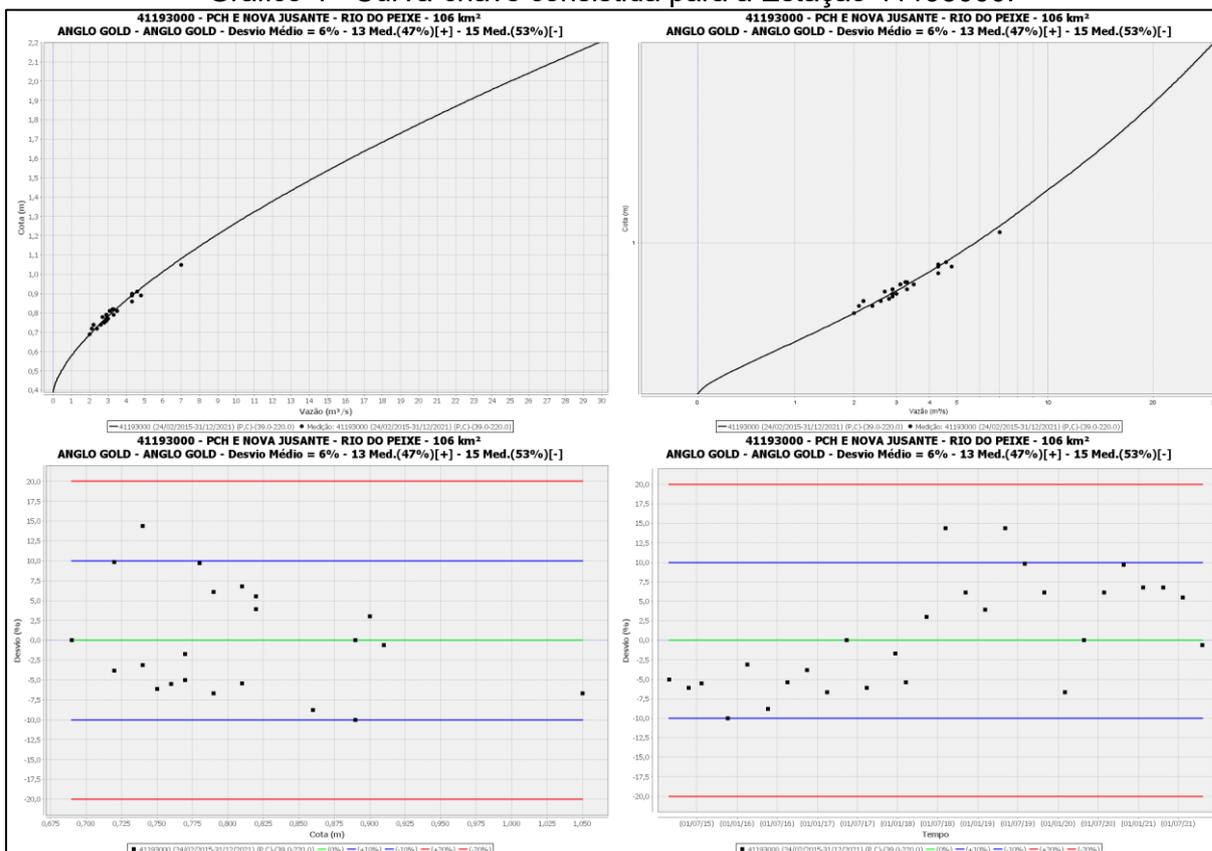
A curva traçada apresentou parâmetros coerentes com o exigido pela Agência Nacional de Água seja no Desvio x Tempo como no Desvio x Cota além do coeficiente “n” e distribuição dos pares de pontos (Cota x Vazão) que ficaram o mais próximo de 50%-50% para calibração da curva, conforme apresenta a Tabela 5 com os parâmetros e dados da equação enquanto o Gráfico 4 e vidência o traçado da curva chave obtida bem como os desvios das medições.

Tabela 5 - Características da Curva-chave

Resumo das Principais Características da Curva-Chave								
Estação	Tipo de Curva	Equação - Coeficientes			Intervalo de Cotas (cm)		Validade	Desvio Absoluto Médio (%)
		a	h0	n	Min.	Max.		
41193000	EQUAÇÃO	12.143067	0.3869766	1.5106326	39.0	220.0	24/02/2015 – 31/12/2021	6

Fonte: Adaptado do SIADH - Estação 41193000, 2015 a 2021

Gráfico 4 - Curva-chave consistida para a Estação 41193000.



Fonte: Adaptado SiADH - Estação 41193000, 2015 a 2021.

Através da análise do Gráfico 4 acima ainda é possível perceber que apenas uma medição representada pelo ponto preto, extrapolou o limite do desvio em relação a cota (gráfico a esquerda no canto inferior) enquanto apenas duas medições extrapolaram o limite em relação ao tempo (gráfico a direita no canto inferior). Associando essas análises gráficas com os parâmetros da curva obtida, pode-se considerar sua consistência em relação aos dados da estação de monitoramento.

4.5 Aplicação da construção de uma curva Cota x Área x Volume de um dado reservatório

O empreendimento abordado nos itens anteriores deste trabalho não possui ainda estudo de assoreamento do reservatório no sistema de recursos hídricos, dessa forma, foi determinada outra central hidrelétrica para elaboração e análise da curva Cota x Área x Volume e servir de estudo de caso para o trabalho.

Seguindo as orientações técnicas do manual da agência reguladora, bem como utilizados os dados e planilha de atualização das curvas CAV correspondentes a uma UHE cujo dados estão disponibilizados pelo sistema de metadados do SNIRH é apresentado a ficha técnica da UHE escolhida (Código 56675080) no Quadro 2 cujos dados foram disponibilizados pelo SNIRH e utilizados para elaboração e análise da curva Cota x Área x Volume.

Quadro 2 - Ficha técnica da estação código 56675080 para análise da curva Cota x Área x Volume

Empresa	Consórcio UHE Guilman-Amorim
Estado UHE (UF)	Minas Gerais
Municípios Margem Direita	Nova Era
Municípios Margem Esquerda	Nova Era
Bacia Hidrográfica	Rio Doce
Sub-Bacia Hidrográfica	Rio Piracicaba
Rio	Piracicaba
Potência Instalada (MW)	140
Vazão Média de Longo Termo (m ³ /S)	84,8
Latitude / Longitude do Barramento (Coordenada Geográfica)	19S 42' 30"/42W 57' 38"- SIRGAS 2000
Área de Drenagem Total da UHE (km ²)	4186
Área Incremental da UHE (km ²)	2158
Área Inundada Original N.A Máximo Normal (km ²)	1
Área Inundada Atualizada N.A Máximo Normal (km ²)	0,875927858
Volume Útil Original (hm ³)	1,65
Volume Útil Atualizado (hm ³)	1,3917732
Volume Máximo Normal Original (hm ³)	11,5
Volume Máximo Normal Atualizado (hm ³)	4,4904803
Volume Máximo Maximorum Original (hm ³)	-
Volume Máximo Maximorum Atualizado (hm ³)	8,0889748
N.A Montante (Sistema Local) (m)	498,5 (Max. Maximorum)
	495(Max. Normal)
	493(Min. Normal)
N.A. Jusante (Sistema Local) (m)	375,7(Máximo Normal)
Potencial de Produção de Sedimentos (Baixo, Médio ou Alto) (Pss) (ton/km ² /ano)	Alto
Posição Relativa da Cascata (Prc): Baixa Suscetibilidade ao Assoreamento (Pequena área de bacia incremental < 5.000 km ²), Média (área de bacia incremental > 5.000 km ²) ou Alta (Reservatório de cabeceira)	Alta Suscetibilidade ao Assoreamento

Empresa	Consórcio UHE Guilman-Amorim
Índice de Regularização, Regime de Operação do Reservatório (Ror) $IR = \text{Volume útil (hm}^3) / \text{Vazão Turbinada Média (hm}^3/\text{dia)}$ (Baixa: $IR < 30$ dias, Média: IR entre 30 e 150 dias, Alta Suscetibilidade: $IR > 150$ dias)	Baixa
Magnitude e Importância dos efeitos do assoreamento (MI) Média ou Alta Suscetibilidade)	Alta Suscetibilidade
Nível de Criticidade NC = $(Pss + Prc + 4Ror + MI) / 21$	Criticidade Média (Classe 2)
Data de atualização da CAV	22/02/2016

Fonte: SNIRH, 2022.

Voltando diretamente para o volume do reservatório, a partir dos dados de cota, área e volume disponibilizados pelo SNIRH bem como entendendo que para se calcular o volume do reservatório utiliza-se a cota de interesse com um plano de referência único e que sua batimetria leva em consideração as profundidades em vários pontos da área inundada faz-se então a integração de seu volume.

Para essa análise, foram utilizados os dados disponibilizados pelo sistema SNIRH que apresentam o modelo digital do terreno em que o reservatório se encontra cujas coordenadas das seções de controle são apresentadas na **Tabela 6** a seguir.

Tabela 6 - Coordenadas batimétricas do reservatório da estação 56675080 para análise da curva Cota x Área x Volume

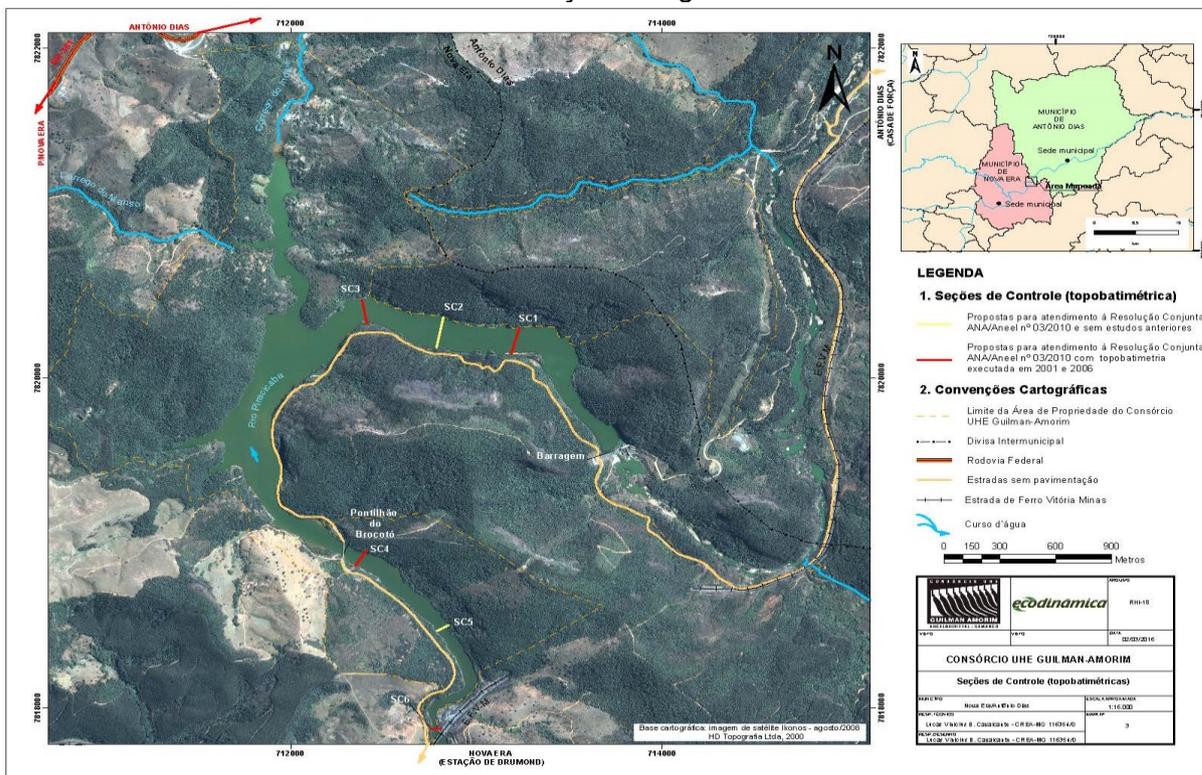
COORDENADAS DAS SEÇÕES BATIMÉTRICAS				
SEÇÕES	MARGEM DIREITA		MARGEM ESQUERDA	
	Leste (L)	Sul (S)	Leste (L)	Sul (S)
SC-29*	7.820.110,47	713.210,91	7.820.265,75	713.225,22
SC-38*	7.820.145,49	712.752,18	7.820.337,03	712.815,26
SC-45*	7.820.303,01	712.393,35	7.820.436,58	712.355,16
SC-86*	7.818.894,34	712.447,14	7.818.804,78	712.394,83
SC-98*	7.818.479,53	712.840,86	7.818.433,63	712.784,39
SC-120*	7.817.850,78	712.790,54	7.817.845,11	712.761,59

*SC: Seção de Controle.

Fonte: Relatório da Batimetria SNIRH, 2022.

A título de melhor visualização, observa-se na Figura 3 a localização das seções de controle adotadas para o monitoramento da correlação Cota x Área x Volume para o reservatório da UHE 56675080, utilizadas como referência principal para o controle do assoreamento do reservatório.

Figura 3 - Localização das seções de controle do reservatório em análise da Cota x Área x Volume – Estação Código 56675080



Fonte: Relatório da Batimetria SNIRH, 2022.

Dessa forma e tendo como base os dados disponibilizados pelo sistema SNIRH com o modelo digital do terreno em que o reservatório se encontra pode-se realizar a correlação entre a cota x área e cota x volume correspondente, atribuindo um espaçamento entre as curvas de nível (cotas) a cada metro e tendo como cota mínima equivalente a 467,00 m evoluindo até a cota máxima de 495,00 m.

Para o cálculo do volume de cada cota é levado em consideração a relação média entre as áreas de uma cota e a sua subsequente que deve ser multiplicada pela diferença entre as cotas. Portanto, foi utilizado o *Software Microsoft Excel* para realização dos cálculos dos volumes de cada cota, obtendo os resultados conforme apresentado na **Tabela 7** a seguir.

Tabela 7 - Resumo da relação Cota x Área x Volume - UHE

Cota Local (m)	Cota SGB (m)	Área (km ²)	Volume (hm ³)	Cota Local (m)	Cota SGB (m)	Área (km ²)	Volume (hm ³)
467,00	467,10	0,000	0,000	469,00	469,10	0,000	0,000
467,50	467,60	0,000	0,000	469,50	469,60	0,000	0,000
468,00	468,10	0,000	0,000	470,00	470,10	0,001	0,001
468,50	468,60	0,000	0,000	470,50	470,60	0,001	0,001

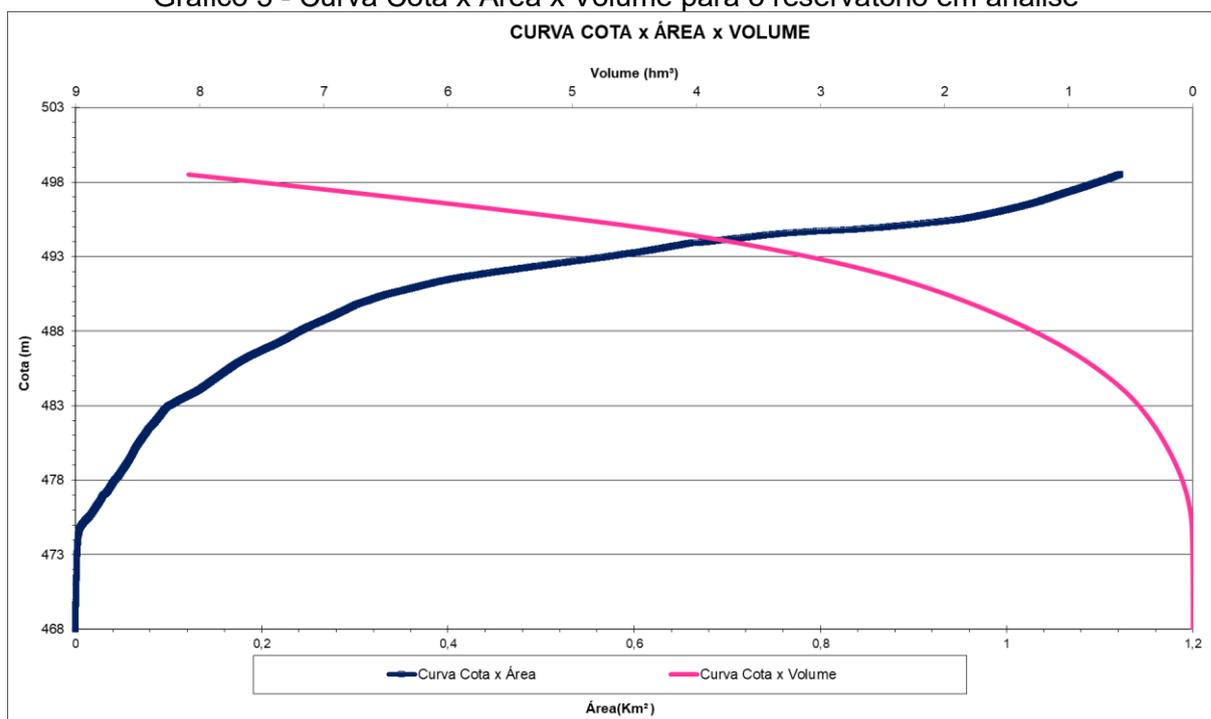
Cota Local (m)	Cota SGB (m)	Área (km ²)	Volume (hm ³)	Cota Local (m)	Cota SGB (m)	Área (km ²)	Volume (hm ³)
471,00	471,10	0,001	0,001	485,00	485,10	0,155	0,697
471,50	471,60	0,001	0,002	485,50	485,60	0,166	0,777
472,00	472,10	0,001	0,002	486,00	486,10	0,178	0,863
472,50	472,60	0,002	0,003	486,50	486,60	0,194	0,956
473,00	473,10	0,002	0,004	487,00	487,10	0,211	1,057
473,50	473,60	0,002	0,005	487,50	487,60	0,227	1,167
474,00	474,10	0,003	0,006	488,00	488,10	0,242	1,284
474,50	474,60	0,004	0,008	488,50	488,60	0,258	1,409
475,00	475,10	0,007	0,010	489,00	489,10	0,276	1,542
475,50	475,60	0,014	0,016	489,50	489,60	0,293	1,685
476,00	476,10	0,020	0,024	490,00	490,10	0,313	1,836
476,50	476,60	0,026	0,036	490,50	490,60	0,338	1,998
477,00	477,10	0,031	0,050	491,00	491,10	0,370	2,175
477,50	477,60	0,037	0,067	491,50	491,60	0,405	2,368
478,00	478,10	0,042	0,087	492,00	492,10	0,457	2,584
478,50	478,60	0,049	0,110	492,50	492,60	0,515	2,826
479,00	479,10	0,054	0,136	493,00	493,10	0,574	3,099
479,50	479,60	0,059	0,164	493,50	493,60	0,626	3,399
480,00	480,10	0,063	0,195	494,00	494,10	0,682	3,724
480,50	480,60	0,068	0,228	494,50	494,60	0,754	4,082
481,00	481,10	0,074	0,263	495,00	495,10	0,876	4,490
481,50	481,60	0,080	0,302	495,50	495,60	0,951	4,948
482,00	482,10	0,087	0,344	496,00	496,10	0,992	5,435
482,50	482,60	0,093	0,389	496,50	496,60	1,025	5,939
483,00	483,10	0,101	0,437	497,00	497,10	1,051	6,458
483,50	483,60	0,116	0,491	497,50	497,60	1,075	6,990
484,00	484,10	0,132	0,553	498,00	498,10	1,100	7,533
484,50	484,60	0,143	0,622	498,50	498,60	1,122	8,089

Fonte: Adaptado de Relatório da Batimetria SNIRH, 2022.

A partir do cálculo do volume de cada cota do reservatório em estudo deve-se ser traçado o gráfico com as curvas que correlaciona a Cota x Área x Volume do reservatório para a partir dos dados obtidos e análise gráfica traçar conclusões a respeito de possíveis assoreamentos no reservatório.

Dessa forma, também utilizando do *Microsoft Excel*, foi possível elaborar as curvas Cota x Área x Volume do reservatório em estudo, sendo este representado no **Gráfico 5** a seguir.

Gráfico 5 - Curva Cota x Área x Volume para o reservatório em análise



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

A partir do Gráfico 5 acima pode-se identificar a cota máxima do reservatório que não extrapolará a área representada pelas seções de controle que ele possui, sendo este ponto o que ocorre o cruzamento entre a Curva Cota x Volume com a Curva Cota x Área. Para a análise em questão a cota de extrapolação do reservatório está próximo a cota de 495 m com um volume um pouco menor que 4 hm³.

4.5.1 Avaliação da curva Cota x Área x Volume e informações implícitas

A partir do monitoramento e acompanhamento das curvas Cota x Área Volume ao longo do tempo pode-se avaliar a perda de volume que ocorre nos reservatórios devido à sedimentação que não se dissipa ao longo do curso hídrico por causa do barramento construído.

O conhecimento acerca da avaliação dessa curva bem como os índices implícitos no conhecimento dela se torna de suma importância tanto para o empreendimento gerador de energia hidrelétrica como para o monitoramento ambiental.

Com a avaliação do volume útil dos reservatórios as concessionárias são capazes de controlar sua operação em prol do melhor aproveitamento, bem como avaliar se o empreendimento continua apresentando padrões satisfatórios para a produção de energia ou se é necessário novas intervenções que envolvem diversas manobras para que essa geração de energia volte a ser produtiva.

O assoreamento de um reservatório é fator determinante de sua vida útil, indicada pelo tempo estimado em que o volume do reservatório será ocupado pelos sedimentos a ponto de perder suas funções ou inviabilizá-las economicamente (Carvalho, 2008).

Além disso, com o monitoramento do volume útil dos reservatórios e sua sedimentação pode-se realizar novas análises em relação ao comportamento dos sedimentos ao longo do rio até o barramento, bem como monitorar a quantidade precipitada e concentrada ao pé do barramento controlando para que o mesmo não provoque intervenções prejudiciais à estrutura da barragem que, caso sofra algum tipo de rachadura/colapso possa provocar um severo acidente ambiental, seja ela uma barragem de água ou de rejeitos.

Nesse estudo de caso apresentado tem-se o registro e cálculo de apenas uma curva que faz a correlação da Cota x Área x Volume sendo necessário a realização de novos levantamentos das seções de controle para novo cálculo da área e volume e a partir daí traçar uma nova curva Cota x Área x Volume para comparar com a apresentada e verificar sobre a deposição dos sedimentos no reservatório.

5. CONCLUSÃO

A partir do desenvolvimento do presente trabalho fica evidente que o órgão gestor, ANA, possui ferramentas capazes de auxiliar na gestão dos recursos hídricos voltados para intervenções de Centrais hidrelétricas, mas a complexidade de se realizar a consistência dos dados monitorados ainda é um desafio tanto para a agência quanto para os responsáveis técnicos por essa consistência.

Ao analisar os dados pluviométricos, foi possível avaliar a consistência realizada com base nos dados da estação usada como exemplo bem como a aplicação da verificação dessa consistência através da curva de dupla massa. No entanto, sem a existência de dados de estações semelhantes próximas, se torna inviável a realização dessa confirmação, ficando a dúvida de como deverá ser realizado tais análises se o próprio órgão gestor não deixa claro em seu manual de orientações.

Para aplicação da consistência dos dados pluviométricos foram utilizados os dados disponibilizados no sistema de telemetria e, sendo possível verificar a coerência desses dados com outra estação de apoio localizada na mesma bacia hidrográfica obtendo uma curva de dupla massa com fator R^2 próximo a 1, considerado o valor ideal por representar uma maior homogeneidade dos dados comparados. Sendo assim, pode-se dizer que a metodologia aplicada no estudo para esses dados pluviométricos se mostrou eficaz, verificando a consistência e coerência dos dados para o período de análise.

Já em relação aos dados fluviométricos, fica mais do que comprovado a importância de seu monitoramento, gestão e análise uma vez que este interfere diretamente nos usos de água tanto a jusante como a montante dos barramentos e das centrais hidrelétricas, podendo provocar enorme variação de nível pela influência de vários fatores, seja o próprio funcionamento da central ou até da interferência da área de drenagem em caso de precipitações.

Com a aplicação da consistência dos dados pluviométricos e posteriormente fluviométricos, é possível perceber que as orientações sobre tais análises é muitas das vezes interpretada a critério do técnico responsável e, mesmo pelo fato de que

esta deve ser realizada apenas de dados diários, há seções de monitoramento que ainda apresentam muitas falhas tanto no registro como na transmissão do dado de cota e chuva, o que provoca grandes períodos de falhas que continuam tendo a exigência, pelo órgão regulador, de consistir o dado com o preenchimento daqueles faltantes.

No entanto, quando se trata de centrais hidrelétricas, essa consistência se torna demasiadamente complexa pelo simples fato de se ter um curso hídrico com a intervenção de uma barragem que influencia diretamente na cota de nível que a estação de monitoramento irá registrar. Entende-se a importância de se ter os dados históricos das estações de monitoramento, no entanto a metodologia dessas análises precisa evoluir ainda mais, principalmente quando se trata de estação com intervenção humana, que é o caso das centrais hidrelétricas.

Dessa forma, a elaboração e análise de curva-chave estabelece alguns parâmetros que devem ser seguidos, mas que não constam explicitamente no manual de orientações da ANA, o que pode fazer com que ocorra erro no dimensionamento da curva-chave e conseqüente controle da relação cota x vazão que deve ser monitorada.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A água é um elemento indispensável para a vida dos seres vivos, incluindo o ser humano, estando sempre no foco do embate entre o modelo de produção capitalista que pressupõe o uso indiscriminado desse recurso e a própria natureza de certa forma finita do recurso.

Considerando que a hidrologia é embasada no conhecimento e interpretação dos dados de uma bacia hidrográfica capaz de propiciar o planejamento e a gestão dos recursos naturais e estudos de interesse regional, tem-se a ideia sólida de que o registro de dados de precipitação, nível e vazão líquida e sólida é essencial ao entendimento do comportamento de uma bacia hidrográfica e nas análises estatísticas aplicadas diretamente a uma estação de monitoramento voltada a operação das centrais hidrelétricas.

Dessa forma entende-se que o aproveitamento dos recursos hídricos requer concepção, planejamento, projeto, construção e operação de meios para o domínio e utilização das águas, sendo necessária práticas hidrométricas para servir de base de conhecimento, investigação científica, treinamento, uso e interpretação integrada das observações realizadas em trabalhos reais de campo em uma determinada bacia hidrográfica.

A ferramenta que a ANA possui para aplicar a centrais hidrelétricas é Relatório Anual de Monitoramento de Recursos Hídricos ANA/ANEEL e todas as suas abrangências e exigências. No entanto, diante das análises e atividades que são solicitadas que vai desde a coleta dos dados em campo até a consistência deles percebe-se que é uma ferramenta ainda pouco difundida e que ainda precisa de melhores orientações para elaboração e consistência dos dados. Mas ainda assim, diante dos resultados obtidos através deste trabalho, entende-se que é uma ferramenta promissora para a gestão dos recursos hídricos voltado ao monitoramento de cota, vazão e pluviosidade, permitindo a elaboração de um histograma sobre esses dados de extrema importância para entendimento do comportamento e gestão hídrica.

7. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (BRASIL). **Hidrologia Básica: Unidade 3 - Aplicação de dados hidrológicos em séries históricas e estudo**. Apostila base do curso de Hidrologia Geral.

_____ **Orientações para Elaboração do Relatório Anual** / Agência Nacional de Águas (ANA); Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica – Brasília: ANA, SGH, 2016.

_____ **Resolução Conjunta N°3, de 03 de Agosto de 2010**. Estabelecer as condições e os procedimentos a serem observados pelos concessionários e autorizados de geração de energia hidrelétrica para a instalação, operação e manutenção de estações hidrométricas visando ao monitoramento pluviométrico, limnimétrico, fluviométrico, sedimentométrico e de qualidade da água associado a aproveitamentos hidrelétricos, e dar outras providências.

_____ **Resolução Conjunta N°127, de 26 de Julho de 2022**. Estabelecer as condições e os procedimentos a serem observados pelos titulares de empreendimentos hidrelétricos com potência instalada superior a 1.000 kW para a instalação e operação de estações hidrológicas, visando ao monitoramento pluviométrico, limnimétrico, defluência, fluviométrico, sedimentométrico e de qualidade da água, e para o acompanhamento do assoreamento de reservatórios e dar outras providências.

_____ **Rede Hidrometeorológica Nacional – Sistema HIDRO - Telemetria**. Rio do Peixe, Sub Bacia do Rio das Velhas, Bacia do Rio São Francisco. Disponível em: < <http://www.snirh.gov.br/hidrotelemetria/EstacoesCadastro.aspx> >.

CARVALHO, N. O. (2008). **Hidrossedimentologia Prática** -2ª ed., atualizada e ampliada. Rio de Janeiro: Interciência. 599 p.

EMBRAPA. **Brasil Relevo – Download do SRTM // Minas Gerais**. Disponível em: < <https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/relevobr/download/mg/mg.htm> >.

INATOMI, T. A. H.; UDAETA, M. E. M. **Análise dos Impactos Ambientais na Produção de Energia Dentro do Planejamento Integrado de Recursos**. Seção

de estudos estratégicos de energia e de desenvolvimento sustentável do GEPEA/EPUSP, p. 14. 2011.

INMET, INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – NORMAIS CLIMÁTICAS (SEÇÃO DE ESTUDOS EM TEMPO E CLIMATOLOGIA). **Isoietas**. Disponível em: <
<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/c7c9289c-0bea-463d-a941-e252078bcdbd.>>.

KUHNEN, Beatriz da Silva. **Métodos e Técnicas para obtenção da Curva Cota x Área x Volume (CAV)**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial, Florianópolis, 2020.

MATOS, A. J. S. **Melhorias qualitativas na modelagem de levantamentos batimétricos em reservatórios por meio da ferramenta computacional “CAV-NH”**. 137 p. Tese Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental –Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

MACEDO, Jorge. **Rio do Peixe sofre com estiagem e captação de mineradoras**. Disponível em: <
https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2015/02/03/interna_gerais,614174/rio-do-peixe-sofre-com-estiagem-e-captacao-de-mineradoras.shtml >.

MÉSZÁROS, I. **Para além do capital: rumo a uma teoria da transição**. São Paulo: Boitempo, 2002.

TUCCI, Carlos E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre, Ed. da Universidade: ABRH: EDUSP, 1993. Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v.4.

SEARCY, J. K., HARDISON, C. H. **Double-mass curves. Manual of hydrology: Part 1**. General surface-water techniques. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 1541-B. USGS, Washington, DC, 1960. 66 pp. Disponível em: <
<https://pubs.usgs.gov/wsp/1541b/report.pdf> >

UFPR – UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. **Caracterização Hidrográfica da Bacia Hidrográfica.** Disponível em: < https://docs.ufpr.br/~andre.dhs/TH027/TH027_HHE_HIDRO_02_BH_Teoria.pdf >.

WIKIPÉDIA. **Fluviometria.** Disponível em: < <https://pt.wikipedia.org/wiki/Fluviometria> >.