ReGeo
ISSN: 2177-3246

# AVALIAÇÃO DA PERDA DE VOLUME ÚTIL E DA GARANTIA FÍSICA DOS APROVEITAMENTOS HIDRELÉTRICOS LOCALIZADOS NO ESTIRÃO DO RIO PARAÍBA DO SUL

# ASSESSMENT OF THE LOSS OF USEFUL VOLUME AND THE PHYSICAL GUARANTEE OF HYDROELECTRIC DEVELOPMENTS LOCATED ON THE PARAÍBA DO SUL RIVER

# EVALUACIÓN DE LA PÉRDIDA DE VOLUMEN ÚTIL Y DE LA GARANTÍA FÍSICA DE LAS APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS UBICADOS EN EL TRAMO DEL RÍO PARAÍBA DO SUL

10.56238/revgeov17n1-060

**Eduardo Côrtes Paulo**
Graduado em Engenharia de Recursos Hídricos e Meio Ambiente
Instituição: Universidade Federal Fluminense (UFF)
E-mail: eduardocortes@id.uff.br
Lattes: https://lattes.cnpq.br/0428049260135420
Orcid: https://orcid.org/0009-0002-9737-9426

**Mônica de Aquino Galeano Massera da Hora**
Doutorado em Engenharia Civil
Instituição: Universidade Federal Fluminense (UFF)
E-mail: monicahora@id.uff.br
Lattes: http://lattes.cnpq.br/4618695267555595
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-8619-3485

**Olga Kelman Brocki Calhman**
Doutorado em Engenharia Civil
Instituição: Universidade Federal Fluminense (UFF)
E-mail: ocalhman@id.uff.br
Lattes: http://lattes.cnpq.br/1795526304159001
Orcid: https://orcid.org/0000-0003-2756-612X

**Antonio Ferreira da Hora**
Doutorado em Engenharia de Produção
Instituição: Universidade Federal Fluminense (UFF)
E-mail: antoniohora@id.uff.br
Lattes: http://lattes.cnpq.br/3894060300781780
Orcid: https://orcid.org/0000-0001-6033-1758

**RESUMO**
O presente estudo avaliou a redução do volume útil em função do assoreamento e suas implicações na garantia física dos reservatórios de aproveitamentos hidrelétricos, localizados no estirão do rio Paraíba do Sul. A análise baseou-se na comparação entre as curvas Cota x Área x Volume de projeto e as

atualizadas dos empreendimentos Paraibuna, Santa Branca, Funil, Simplício/Anta e Ilha dos Pombos. Os dados foram obtidos junto à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, ao Operador Nacional do Sistema Elétrico, às concessionárias e à Agência Nacional de Energia Elétrica. Os resultados indicaram reduções de volume útil que variaram entre 0,18% (Paraibuna) e 10% (Ilha dos Pombos). Como a diminuição da capacidade de armazenamento dos reservatórios se reflete na redução da vazão regularizada e do benefício indireto, admitiu-se que as perdas das garantias físicas correspondem aos percentuais de redução do volume útil. Os resultados de garantia física encontrados foram iguais a 44,39 MW médios (Paraibuna), 28,61 MW médios (Santa Branca) e 108,5 MW médios (Funil). Conclui-se que a atualização periódica das curvas Cota x Área x Volume é essencial para a operação dos reservatórios e para a garantia da produção de energia hidrelétrica do Sistema Interligado Nacional.

**Palavras-chave:** Assoreamento. Curvas Cota x Área x Volume. Benefício Indireto. Vazão Regularizada.

**ABSTRACT**

This study evaluated the reduction in usable volume due to sedimentation and its implications for the physical guarantee of hydropower plants' reservoirs located in the Paraíba do Sul River. The analysis was based on a comparison between the design elevation, area, and volume curves and the updated curves from the plants of Paraibuna, Santa Branca, Funil, Simplício/Anta, and Ilha dos Pombos. Data were obtained from the National Water and Basic Sanitation Agency, the National System Operator, the concessionaires, and the National Electric Energy Agency. The results indicated reductions in usable volume ranging from 0.18% (Paraibuna) to 10% (Ilha dos Pombos). As the decrease in reservoir storage capacity is reflected in the reduction of regulated flow and indirect benefits, it was assumed that the losses in the physical guarantees of the projects correspond to the percentage reduction in usable volume. The results for physical guarantee were 44.39 MW average (Paraibuna), 28.61 MW average (Santa Branca), and 108.5 MW average (Funil). It is concluded that the periodic updating of the Elevation x Area x Volume curves is essential for the operation of the reservoirs and for guaranteeing the production of hydroelectric power in the National Interconnected System.

**Keywords**: Sediment Accumulation. Elevation x Area x Volume Curves. Physical Guarantee. Regulated Flow.

**RESUMEN**

Este estudio evaluó la reducción del volumen utilizable por sedimentación y sus implicaciones para la garantía física de los embalses de las centrales hidroeléctricas ubicadas en el río Paraíba do Sul. El análisis se basó en la comparación entre las curvas de elevación, área y volumen del proyecto y las curvas actualizadas de las plantas de Paraibuna, Santa Branca, Funil, Simplício/Anta y Ilha dos Pombos. Los datos se obtuvieron de la Agencia Nacional de Agua y Saneamiento Básico, el Operador Nacional del Sistema, los concesionarios y la Agencia Nacional de Energía Eléctrica. Los resultados indicaron reducciones en el volumen utilizable que van del 0,18% (Paraibuna) al 10% (Ilha dos Pombos). Como la disminución de la capacidad de almacenamiento de los embalses se refleja en la reducción del caudal regulado y beneficios indirectos, se asumió que las pérdidas en las garantías físicas de las plantas corresponden a la reducción porcentual del volumen utilizable. Los resultados por garantía física fueron 44,39 MW medio (Paraibuna), 28,61 MW medio (Santa Branca) y 108,5 MW medio (Funil). Se concluye que la actualización periódica de las curvas Elevación x Área x Volumen es fundamental para el funcionamiento de los embalses y para garantizar la producción de energía hidroeléctrica en el Sistema Interconectado Nacional.

**Palabras clave:** Sedimentación. Curvas Elevación x Área x Volumen. Beneficio Indirecto. Flujo Regularizado.

## 1 INTRODUÇÃO

No panorama energético brasileiro, a matriz elétrica conserva forte dependência da geração hidrelétrica e, de acordo com o Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional 2025, referente ao ano de 2024, as fontes renováveis foram responsáveis por cerca de 88,2% da geração elétrica do país, mantendo a energia hidráulica como componente majoritário dessa participação, correspondendo a 55,3% (EPE, 2025).

Para garantir a eficiência operacional de um aproveitamento hidrelétrico em função do aporte de sedimentos que possam comprometer o volume útil do seu reservatório e, consequentemente, a capacidade de geração de energia, é fundamental o monitoramento das suas alterações ao longo do tempo (MIRANDA *et al.*, 2013). De acordo com Collischonn & Clarke (2016), uma das principais formas para realizar esse monitoramento se dá através do levantamento topobatimétrico, o qual permite definir o traçado de curvas Cota x Área x Volume (CAV). Essas curvas descrevem a relação entre a área alagada e o volume armazenado, para cada cota do reservatório. Por consequência, auxiliam na definição de regras de operação de cada reservatório (LI *et al.,* 2021).

Em 2018, o Tribunal de Contas da União (TCU) determinou ao Ministério de Minas e Energia (MME) que, para em conjunto com o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) e Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), apresentasse estudos essenciais à revisão integral das garantias físicas das usinas hidrelétricas, dentre os quais evidenciaram as curvas Cota x Área x Volume dos reservatórios (TCU, 2018).

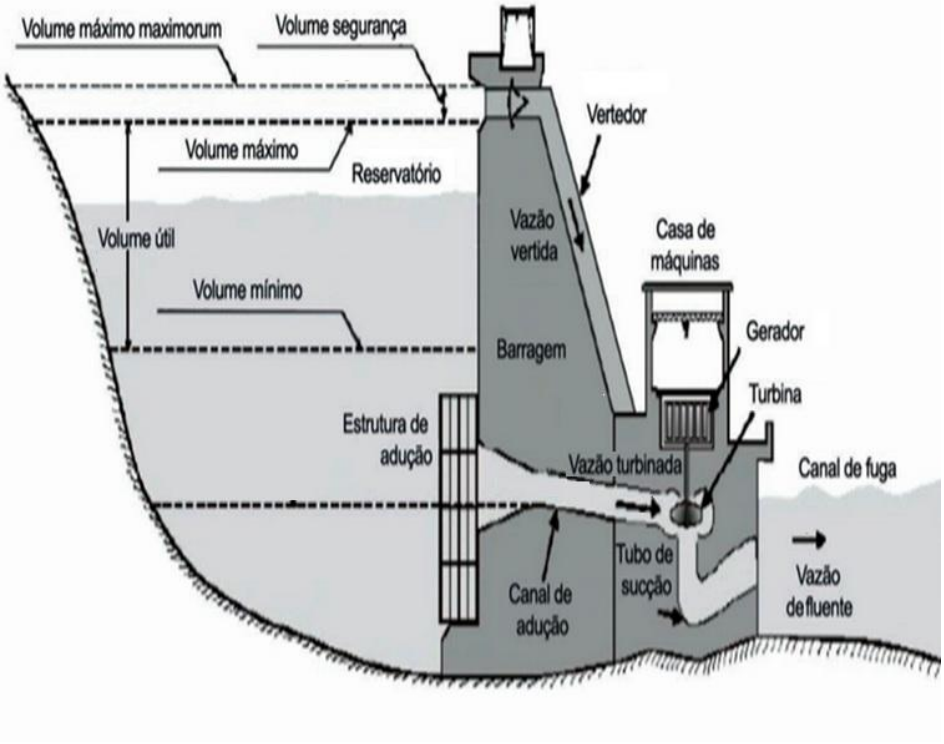
Reconhecendo a necessidade de manter essas informações atualizadas, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) publicaram a Resolução Conjunta ANA/ANEEL nº 127/2022, que estabelece diretrizes para a atualização periódica das tabelas CAV, garantindo que elas reflitam as condições reais dos reservatórios (ANA/ANEEL, 2022). A análise comparativa entre tabelas CAV possibilita identificar a evolução da redução da capacidade de armazenamento, bem como avaliar os impactos do assoreamento na geração de energia e na garantia física dos aproveitamentos.

Com base no exposto, dada a relevância do tema, foi selecionado como estudo de caso o conjunto de usinas hidrelétricas existentes ao longo do rio Paraíba do Sul, localizado na região Sudeste. O rio Paraíba do Sul é considerado um dos cursos d'água mais importantes do Brasil, pois alcança regiões com relevância social e econômica de três estados, desempenhando papel crucial na geração de energia (CEIVAP, 2024). Além disso, o rio Paraíba do Sul está sujeito a profundas alterações em seu regime hidráulico e na produção de sedimentos (SOUZA Jr., 2004).

## 2 PARÂMETROS FÍSICOS E OPERATIVOS DE UMA USINA HIDRELÉTRICA

Uma usina hidrelétrica é constituída por diversas estruturas, a saber: barragem, reservatório, vertedouro, estruturas de adução, casa de força (ou casa de máquinas), equipamentos eletromecânicos e canal de fuga (ONS, 2020). A Figura 1 ilustra a seção transversal de uma usina hidrelétrica.

Figura 1: Seção transversal de uma usina hidrelétrica




Fonte: Adaptado de ONS, 2020.

Para que a energia potencial da água acumulada no reservatório seja convertida em energia elétrica, é preciso, inicialmente, transformá-la em energia mecânica. Essa conversão é promovida pelas turbinas hidráulicas que, por sua vez, se ligam, de forma mecânica, a geradores, os quais produzirão energia elétrica (ONS, 2020).

De acordo com ONS (2020), para que exista energia potencial aproveitável, é necessária uma altura de queda suficiente para movimentar as turbinas. Essa queda pode ser obtida naturalmente ou através da construção de barragens. A barragem promove o represamento do rio, formando o reservatório.

Nos reservatórios de regularização ocorre acúmulo de água nos períodos de cheia e, durante os períodos secos, a água acumulada, além da decorrente do fluxo natural, é utilizada para gerar energia com menores variações ao longo do tempo, regularizando o fluxo do rio (ONS, 2023). Além disso, os reservatórios de regularização também podem operar no controle de cheias, a partir das informações de restrições operativas hidráulicas (ONS, 2020).

Entretanto, nem todo reservatório de usina hidrelétrica possui volume de regularização (também denominado de volume útil) e pode operar no controle de cheias (HORA, 2012). Esse tipo

de empreendimento opera a fio d´água, ou seja, o reservatório é pequeno e tem baixa capacidade de armazenamento, sendo sua geração dependente da quantidade de água (vazão) que passa pela calha do rio para gerar energia (ONS, 2025).

A vazão proporcionada pelo volume útil de um reservatório é denominada de vazão regularizada (HORA, 2012). Ainda de acordo com a autora, a redução do volume útil (capacidade de armazenamento do reservatório) é diretamente proporcional à redução da vazão regularizada pelo empreendimento e, consequentemente, de parte da capacidade de geração de energia.

De acordo com SRG/SGH/ANEEL (2012), a geração hidrelétrica se dá através de aproveitamento do potencial hidráulico existente em um corpo d'água. A energia potencial, armazenada a uma determinada cota (reservatório), é transformada em energia mecânica na turbina hidráulica. Por sua vez, a energia mecânica obtida pela turbina, aciona um gerador, que converte a energia mecânica em eletricidade. A geração de energia pode ser expressa por:

$$PI = \rho \times g \times \eta_h \times \eta_t \times \eta_g \times Q \times h_{líq} \quad (1)$$

Onde: PI é a potência instalada em uma usina hidrelétrica, em kW; $\rho$ é a densidade da água e igual a 1000 kg/m³; g é a aceleração da gravidade e igual a 9,81 m/s²; Q é a vazão em m³/s; $h_{líq}$ é a queda líquida em m; $\eta_h$ é o rendimento do circuito hidráulico; $\eta_t$ é o rendimento da turbina; e $\eta_g$ é o rendimento do gerador, transformador e serviços auxiliares.

A queda líquida ($h_{líq}$) representa a diferença entre a queda bruta e as perdas hidráulicas nos condutos:

$$h_{líq} = h_{bruta} - h_{perdas} \quad (2)$$

As perdas hidráulicas ($h_{perdas}$) correspondem às perdas de carga na tomada e adução de água (CEPEL, 2024).

A altura de queda bruta ($h_{bruta}$) corresponde à diferença entre a cota de montante (nível d´água de montante) e a cota de jusante (nível d´água de jusante). De acordo com CEPEL (2024) é expressa por:

$$h_{bruta} = h_{montante} - h_{jusante} \quad (3)$$

Onde: $h_{montante}$ é a cota de montante em função do armazenamento no reservatório, fornecida pela CAV, em m, e $h_{jusante}$ é a cota de jusante, estimada pela curva-chave do canal de fuga, em m.

Assim, a capacidade de geração de um aproveitamento hidrelétrico está diretamente associada à vazão, à queda existente, ao arranjo e aos equipamentos eletromecânicos utilizados (SRG/SGH/ANEEL, 2012).

Uma vez definida a potência instalada (PI) e sendo a usina integrante do Sistema Interligado Nacional (SIN), há que se estimar a garantia física do empreendimento. Cabe ressaltar que o SIN é um sistema hidro-termo-eólico operado pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), com predominância de usinas hidrelétricas e com múltiplos proprietários (ONS, 2025a).

De acordo com MME (2016), a garantia física de energia do SIN é definida como aquela correspondente à máxima quantidade de energia que o sistema pode fornecer a um dado critério de garantia de suprimento. Esta energia é rateada entre todos os empreendimentos de geração, que constituem o sistema, a fim de se obter as suas garantias físicas de energia com vistas à comercialização de energia, via contratos. É expressa por:

$$\mathbf{GF_{local}} = \frac{\mathbf{EFh}}{\mathbf{EFs}} \times \mathbf{EH} \qquad (4)$$

Onde: $GF_{local}$ é a garantia física de energia local, em MW médio; $EF_h$ é a energia firme da usina h, em MW médio; EFs é a energia firme do conjunto de usinas hidrelétricas, em MW médio e EH é a oferta hidráulica, em MW médio.

A energia firme corresponde à geração média nos meses do período crítico, junho de 1949 a novembro de 1956 (MME, 2016).

Caso a usina possua um reservatório de regularização, com usinas a jusante, além do ganho de garantia física local na usina, poderá haver um acréscimo de energia nessas usinas a jusante denominado de benefício indireto. Assim, a garantia física de energia de um empreendimento hidrelétrico é obtida a partir de (MME, 2016):

$$GF_h = GF_{local} + BIcascata \qquad (5)$$

Onde: $GF_h$ é a garantia física de energia total da usina hidrelétrica h, em MW médio; $GF_{local}$ é a garantia física de energia local, em MW médio; BIcascata representa o benefício indireto obtido nas usinas a jusante da usina h decorrente da entrada do reservatório da usina hidrelétrica h, em MW médio.

A garantia física de energia de uma usina hidrelétrica deverá ser limitada ao valor de sua disponibilidade máxima de geração contínua (MME, 2016):

$$Dmáxh = PI \times (1 - TEIF) \times (1 - IP) \qquad (6)$$

Onde: Dmáxh é a disponibilidade máxima de geração contínua da usina hidrelétrica, em MW médio; TEIF é a taxa equivalente de indisponibilidade forçada, por unidade; e IP é a indisponibilidade programada, por unidade.

Cabe destacar o art. 5º da Portaria nº 406/2017, que menciona a necessidade da revisão da parcela da garantia física de energia referente ao benefício indireto quando for comprovada as alterações no volume útil e no tipo de regularização do empreendimento (MME, 2017b).

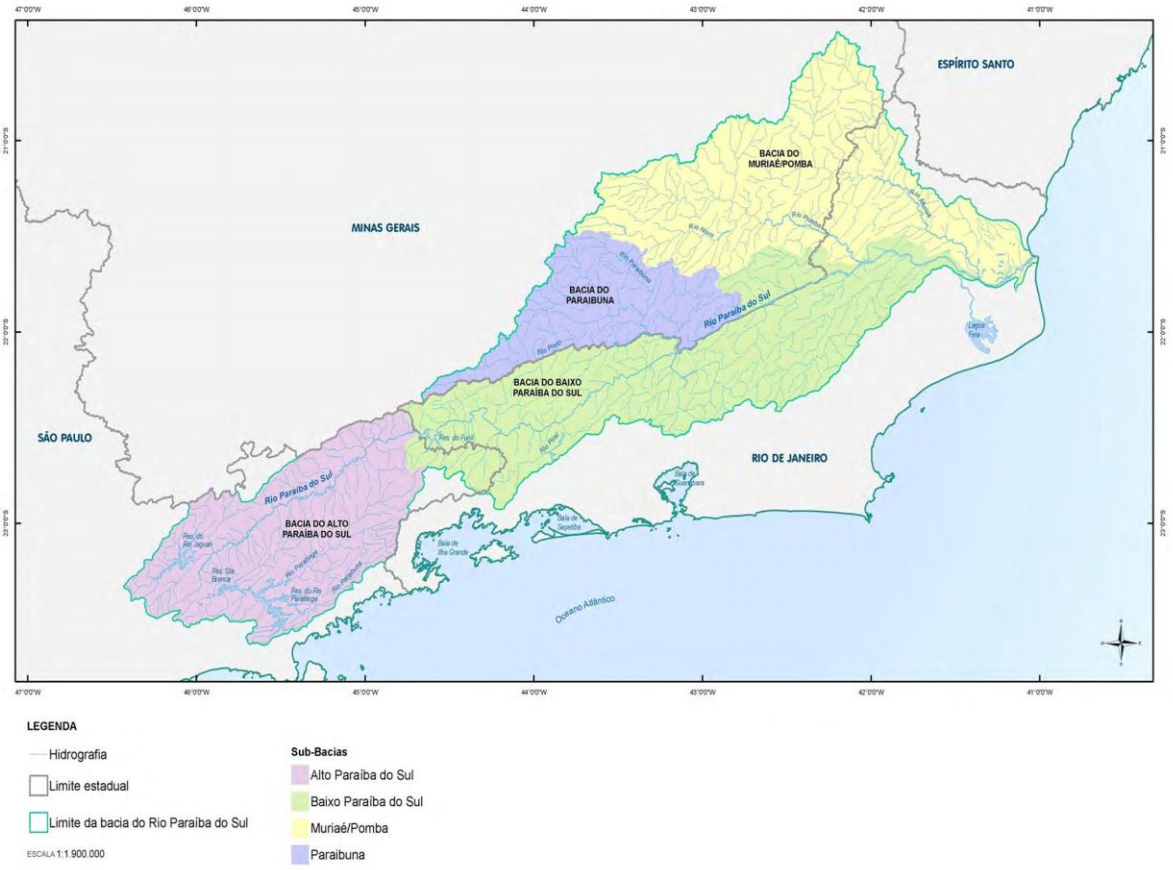
As alterações no volume útil são decorrentes do processo evolutivo de assoreamento dos reservatórios. É um problema mundial, causando perda de capacidade de armazenamento de água e graves impactos no uso da água para geração hidrelétrica (Annandale *et al*., 2016). De acordo Ahn *et al*. (2024), há um foco crescente em questões relacionadas à redução da capacidade de armazenamento dos reservatórios devido à deposição de sedimentos. Miranda *et al*. (2013) mencionam que a diminuição do volume útil implica redução na geração de energia elétrica.

A Resolução Conjunta ANA/ANEEL nº 127/2022 estipula, em seu art. 8º, que o primeiro ciclo de avaliação do assoreamento deve ocorrer ao completar 10 anos de operação do empreendimento, com subsequentes avaliações a cada década ou conforme a análise dos dados coletados (ANA/ANEEL, 2022).

## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

A bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul abrange parte do Estado de São Paulo (13.900 km²), uma porção do Estado de Minas Gerais (20.700 km²) e cerca de metade do Estado do Rio de Janeiro (20.900 km²), englobando 184 municípios com mais de 7 milhões de pessoas. Soma-se a isso que, através de transposições, cerca de 18,2 milhões de pessoas são atendidas pelas águas do rio Paraíba do Sul (AGEVAP/CEIVAP, 2021). A Figura 2 ilustra a sua localização.

Figura 2: Localização da bacia do rio Paraíba do Sul e seus afluentes

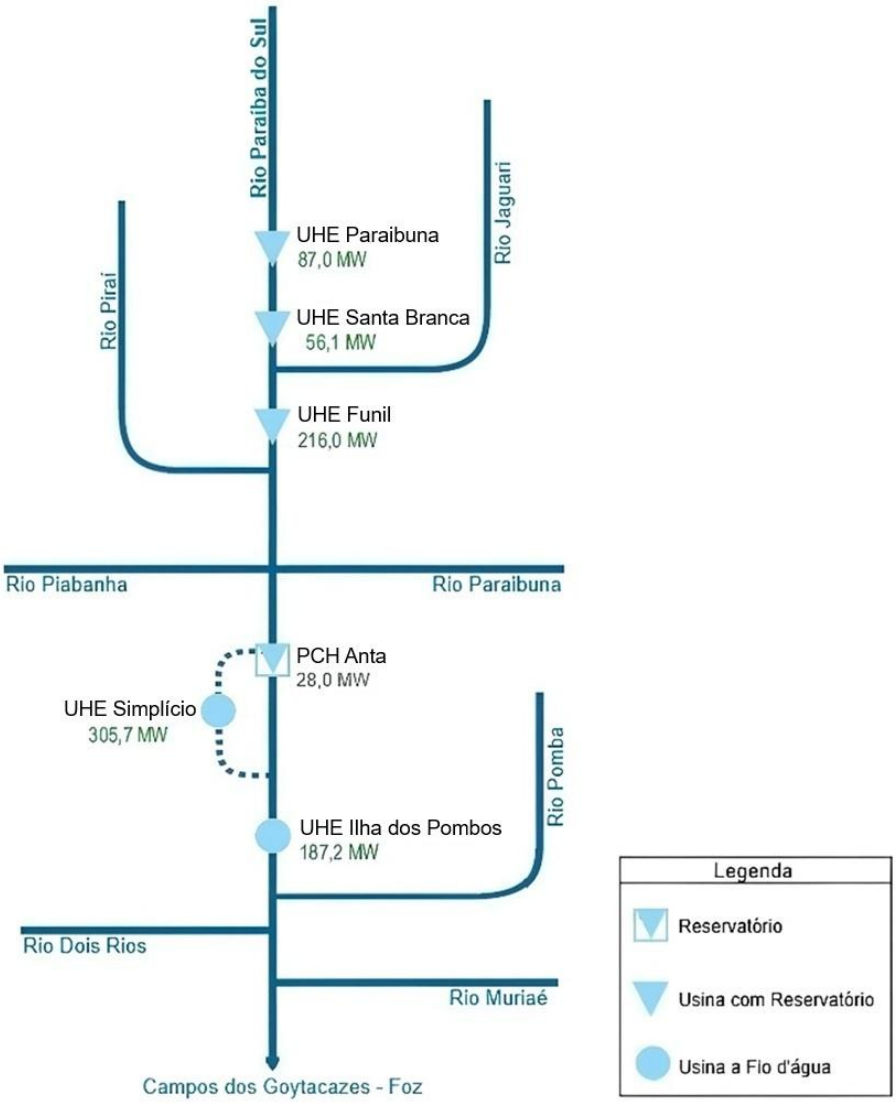



Fonte: Adaptado de AGEVAP/CEIVAP, 2021.

De acordo com AGEVAP/CEIVAP(2021), o rio Paraíba do Sul é formado pela confluência dos rios Paraibuna, cuja nascente está no município de Cunha, e Paraitinga, que nasce em Areias, ambos no Estado de São Paulo, a 1.800 m de altitude, próximo ao município de Paraibuna. Com extensão de cerca de 1.150 km, o rio Paraíba do Sul deságua no Oceano Atlântico, no município de São João da Barra (RJ) (AGEVAP/CEIVAP, 2021). Seus principais afluentes pela margem esquerda são os rios Jaguari, Paraibuna, Pomba e Muriaé. Pela margem direita, destacam-se os rios Piraí, Piabanha e Dois Rios.

O rio Paraíba do Sul tem sido palco para a implantação, pelo setor elétrico, de uma série de reservatórios e usinas hidrelétricas, desde o início do século passado, visando, além da geração de energia elétrica, à regularização de vazões, ao controle de cheias, ao abastecimento de água, ao turismo, ao lazer, bem como ao suprimento de Água para a Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) (AGEVAP/CEIVAP, 2021). A Figura 3 apresenta o arranjo topológico do estirão do rio com as usinas hidrelétricas (UHE) e Pequena Central Hidrelétrica (PCH) existentes.

Figura 3: Arranjo topológico do rio Paraíba do Sul, seus afluentes e empreendimentos hidrelétricos




Fonte: Adaptada de ONS, 2025.

A UHE Paraibuna está localizada no município de Paraibuna, no estado de São Paulo. O reservatório possui o maior volume útil do conjunto de usinas hidrelétricas do estirão do rio Paraíba do Sul (AGEVAP/CEIVAP, 2021). A usina está em operação desde 1978 e seu reservatório interliga as bacias dos rios Paraitinga e Paraibuna. A Companhia Energética de São Paulo (CESP), responsável pelo empreendimento, teve sua concessão para operação de geração encerrada em junho de 2022, sendo substituída pela empresa Auren Energia (Canal Energia, 2022).

A UHE Santa Branca está situada a montante do município de Jacareí, estado de São Paulo e a jusante do reservatório de Paraibuna. O empreendimento foi concebido com o objetivo de promover a regularização e controle das vazões do rio Paraíba do Sul, contribuindo para a atenuação de cheias e para a minimização de vertimentos em períodos de elevada pluviosidade (AGEVAP/CEIVAP, 2010). Desde 1999, a usina opera sob responsabilidade da Light Energia.

A UHE Funil está instalada no município de Resende, estado do Rio de Janeiro. O

empreendimento possui uma barragem do tipo abóbada de concreto com dupla curvatura, única no Brasil. Em 1965, a usina foi incorporada pela Eletrobras, que designou Furnas Centrais Elétricas (FURNAS) para concluir as obras e iniciar a operação em 1969. O aproveitamento hidrelétrico destaca-se por sua relevância operacional e hidrológica no sistema integrado de geração e controle de cheias (FURNAS, 2025a).

A UHE Simplício está localizada na divisa dos estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro, tendo iniciado sua operação em junho de 2013, sob responsabilidade de Furnas Centrais Elétricas. O empreendimento opera a fio d´água em conjunto com a PCH Anta, por meio de um conjunto de canais e túneis e reservatórios com extensão de 30 km (FURNAS, 2025b).

A UHE Ilha dos Pombos é uma usina que opera a fio d´água, sob responsabilidade da Light Energia, situada entre os municípios de Carmo e Além Paraíba. Inaugurada em julho de 1924, desempenhou um papel fundamental na eletrificação do Rio de Janeiro e da Zona da Mata Mineira (LIGHT, 2024).

No tocante a metodologia, inicialmente, foi realizada a consulta e análise, para cada aproveitamento hidrelétrico de interesse, da bibliografia existente, com o objetivo de identificar os valores de potência instalada, garantia física e revisão das garantias físicas.

Em seguida, buscou-se coletar os dados técnicos dos aproveitamentos selecionados, à época da construção dos empreendimentos, junto aos endereços eletrônicos das concessionárias e de ONS (2025c), bem como os dados atualizados dos levantamentos de CAV por ANA (2021).

As informações obtidas foram tabuladas e analisadas de modo a permitir a estimativa da redução percentual do volume útil, bem como avaliar as implicações do assoreamento sobre a garantia física dos empreendimentos.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 resume as informações dos contratos de geração das usinas hidrelétricas consideradas no estudo.

Tabela 1: Dados dos contratos de geração dos empreendimentos

| UHE | Potência Instalada (MW) | Garantia Física (MW médios) |
|---|---|---|
| Paraibuna | 87,02 | 50,0 |
| Santa Branca | 56,05 | 32,0 |
| Funil | 216,0 | 121,0 |
| Simplício/Anta | 305,7(Simplício) + 28 (Anta) | 191,3 (Simplício) + 15,9 (Anta) |
| Ilha dos Pombos | 187,169 | 115,0 |

Fonte: ANEEL, 2025.

Cabe destacar que a Portaria nº 178/MME, de 3 de maio de 2017, aprovou a primeira revisão

ordinária da garantia física (RGOF) das usinas hidrelétricas despachadas centralizadamente no SIN, levando em consideração os índices de indisponibilidade forçada (TEIF) e indisponibilidade programada (IP) (MME, 2017a). A Tabela 2 relaciona as garantias físicas, válidas a partir de janeiro de 2018.

Tabela 2: RGOF das usinas hidrelétricas, válidas a partir de janeiro de 2018

| UHE | TEIF (%) | IP (%) | ROGF (MW médio) |
|---|---|---|---|
| Paraibuna | 1,982 | 5,292 | 47,5 |
| Santa Branca | 0,810 | 6,145 | 30,4 |
| Funil | 3,382 | 5,429 | 115,0 |
| Ilha dos Pombos | 2,007 | 5,107 | 109,3 |

A UHE Simplício não foi incluída na primeira RGOF.
Fonte: MME, 2017a.

Já a Portaria nº 709/GM/MME, de 30 de novembro de 2022, aprovou a segunda RGOF com a mesma consideração do TEIF e IP (MME, 2022). A Tabela 3 relaciona as garantias físicas, válidas a partir de janeiro de 2023.

Tabela 3: RGOF das usinas hidrelétricas, válidas a partir de janeiro de 2023

| UHE | TEIF (%) | IP (%) | ROGF (MW médio) |
|---|---|---|---|
| Paraibuna | 1,844 | 3,641 | 45,2 |
| Santa Branca | 1,475 | 2,507 | 28,9 |
| Simplício | 1,591 | 3,707 | 182,6 |
| Ilha dos Pombos | 0,836 | 5,918 | 103,9 |

A UHE Funil não foi incluída na segunda ROGF.
Fonte: MME, 2022.

A Tabela 4 consolida os dados levantados dos parâmetros físicos dos empreendimentos selecionados.

Tabela 4: Dados técnicos dos aproveitamentos selecionados

| Empreendimento | Volume (hm³) | ANA[1] | Concessionária[2,3,4] |
|---|---|---|---|
| UHE Paraibuna | Minimo | 2.081,32 | 2.096,00 |
| | Máximo | 4.712,49 | 4.732,00 |
| | Útil | 2.631,18 | 2.636,00 |
| UHE Santa Branca | Minimo | 127,64 | 131,00 |
| | Máximo | 432,55 | 439,00 |
| | Útil | 304,90 | 308,00 |
| UHE Funil | Minimo | 244,06 | 270,00 |
| | Máximo | 828,81 | 890,00 |
| | Útil | 584,75 | 620,00 |
| UHE Simplício/Anta | Minimo | - | 126,5 |
| | Máximo | - | 126,5 |
| | Útil | - | 0,00 |
| UHE Ilha dos Pombos | Minimo | 3,50 | 3,00 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | Máximo | 8,00 | 8,00 |
| | Útil | 4,50 | 5,00 |

1 ANA, 2021.
2 ONS, 2025c.
3 Dados referentes à UHE Funil foram extraídos de FURNAS (2025a).
4 Dados referentes à UHE Simplício/Anta foram extraídos de (SOC/ANA, 2005).

Com relação a UHE Simplício, a atualização da CAV ainda não foi realizada, pois o aproveitamento completou 10 anos de operação em 2023.

A estimativa da redução do volume útil, em função do assoreamento, é expressa por:

$$\mathbf{Vol_{red}} = \frac{\mathbf{Vol_{orig} - Vol_{atual}}}{\mathbf{Vol_{orig}}} \times \mathbf{100} \qquad (7)$$

Onde: $Vol_{red}$ é a parcela de volume útil reduzida em função do assoreamento, em hm³; $Vol_{orig}$ é o volume útil à época da construção dos empreendimentos, em hm³; $Vol_{atual}$ é o volume útil atualizado, em hm³.

A Tabela 5 consolida os valores de redução de volume útil dos empreendimentos selecionados.

Tabela 5: Redução de volume útil dos empreendimentos selecionados

| **Empreendimento** | **Redução do Volume Útil** | |
|---|---|---|
| | **(hm³)** | **(%)** |
| UHE Paraibuna | 4,82 | 0,18 |
| UHE Santa Branca | 3,10 | 1,01 |
| UHE Funil | 35,25 | 5,69 |
| UHE Ilha dos Pombos | 0,50 | 10,0 |

Fonte: Elaborada pelos Autores.

O empreendimento com a maior perda percentual de volume útil foi a UHE Ilha dos Pombos, igual a 10%. Já a menor redução percentual (0,18%) foi observada no reservatório da UHE Paraibuna.

Os valores percentuais obtidos de redução de volume útil para os aproveitamentos selecionados no estirão do rio Paraíba do Sul são menores do que o citados por Miranda *et al.* (2013) para a UHE Três Irmãos, localizada no rio Tietê, estado de São Paulo, e igual a 14,5%.

A baixa redução do volume útil da UHE Paraibuna e da UHE Santa Branca revela a baixa afluência de sedimentos aos respectivos reservatórios e vai de encontro aos resultados de Santos (2024) ao indicar a ausência de tendência positiva no transporte de sedimentos nas sub-bacias incrementais desse estirão do rio Paraíba do Sul. Hora (1998) já havia mencionado que apesar da existência de alguns problemas pontuais de degradação, as sub-bacias bacias drenantes aos reservatórios dessas usinas poderiam ser consideradas como preservadas, com baixa produção de sedimentos.

Nas sub-bacias incrementais até Campos dos Goytacazes (envoltórias aos aproveitamentos

hidrelétricos de Funil, Simplício e Ilha dos Pombos), Santos (2024) identificou tendências positivas que demonstram o crescimento do sedimento transportado de montante para jusante, justificado pelo uso do solo e pela confluência dos rios Paraibuna, Pomba e Muriaé. Do mesmo modo, Hora (1998) havia apontado a influência no aumento da produção de sedimentos até Campos dos Goytacazes motivada, principalmente, pela confluência dos rios Piabanha e Paraibuna e, de maneira geral, pela degradação da cobertura vegetal e pela ocupação urbana ao longo das margens dos rios.

No que tange às perdas das garantias físicas, admitiu-se que elas seriam iguais aos percentuais da redução do volume útil apresentados na Tabela 5. Ressalta-se que apesar da diminuição do volume útil da UHE Ilha dos Pombos, há que se considerar que o empreendimento opera a fio d'água, portanto, a redução não interfere na operação de geração de energia e nem, portanto, na garantia física. A Tabela 6 relaciona os resultados encontrados.

Tabela 6: Nova garantia física dos aproveitamentos a partir da redução do volume útil

| Empreendimento | Garantia Física (MW médios) | ROGF (MW médios) | Redução do Volume Útil (%) | Nova Garantia Física (MW médios) |
|---|---|---|---|---|
| UHE Paraibuna | - | 45,2 | 0,18 | 45,12 |
| UHE Santa Branca | - | 28,9 | 1,01 | 28,61 |
| UHE Funil | 115,0 | - | 5,69 | 108,5 |

Fonte: Elaborada pelos Autores.

A comparação dos resultados encontrados com a literatura, não foi possível de ser realizada, uma vez que não foram encontrados estudos ou dados comparáveis sobre o tema. Acredita-se que a lacuna na literatura seja justificada pela aprovação recente das CAV pela ANA e concessionários, a saber: Paraibuna (julho/2022), Santa Branca e Ilha dos Pombos (dezembro/2016) e Funil (abril/2021).

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados obtidos neste estudo evidenciam a relevância da avaliação do assoreamento dos reservatórios dos aproveitamentos hidrelétricos, considerando que a redução do volume útil é diretamente proporcional à redução da vazão regularizada e, consequentemente, na redução de uma parcela da geração de energia.

No âmbito do presente estudo, admitiu-se que as perdas das garantias físicas dos empreendimentos são iguais aos percentuais da redução do volume útil. Assim sendo, o conjunto das usinas hidrelétricas Paraibuna, Santa Branca e Funil alcançou o valor de perda igual a 6,92 MW médios.

É importante destacar a lacuna na literatura sobre a revisão da garantia física em função da redução do volume útil.

Para desenvolvimento futuro, sugere-se avaliar o impacto da redução da garantia física de empreendimentos interligados ao SIN, localizados em outras bacias hidrográficas, cujas CAV foram atualizadas pela ANA e aprovadas pelos respectivos concessionários.

## REFERÊNCIAS

AGEVAP/CEIVAP. Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul/Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba Do Sul. *Relatório técnico sobre a situação dos reservatórios com subsídios para ações de melhoria da gestão na bacia do rio Paraíba do Sul*. São Paulo: Vallenge Engenharia. 2010. 184 p. Disponível em: <www.ceivap.org.br/downloads2011/4-Rel2010SituRes.pdf>. Acesso em 6 jan. 2026.

AGEVAP/CEIVAP. Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul/Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba Do Sul. *Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul*. Relatório. Porto Alegre: Profill Engenharia e Ambiente, 2021. 418 p. Disponível em: <https://sigaceivap.org.br/publicacoesArquivos/ceivap/arq_pubMidia_Processo_030-2018-RF01.pdf>. Acesso em 6 jan. 2026.

Ahn, J.; Song, C. G. & Park, S. W. Integrated Prediction Model for Upstream Reservoir Sedimentation in a Weir: A Comprehensive Analysis Using Numerical and Experimental Approaches. *Water*, 16(574), 1-21, 2024. DOI: 10.3390/w16040574

Annandale, G. W.; Morris, G. L. & Karki, P. *Extending the life of reservoirs*. *In*: Sustainable Sediment Management for Dams and Run-of River Hydropower, World Bank Group, 2016. 193p. DOI: 10.1596/978-1-4648-0838-8

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. *Cota × Área × Volume dos Reservatórios de Usinas Hidrelétricas*. 2021. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/b8f0487a-df73-4f8d-8b22-bb49cf9f3683>. Acesso em 6 jan. 2026.

ANA/ANEEL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico/Agência Nacional de Energia Elétrica. *Resolução Conjunta nº 127, de 26 de julho de 2022*. Disponível em: <https://participacao-social.ana.gov.br/api/files/Resolucao_Conjunta_127_2022-1662398615456.pdf>. Acesso em 6 jan. 2026.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. *Contratos de Geração*. 2025. Disponível em: https://antigo.aneel.gov.br/contratos-de-geracao. Acesso em 6 jan. 2026.

CANAL ENERGIA. *A fusão da antiga CESP com os ativos de energia do Grupo Votorantim e da CPP Investments*. 2022. Disponível em: <https://www.canalenergia.com.br/noticias/53210795/auren-fara-operacao-temporaria-da-uhe-paraibuna-a-partir-de-junho>. Acesso em 6 jan. 2026.

CEIVAP. Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. O rio que temos e o rio que queremos. *Pelas Águas*, 15, 18-21, 2024. Disponível em: https://www.ceivap.org.br/downloads/revista15.pdf. Acesso em 6 jan. 2026.

CEPEL. Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. *Usinas Hidrelétricas - Função de Produção Hidrelétrica*. 2024. Disponível em: <https://see.cepel.br/manual/libs/latest/usinas_hidreletricas/funcao_producao_hidreletrica.html >. Acesso em 6 jan. 2026.

Collischonn, B.; Clarke, R. T. Estimativa e incerteza de curvas cota-volume por meio de sensoriamento remoto. *RBRH*, 21(4), 719-727, 2016. DOI: 10.1590/2318-0331.011616022

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. *BEN – Síntese 2025 – Ano Base 2024*. Relatório. Brasília: EPE, 2025. 74p. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoesArquivos/publicacao-885/topico-767/BEN_Síntese_2025_PT.pdf. Acesso em 6 jan. 2026.

FURNAS. Furnas Centrais Elétricas. *Usina de Funil*. 2025a. Disponível em: <https://www.furnas.com.br/subsecao/119/usina-de-funil---216-mw?culture=pt>. Acesso em 6 jan. 2026.

FURNAS. Furnas Centrais Elétricas. *Usina de Simplício*. 2025b. Disponível em: https://www.furnas.com.br/simplicioanta/?culture=pt . Acesso em 6 jan. 2026.

Hora, M. A. G. M. *Compatibilização da geração de energia em aproveitamentos hidrelétricos com os demais usos dos recursos hídricos.* Niterói: EDUFF, 2012. 102p.

Hora, M. A. G. M. Diagnóstico Preliminar das Condições Hidrossedimentológicas do Rio Paraíba do Sul e seus Principais Afluentes. *A ÁGUA EM REVISTA*, 6(10):27-35,1998. Disponível em: <https://acervo.sgb.gov.br/rpi_cprm/docreaderNET/DocReader.aspx?bib=Revistas&PagFis=1270>. Acesso em 6 jan. 2026.

Li, Y.; Gao, H.; Allen, G. H. & Zhang, Z. Constructing Reservoir Area–Volume–Elevation Curve from TanDEM-X DEM Data. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 14, p. 2249-2257, 2021. DOI: 10.1109/jstars.2021.3051103

LIGHT. Light Serviços de Eletricidade S/A. Usina de Ilha dos Pombos. 2024. Disponível em: <https://www.light.com.br/SitePages/page-blog-postagem.aspx?postId=86>. Acesso em 6 jan. 2026.

Miranda, R. B.; Scarpinella, G. A. & Mauad, F.F. *Influência do assoreamento na capacidade de armazenamento do Reservatório da usina hidrelétrica de Três Irmãos (SP/BRASIL). Recursos Hídricos,* 34(2), 69-80. 2013. DOI: 10.5894/rh34n2-6

MME. Ministério de Minas e Energia. *Portaria nº 709/GM/MME.* 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/acesso-a-informacao/legislacao/portarias/2022/portaria-n-709-gm-mme-2022.pdf>. Acesso em 6 jan. 2026.

MME. Ministério de Minas e Energia. *Portaria MME nº 178.* 2017a. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-352/topico-463/prt2017178mme.pdf>. Acesso em 6 jan. 2026.

MME. Ministério de Minas e Energia. *Portaria MME nº 406.* 2017b. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/acesso-a-informacao/legislacao/portarias/2017/portaria-n-406-2017.pdf/view>. Acesso em 6 jan. 2026.

MME. Ministério de Minas e Energia. *Portaria MME nº 101.* 2016. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/acesso-a-informacao/legislacao/portarias/2016/portaria-n-101-2016.pdf/view>. Acesso em 6 jan. 2026.

ONS. Operador Nacional do Sistema Elétrico. *Comunicado sobre a Operação da Usina Santo Antônio*. 2025. Disponível em: <https://www.ons.org.br/Paginas/Noticias/20231002-Comunica%C3%A7%C3%A3o-sobre-a-Opera%C3%A7%C3%A3o-da-Usina-Santo-Ant%C3%B4nio.aspx>. Acesso em 6 jan. 2026.

ONS. Operador Nacional do Sistema Elétrico. *O Sistema Interligado Nacional*. 2025a. Disponível em: <https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-que-e-o-sin>. Acesso em 6 jan. 2026.

ONS. Operador Nacional do Sistema Elétrico. *Manual de Procedimentos da Operação Módulo 5 - Submódulo 5.11 - Cadastro de Informações Operacionais - Cadastro de Informações Operacionais Hidráulicas da Bacia do rio Paraíba do Sul*. Relatório. 2025c. Disponível em: <https://www.ons.org.br/MPO/Documento%20Normativo/2.%20Cadastros%20de%20Informa%C3%A7%C3%B5es%20Operacionais%20-%20SM%205.11/2.3.%20Cadastros%20de%20Informa%C3%A7%C3%B5es%20Operacionais%20Hidr%C3%A1ulicas/CD-OR.AE.PBS_Rev.14.pdf>. Acesso em 6 jan. 2026.

ONS. Operador Nacional do Sistema Elétrico. *Manual de Procedimentos da Operação - Elaboração dos Cadastros de Informações Operacionais Hidráulicas - RT-CD.OR.01 – Rev. 6*. Relatório. Rio de Janeiro: ONS. 2023. 29p. Disponível em: <https://www.ons.org.br/%2FMPO%2FDocumento%20Normativo%2F7.%20Refer%C3%AAncias%20T%C3%A9cnicas%2F7.11.%20Cadastros%20de%20Informa%C3%A7%C3%B5es%20Operacionais%2FRT-CD.OR.01_Rev.06.pdf>. Acesso em 6 jan. 2026.

ONS. Operador Nacional do Sistema. *O Planejamento da Operação Energética no Sistema Interligado Nacional: Conceitos, modelagem matemática, previsão de geração e carga*. São Paulo: Artliber, 2020.

ONS. Operador Nacional do Sistema Elétrico. *Submódulo 7.7 - Metodologia de cálculo da energia e da potência asseguradas de usinas despachadas centralizadamente. Relatório*. 2008. Disponível em: <https://www.ons.org.br/%2FProcedimentosDeRede%2FM%C3%B3dulo%207%2FSubm%C3%B3dulo%207.7%2FSubm%C3%B3dulo%207.7_Rev_0.3.pdf>. Acesso em 6 jan. 2026.

Santos, F. A. *Potenciais impactos das mudanças do uso do solo na produção e transporte de sedimentos na bacia do rio Paraíba do Sul*. Dissertação (Mestrado em Desastres Naturais) — Instituto de Ciência e Tecnologia — Universidade Estadual Paulista — Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais, São José dos Campos, 2024. 41 p.

SOC/ANA. Superintendência de Outorga e Cobrança/Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Nota Técnica nº 310/2005/SOC. 2005. Disponível em: <https://portal1.snirh.gov.br/arquivos/drdh/NT_UHE_Simplicio.pdf>. Acesso em 6 jan. 2026.

Souza Jr., D. I. A degradação da bacia do rio Paraíba do Sul. *Engevista*, 6(3), 2004. DOI: 10.22409/engevista.v6i3.148

SRG/SGH/ANEEL. Superintendência de Regulação dos Serviços de Geração/Superintendência de Gestão e Estudos Hidroenergéticos/Agência Nacional de Energia Elétrica. *Nota Técnica nº 063/2012-SRG-SGH/ANEEL*. 2012. Disponível em: <https://antigo.aneel.gov.br/web/guest/audiencias-publicas-antigas?p_p_id=participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_pos=1&p_p_col_count=2&_participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_ideDocumento=3791&_participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_tipoFaseReuniao=fase&_participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_jspPage=%2Fhtml%2Fpp%2Fvisualizar.jsp >. Acesso em 6 jan. 2026.

TCU. Tribunal de Contas da União. Acórdão 1361/2018. Disponível em: <https://pesquisa.apps.tcu.gov.br/documento/acordao-

completo/*/NUMACORDAO%253A1631%2520ANOACORDAO%253A2018/DTRELEVANCIA%2520desc%252C%2520NUMACORDAOINT%2520desc/0/%2520>. Acesso em 6 jan. 2026.