

**Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática da
Área Ambiental I – Porção Capixaba do Rio Doce e Região
Marinha e Costeira Adjacente**

**Material Suplementar Ambiente Dulcícola – Tema Bacia Integração -
Reflexos De Ações Na Bacia Do Doce Nos Sistemas Aquáticos
Continental E Marinho**

RT- 43/ JUN 23

RA2022 PMBA/Fest

Vitória,

Junho de 2023

SUMÁRIO

1	HISTÓRICO DE MALHA E FREQUÊNCIA AMOSTRAL	4
2	METODOLOGIA	4
2.1	COLETA	4
2.1.1	Caracterização hidrológica global para compreensão do aporte de água doce e do transporte de sedimentos no ambiente estuarino-marinho do Rio Doce	4
2.1.2	Caracterização e análise de interrelações envolvendo ações na bacia hidrográfica e aspectos de quantidade/qualidade da água e biodiversidade aquática.....	13
2.1.3	Hidrologia e transporte de sedimentos	13
2.2	ANÁLISE.....	14
2.2.1	Caracterização hidrológica global para compreensão do aporte de água doce e do transporte de sedimentos no ambiente estuarino-marinho do Rio Doce	14
2.2.2	Caracterização e análise de interrelações envolvendo ações na bacia hidrográfica e aspectos de quantidade/qualidade da água e biodiversidade aquática.....	35
2.2.3	Hidrologia e transporte de sedimentos	38
2.3	HISTÓRICO DE ALTERAÇÕES E ADAPTAÇÕES DE METODOLOGIAS.....	39
3	RESULTADOS DOS INDICADORES	39
3.1	CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA GLOBAL PARA COMPREENSÃO DO APORTE DE ÁGUA DOCE E DO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS NO AMBIENTE ESTUARINO-MARINHO DO RIO DOCE	40
3.1.1	PRODUÇÃO DE ÁGUA NA BACIA DO RIO DOCE	40
3.2	CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DE INTERRELAÇÕES ENVOLVENDO AÇÕES NA BACIA HIDROGRÁFICA E ASPECTOS DE QUANTIDADE/QUALIDADE DA ÁGUA E BIODIVERSIDADE AQUÁTICA	58
3.2.1	QUANTIDADE DE MATERIAL DRAGADO NA UHE RISOLETA NEVES	58
3.2.2	ÍNDICE DE REPASSE PARA AÇÕES DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO	60
3.2.3	ÍNDICE DE NASCENTES RECUPERADAS.....	63
3.2.4	ÍNDICE DE ÁREAS REFLORESTADAS	65
3.2.5	ÍNDICE DE ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE RECUPERADAS	67
3.3	HIDROLOGIA E TRANSPORTE DE SEDIMENTOS.....	69

3.3.1	VAZÃO.....	69
3.3.2	RESULTADOS DE FLUXOS DE METAIS.....	71
3.3.3	RESULTADOS DE FLUXOS DE NUTRIENTES	72
4	ITENS PREVISTOS E NÃO REALIZADOS: JUSTIFICATIVAS	73
5	REFERÊNCIAS	74

1 HISTÓRICO DE MALHA E FREQUÊNCIA AMOSTRAL

O histórico de malha e frequência amostrais do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática da Área Ambiental I (PMBA/Fest) abrange informações de suma importância para o balizamento do presente programa, uma vez que passou por modificações ao longo do tempo, visando melhor atender aos objetivos do PMBA/Fest. Estas alterações foram aprovadas pela Câmara Técnica da Biodiversidade (CTBio) por meio de: (1) ofício SEI nº 1/2020-CTBio/DIBIO/ICMBio, de outubro de 2019 (para o período de transição) e (2) Proposta Técnica de continuação do monitoramento, apresentada no primeiro semestre de 2022 visando o “Novo Ciclo do PMBA/Fest”.

As modificações implementadas se encontram nos seguintes Materiais Suplementares: 1) **MS - Malha e frequência amostrais**, onde as diferentes malhas e frequências amostrais são apresentadas nas abas “Ano 1”, “Transição”, “Novo Ciclo” e “Histórico Frequências” e 2) **MS – Mapas das malhas amostrais**, com a espacialização referente às malhas amostrais dos Ambientes. Como forma de esclarecer os períodos contemplados em cada uma delas, “Ano 1” se refere às estações amostrais coletadas entre setembro de 2018 e setembro de 2019, “Transição” às estações entre outubro de 2019 e julho de 2022 e “Novo Ciclo” referente às estações amostrais coletadas a partir de agosto de 2022.

2 METODOLOGIA

A metodologia apresentada contempla o escopo em vigência no momento de entrega deste relatório, ou seja, as amostragens e análises previstas para o Novo Ciclo do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática – PMBA submetidas à Fundação Renova através do FORMULÁRIO DE APRESENTAÇÃO DE PLANO DE TRABALHO em 31 de agosto de 2022. Após a descrição da metodologia implementada, será apresentado um breve descritivo sobre as modificações metodológicas (parâmetros, análise de parâmetros ou grupo de parâmetros, dentre outros) que ocorreram ao longo da evolução do PMBA/Fest a fim de determinar os indicadores.

2.1 COLETA

2.1.1 Caracterização hidrológica global para compreensão do aporte de água doce e do transporte de sedimentos no ambiente estuarino-marinho do Rio Doce

As estações pluviométricas existentes no interior e áreas lindeiras da bacia do Rio Doce foram identificadas por meio de consultas aos bancos de dados da Agência Nacional de Águas – ANA, Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM, Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural – Incaper, Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais – CEMADEN e Instituto Nacional de Meteorologia – INMET.

As estações existentes tiveram suas posições geográficas determinadas em shapefile e seus dados foram analisados em termos de consistência, disponibilidade e modo de obtenção, tendo as mesmas

sido divididas em dois grupos: (1) estações que possuem longa série histórica e, (2) estações que apresentam dados diários recentes.

No grupo das estações de longa série histórica, estão as que apresentam séries descontinuadas e as que tiveram coleta de dados interrompidas. Assim, foram escolhidas aquelas com pelo menos 30 anos de dados contínuos entre 1985 e 2014, período em que os dados disponibilizados pela ANA se encontram consistidos. Este grupo é composto por 90 estações, todas operadas pela Agência Nacional de Água e Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (ANA/CPRM).

A Tabela 1 apresenta dados das estações que apresentam longa série histórica, enquanto a Figura 1 apresenta a espacialização das mesmas ao longo da bacia do rio Doce.

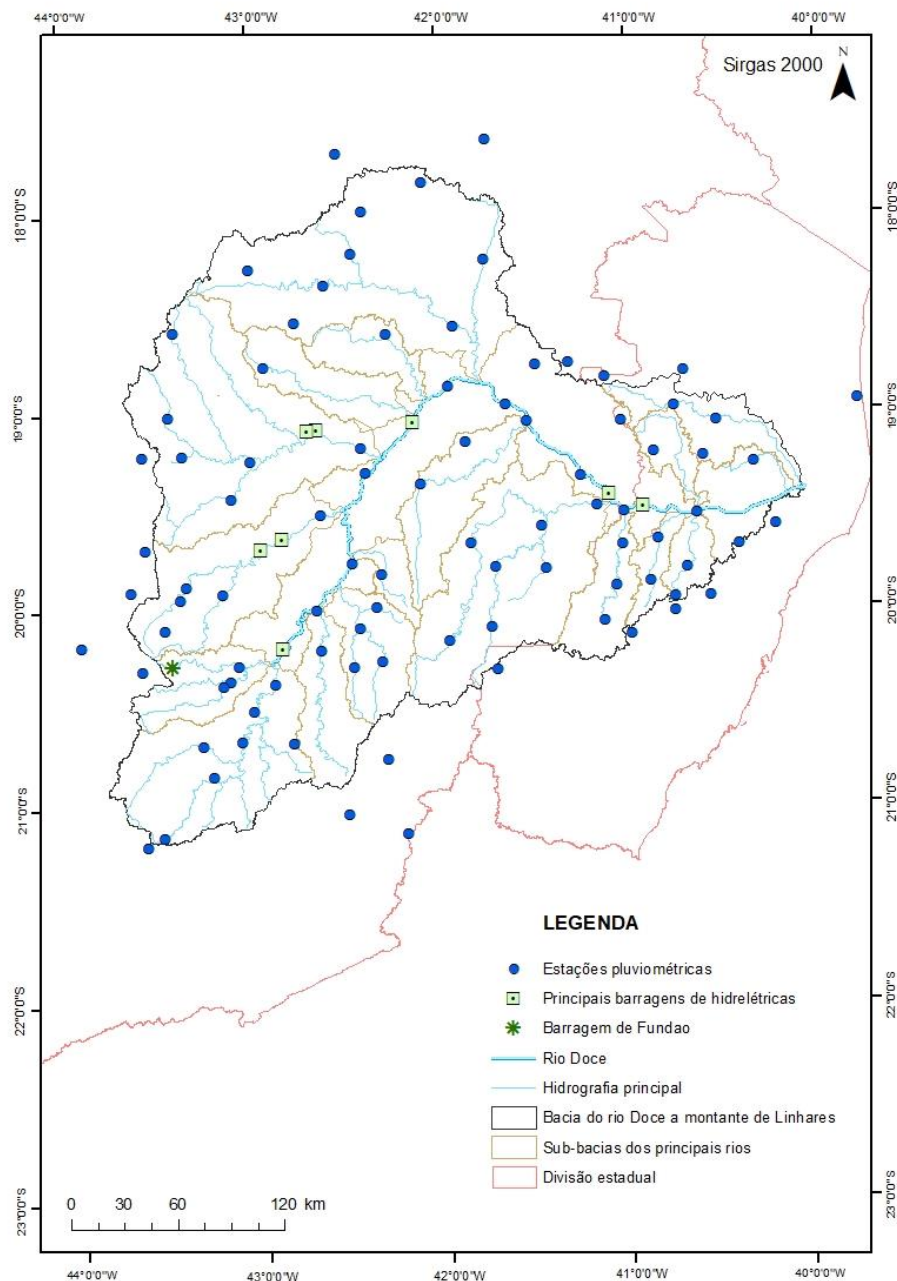
Tabela 1: Estações pluviométricas apresentando longas séries históricas na bacia do Rio Doce

Resp./Operadora	Código	Estação	Latitude	Longitude
ANA/CPRM	2042010	Abre Campo	-20.69055556	-43.29944444
ANA/CPRM	2043009	Acaiaca Jusante	-20.67027778	-43.08805556
ANA/CPRM	2041023	Afonso Cláudio montante	-20.3625	-43.14388889
ANA/CPRM	1742019	Água Boa	-20.39	-43.18027778
ANA/CPRM	1840000	Águia Branca	-17.84555556	-42.07555556
ANA/CPRM	1941012	Alto Rio Novo	-17.99222222	-42.39388889
ANA/CPRM	1941006	Assaraí montante	-18.57472222	-41.91777778
ANA/CPRM	1941003	Baixo Guandu	-18.23861111	-41.74861111
ANA/CPRM	1940016	Barra de São Gabriel	-18.88305556	-41.95027778
ANA/CPRM	1941005	Barra do Cuieté jusante	-18.77694444	-41.48277778
ANA/CPRM	1839006	Barra Nova	-18.55277778	-42.76416667
ANA/CPRM	1942030	Belo Oriente	-19.31638889	-42.39611111
ANA/CPRM	2042014	Bicuiba	-18.59277778	-43.4125
ANA/CPRM	1942002	Bom Jesus do Galho	-18.61194444	-42.27861111
ANA/CPRM	2043026	Braz Pires	-18.97638889	-41.64027778
ANA/CPRM	1942031	Cachoeira dos Óculos montante	-19.76944444	-42.47694444
ANA/CPRM	1943010	Caeté	-18.36305556	-42.60222222
ANA/CPRM	1940020	Caldeirão	-18.27972222	-43.00055556
ANA/CPRM	1841003	Campanário	-18.77222222	-42.93111111
ANA/CPRM	1742014	Capelinha	-18.20111111	-42.45527778
ANA/CPRM	1940005	Cavalinho	-19.79888889	-41.70611111
ANA/CPRM	1840010	Cedrolândia	-19.06166667	-41.53277778
ANA/CPRM	1841018	Central de Minas	-19.67833333	-41.83611111
ANA/CPRM	1940006	Colatina - Corpo de Bombeiros	-19.16166667	-41.86222222
ANA/CPRM	2043059	Colégio Caraça	-19.01666667	-43.44416667
ANA/CPRM	1943002	Conc. do Mato Dentro	-19.44027778	-43.11861111
ANA/CPRM	1842005	Coroaci	-19.59472222	-41.45805556
ANA/CPRM	2143003	Desterro do Melo	-19.2175	-43.37416667
ANA/CPRM	1841019	Divino de Laranjeiras	-19.99888889	-42.3475
ANA/CPRM	1942008	Dom Cavati	-19.25027778	-43.01444444

Resp./Operadora	Código	Estação	Latitude	Longitude
ANA/CPRM	2041008	Dores do Manhumirim	-19.34305556	-41.24611111
ANA/CPRM	2043056	Fazenda Água Limpa Jusante	-19.92277778	-43.17777778
ANA/CPRM	2042031	Fazenda Cachoeira D´Antas	-19.94527778	-43.40111111
ANA/CPRM	2043027	Fazenda Ocidente	-19.81111111	-41.43777778
ANA/CPRM	2043011	Fazenda Paraíso	-19.37361111	-42.105
ANA/CPRM	2142004	Fazenda Umbaúbas	-19.4925	-41.16166667
ANA/CPRM	2041048	Fazenda Vargem Alegre	-19.83361111	-42.31777778
ANA/CPRM	1943003	Ferros	-19.52472222	-42.64416667
ANA/CPRM	2040008	Garrafão (DNOS)	-19.88083333	-43.3675
ANA/CPRM	1841020	Governador Valadares	-20.10805556	-41.72833333
ANA/CPRM	1842007	Guanhães	-20.10361111	-42.44
ANA/CPRM	1941009	Ibituba	-20.29888889	-42.47805556
ANA/CPRM	1941000	Ipanema	-20.21472222	-42.65222222
ANA/CPRM	1940012	Itaimbé	-20.01138889	-42.67416667
ANA/CPRM	1941018	Itanhomi	-20.09694444	-43.48805556
ANA/CPRM	1940000	Itarana	-20.6825	-42.80666667
ANA/CPRM	1940022	Jacupemba	-20.38472222	-42.90277778
ANA/CPRM	1943024	José de Melo	-20.28555556	-43.09888889
ANA/CPRM	1741006	Ladainha	-20.8475	-43.24194444
ANA/CPRM	2043002	Lagoa Grande	-20.51666667	-43.01666667
ANA/CPRM	1941008	Laranja da Terra	-21.14916667	-43.52
ANA/CPRM	1742017	Malacacheta	-20.27722222	-42.32555556
ANA/CPRM	1841009	Mantenópolis	-20.17055556	-41.96111111
ANA/CPRM	1942029	Mario de Carvalho	-19.90111111	-41.05805556
ANA/CPRM	2042017	Matipó	-20.07861111	-41.12138889
ANA/CPRM	1943025	Morro do Pilar	-18.98555556	-40.74611111
ANA/CPRM	1941019	Mutum	-19.69111111	-41.02
ANA/CPRM	1942032	Naque Velho	-19.18861111	-42.42277778
ANA/CPRM	1940013	Novo Brasil	-19.52361111	-41.01416667
ANA/CPRM	1940009	Pancas	-19.53083333	-40.62305556
ANA/CPRM	2142002	Patrocínio do Muriaé	-19.2375	-40.59138889
ANA/CPRM	2043010	Piranga	-19.69222222	-40.39805556
ANA/CPRM	2042018	Ponte Nova jusante	-19.66361111	-40.83527778
ANA/CPRM	2043014	Porto Firme	-19.87444444	-40.87444444
ANA/CPRM	2042008	Raul Soares montante	-19.27416667	-40.32083333
ANA/CPRM	1941004	Resplendor jusante	-19.05777778	-40.51638889
ANA/CPRM	1940023	Rio Bananal	-19.22027778	-40.85333333
ANA/CPRM	2042011	Rio Casca	-19.05916667	-41.0275
ANA/CPRM	1943001	Rio Piracicaba	-19.80527778	-40.67888889
ANA/CPRM	1843012	Rio Vermelho	-19.955	-40.74166667
ANA/CPRM	1943007	Santa Barbara	-17.62944444	-41.73722222
ANA/CPRM	2041017	Santa Cruz Caparaó	-17.69166667	-42.52611111
ANA/CPRM	1943008	Santa Maria do Itabira	-18.76305556	-41.30833333

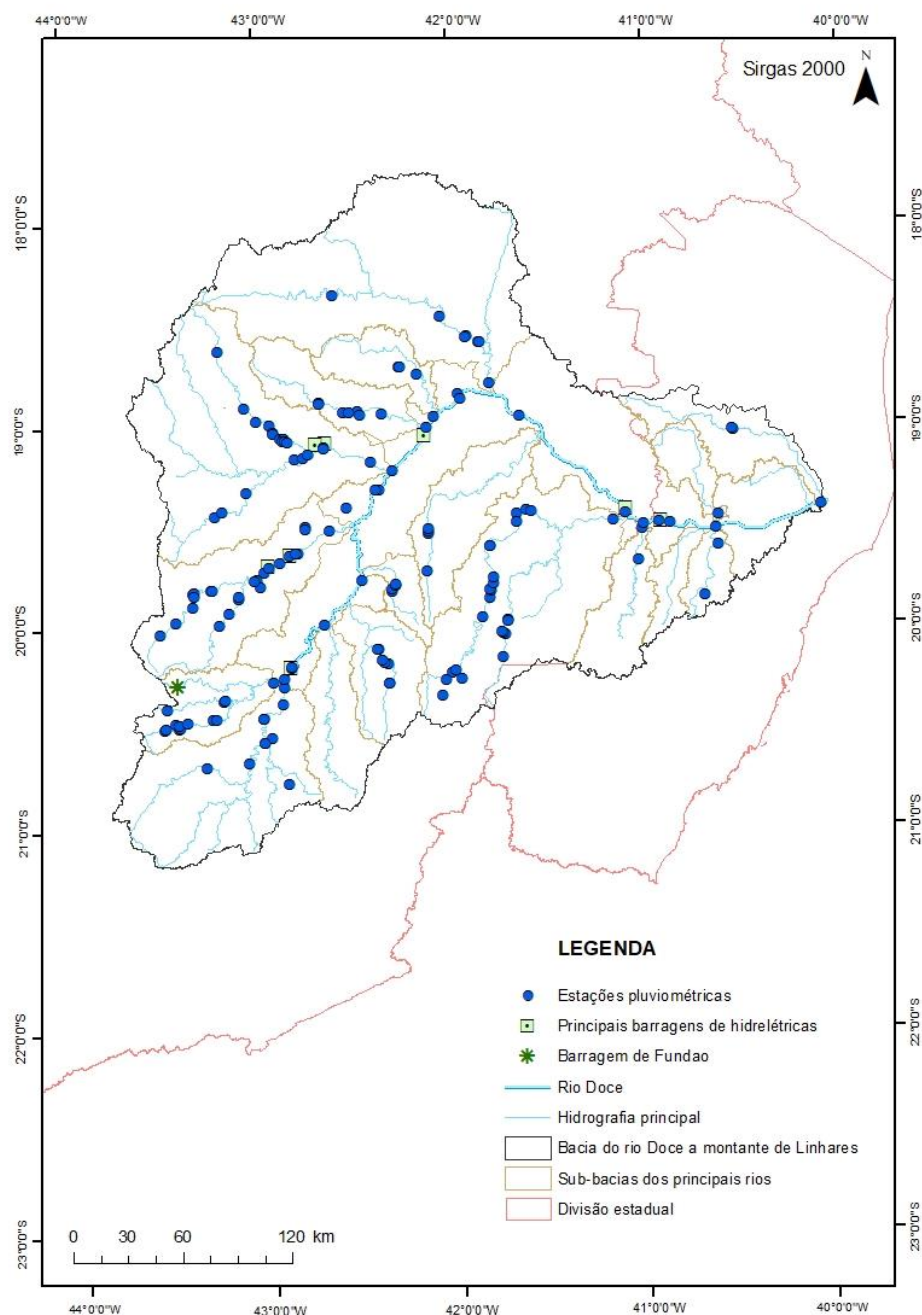
Resp./Operadora	Código	Estação	Latitude	Longitude
ANA/CPRM	2040007	Santa Maria de Jetibá	-19.90277778	-43.66638889
ANA/CPRM	1842008	Santa Maria do Suaçuí	-19.68972222	-43.58555556
ANA/CPRM	1941011	Santo Antônio do Manhuaçu	-19.21888889	-43.58805556
ANA/CPRM	1940001	São João de Petrópolis	-20.76944444	-42.30111111
ANA/CPRM	1842020	São João Evangelista	-20.17916667	-43.94277778
ANA/CPRM	2042016	São Miguel do Anta	-20.30305556	-43.61583333
ANA/CPRM	1842004	São Pedro do Suaçuí	-21.05027778	-42.51555556
ANA/CPRM	1941010	São Sebastião da Encruzilhada	-21.15	-42.20111111
ANA/CPRM	1843011	Serro	-21.19277778	-43.61388889
ANA/CPRM	1841011	Tumiritinga	-19.58861111	-40.19805556
ANA/CPRM	2043025	Usina da Brecha	-20.32277778	-41.70416667
ANA/CPRM	1943027	Usina Peti	-18.83888889	-41.11027778
ANA/CPRM	1940010	Valsugana Velha montante	-18.80972222	-40.69055556
ANA/IGAM	2143007	Vargem do Engenho	-20.14333333	-40.97527778
ANA/CPRM	1943035	Vau da Lagoa	-20.02805556	-40.74416667
ANA/CPRM	1942006	Vermelho Velho	-19.95333333	-40.5525
ANA/CPRM	1841001	Vila Matias montante	-18.95027778	-39.76444444

Figura 1: Espacialização das estações pluviométricas apresentando longas séries históricas na bacia do Rio Doce



No grupo das estações com dados recentes, estão incluídas aquelas cujos dados são disponibilizados na internet diariamente ou em tempo real. Tratam-se das estações operadas pelo INMET, CEMADEN e Telemetria ANA, cujos dados foram compilados diariamente durante o período de estudo.

Figura 2: Espacialização das estações telemétricas na bacia do Rio Doce



As estações que apresentam dados pluviométricos de longo prazo tiveram seus dados compilados em planilha eletrônica, sendo os totais pluviométricos mensais calculados.

As estações fluviométricas localizadas na bacia do rio Doce, assim como os responsáveis por suas operações, foram identificadas e, em seguida, espacializadas, utilizando sistema de informações geográficas. Das estações identificadas nesta fase, algumas não estão mais em operação e outras apresentam séries históricas com muitas falhas ou estão localizadas muito próximas de outras. Assim, 38 estações foram consideradas adequadas para caracterização fluviométrica da bacia do Rio Doce. A Figura 3 apresenta a espacialização das 38 estações fluviométricas na bacia do Rio Doce. Destas,

cinco estações estão localizadas na calha do rio Doce, cinco localizadas no rio Piranga e no rio Santo Antônio, quatro estações no rio Manhuaçu, três estações nos rios Itambacuri e Piracicaba, duas estações no rio Corrente, no rio Caratinga e no rio do Carmo e uma estação em cada um dos seguintes rios: Casca, Guandu, Guanhães, Matipó, Pancas, Sacramento, Santa Joana, Santa Maria do rio Doce e São José. O rio Suaçuí Pequeno possui uma estação (Fazenda Aconchego) que se encontra também especializada; porém, a mesma possui poucos dados disponíveis, não constituindo uma série histórica e, portanto, não foi utilizada em análises estatísticas subsequentes.

Os dados das estações foram consistidos em escritório com a eliminação dos anos com falhas superiores a vinte dias e preenchimento de falhas para os anos com menos de 20 dias de falha. Para o preenchimento das falhas, foram utilizados dados das estações mais próximas localizadas nos mesmos cursos d'água das estações com séries a serem preenchidas. A Tabela 2 apresenta a listagem das estações e as operações executadas nas suas séries para consistência de seus dados. Das 38 estações, 36 tiveram os dados referentes ao ano 1988 eliminado devido ao grande número de falhas. A estação Dom Cavati teve dados relativos a três anos eliminados da análise (1988, 1991 e 1993), enquanto as estações Porto de Santa Rita, Instituto Florestal Raul Soares, Rio Piracicaba, Barra do Cuieté Jusante, Barra de São Gabriel, Colatina, Ponte do Pancas e Jusante Córrego da Piaba tiveram dados relativos a dois anos eliminados. Quatro estações tiveram dados preenchidos durante o processamento de consistência de dados, Instituto Florestal Raul Soares, Mário de Carvalho, Colatina e Jusante Córrego da Piaba.

Para a maioria das estações, as séries históricas consideradas compreenderam registros relativos aos anos de 1985 a 2014. Exceções dizem respeito às estações Nova Era IV, Mario de Carvalho e Belo Oriente. Para a primeira, a série histórica abrangeu o período 1990-2016, enquanto que para as estações Mario de Carvalho e Belo Oriente as séries abrangeram o período 1987-2016.

Figura 3: Espacialização das estações fluviométricas na Bacia do Rio Doce a montante de Linhares

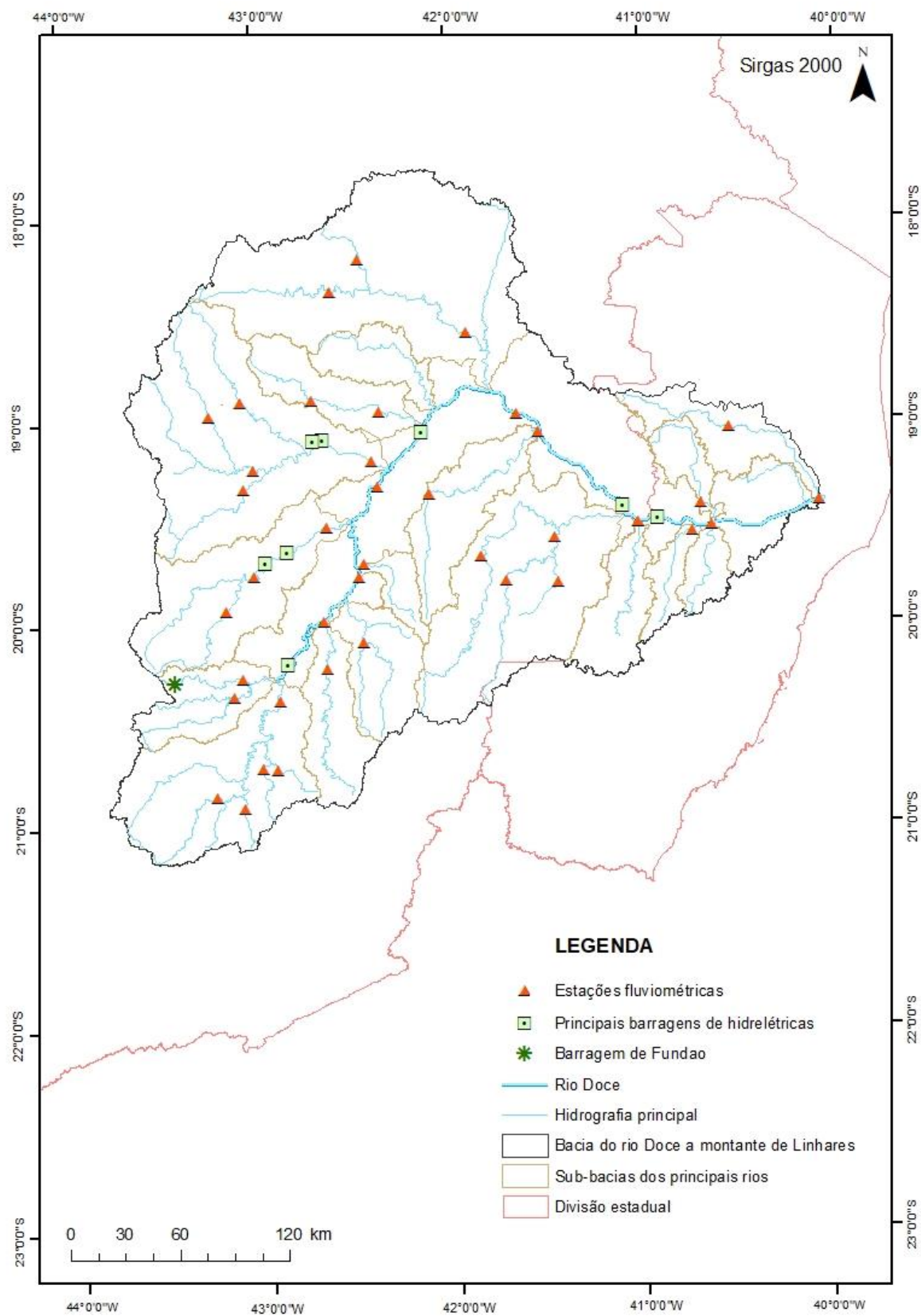


Tabela 2: Verificação da consistência de dados fluviométricos das 38 estações da Bacia do Rio Doce

Código	Estação	Anos eliminados	Preenchimento de falhas
56846000	Porto de Santa Rita	1988 e 1989	-
56055000	Braz Pires	1988	-
56090000	Fazenda Varginha	1988	-
56110005	Ponte Nova Jusante	1988	-
56335001	Acaiaca Jusante	1988	-
56337000	Fazenda Ocidente	1988	-
56425000	Fazenda Cachoeira D'Antas	1988	-
56510000	Instituto Florestal Raul Soares	1988 e 2009	Dez. 2008
56539000	Cachoeira dos Óculos Montante	1988	-
56570000	Pingo D'Água	1988	-
56610000	Rio Piracicaba	1986 e 1988	-
56659998	Nova Era IV	-	-
56696000	Mário de Carvalho	1988	Mai. 1985, jul. 2016 e set. 2016
56719998	Belo Oriente	1988	-
56765000	Dom Joaquim	1988	-
56775000	Ferros	1988	-
56787000	Fazenda Barraca	1988	-
56800000	Senhora do Porto	1988	-
56825000	Naque Velho	1988	-
56845000	Fazenda Corrente	1988	-
56860000	São Pedro do Suaçuí	1988	-
56870000	Santa Maria do Suaçuí	1988	-
56891900	Vila Matias Montante	1988	-
56920000	Tumiritinga	1988	-
56935000	Dom Cavati	1988, 1991 e 1993	-
56940002	Barra do Cuieté Jusante	1988 e 1993	-
56978000	Santo Antônio do Manhuaçu	1988	-
56988500	Ipanema	1988	-
56989001	Mutum	1988	-
56989400	Assaraí montante	1988	-
56998400	Barra de São Gabriel	1988 e 1989	-
56992000	Baixo Guandu	1988	-
56994500	Colatina	1988 e 1989	Jan. 1985 e fev. 1985
56995500	Ponte do Pancas	1988 e 1989	-
56993551	Jusante Córrego da Piaba	1990 e 1989	Mar 1995
56075000	Porto Firme	1988	-
56085000	Seriquite	1988	-
56065000	Senador Firmino	1988	-

Com o objetivo de verificar a origem das águas que compunham as vazões do rio Doce durante as campanhas de monitoramento, foi realizada uma verificação das vazões das sub-bacias no período

anterior às campanhas, pelo fato de ser considerável a influência do rio Doce no período anterior às campanhas de monitoramento. Como a influência do reservatório da Usina Hidrelétrica Eliezer Batista (Aimorés) foi considerada significativa na mistura das águas originadas a montante deste, a análise utilizou as vazões do rio Doce que afluem no lago e as vazões das estações a jusante do reservatório, que estão situadas nas bacias dos rios Pancas, Manhuaçu, Guandu, Santa Joana, São José, Colatina e Santa Maria do Rio Doce.

2.1.2 Caracterização e análise de interrelações envolvendo ações na bacia hidrográfica e aspectos de quantidade/qualidade da água e biodiversidade aquática

Para o desenvolvimento dos produtos deste subprojeto, foram identificadas, levantadas, atualizadas e analisadas ações de diferentes naturezas, por meio de coleta e análise de dados secundários obtidos em bases de dados públicas, relatórios técnicos de instituições governamentais, artigos técnico-científicos, atas de reuniões das câmaras técnicas e do CIF e a partir do levantamento de Relatórios Técnicos Anuais e de acompanhamento dos programas implementados pela Fundação Renova, que descrevem o andamento das atividades, como também as quantias investidas.

As ações selecionadas por estarem relacionadas com impactos nos fluxos de água e sedimentos foram: saneamento básico (eixo esgoto); recuperação de Áreas de Preservação Permanentes (APPs); proteção e recuperação de nascentes; reflorestamento; e manejo de rejeitos em reservatórios. Relaciona-se a execução das ações de reflorestamento, recuperação de APP e proteção de nascentes principalmente ao aporte de sedimentos, enquanto as ações de saneamento básico relacionadas ao eixo esgoto, influenciam diretamente na carga de DBO lançada no Rio Doce e em seus afluentes. Além destas, foi selecionada a ação de manejo de rejeitos no reservatório da UHE Risoleta Neves em função da mobilização dos mesmos e do transporte para jusante.

2.1.3 Hidrologia e transporte de sedimentos

As medições de vazão e fluxos d'água foram feitas com ADCP River Ray, em seções transversais do Rio Doce nas estações amostrais. Para estimativas de descargas sólidas foram coletadas amostras da mistura água/sedimentos para análise de sedimentos suspensos, e amostras de sedimentos de fundo. As medições de descargas sólidas de sedimentos em suspensão foram realizadas pelo método Igual Incremento de Largura, com uso de amostrador de integração na vertical. Foram coletadas amostras de sedimento de fundo, com uso de draga, para determinação das distribuições granulométricas dos materiais dos leitos. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e identificadas. Todas as amostras coletadas foram enviadas ao LABHIDRO/UFES para análises de concentração e granulometria de sólidos suspensos e de fundo.

2.2 ANÁLISE

2.2.1 Caracterização hidrológica global para compreensão do aporte de água doce e do transporte de sedimentos no ambiente estuarino-marinho do Rio Doce

Os principais fatores que influem no regime hídrico de uma região são a topografia, a capacidade de infiltração dos solos (estritamente ligada ao uso e ocupação, às suas condições físicas como porosidade, textura, estrutura, entre outros) e o regime climático local, principalmente pluviosidade e os fatores que interferem na evapotranspiração (vento, radiação solar, temperatura e umidade relativa do ar). A espacialização dessas variáveis reflete na diferenciação do regime fluviométrico de uma bacia ou das sub-bacias que a compõem, como é o caso da Bacia do Rio Doce.

Foi aplicada a modelagem hidrológica à Bacia do Rio Doce, justificada pelo fato de que a publicação de dados fluviométricos das estações na bacia do rio Doce não ocorre em tempo real, o que dificulta a interpretação dos dados quanto à origem das águas monitoradas por este PMBA/FEST, isto é, qual a percentagem da água monitorada em um determinado dia que vem da região próxima à barragem de Fundão e qual é a percentagem vinda de sub-bacias não impactadas pelo rompimento da barragem. Como as estações gerenciadas pelo CEMADEN e pelo Gestor PCD publicam diariamente dados pluviométricos, julgou-se conveniente ajustar um modelo hidrológico à bacia do rio Doce para simular vazões tendo dados pluviométricos como uma das variáveis de entrada, de forma a auxiliar nas análises.

Dentre os modelos hidrológicos disponíveis, decidiu-se por utilizar o SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*). Trata-se de um modelo hidrológico de simulação diária integrado a um Sistema de Informações Geográficas que permite a representação da bacia hidrográfica estudada em *layers*, sendo possível, desta forma, utilizar modelos digitais de elevação, mapas de solo e uso e ocupação do solo como dados de entrada e estudar o comportamento hidrológico das diversas variáveis de entrada, inclusive as ligadas ao clima. O modelo foi desenvolvido pelo *US Department of Agriculture - Agricultural Research Service* no *Soil and Water Research Laboratory*, em *Temple no Texas, EUA*, em 1990 e vem sofrendo atualizações constantes ao longo dos anos.

O SWAT permite que diferentes processos físicos sejam simulados em uma bacia hidrográfica com o objetivo de analisar os impactos das alterações no uso do solo sobre o escoamento superficial e subterrâneo, produção de sedimentos e qualidade da água em bacias hidrográficas não instrumentadas (MACHADO, 2002). O modelo é dividido em oito componentes de dados (MARCHIORO, 2008):

- **Clima:** possibilita a geração estocástica de dados climáticos através do algoritmo baseado na cadeia de *Markov* para uma localidade específica, tais como precipitação, temperatura, velocidade do vento e radiação solar.
- **Hidrologia:** calcula a infiltração, o movimento da água no solo, umidade relativa, balanço hídrico diário, fluxo subterrâneo lateral, escoamento superficial e retorno do fluxo.
- **Crescimento de plantas:** simula as mudanças temporais das plantas e resíduos, tais como altura da copa, profundidade de raiz e biomassa produzida.

- **Solos:** requer parâmetros físicos (profundidade do perfil e dos horizontes, textura, entre outros) e hídricos (condutividade hidráulica e disponibilidade de água por horizonte).
- **Processo de erosão/sedimentação:** governado pela MUSLE (*Modified Universal Soil Loss Equation*) que utiliza o escoamento para simular a erosão e produção de sedimentos.
- **Nutrientes e pesticidas:** o modelo simula o comportamento para a variável encosta e a propagação no canal fluvial.
- **Manejo:** permite que o usuário indique o tipo, início e fim do manejo para que o modelo possa simular sua variação temporal.

O SWAT é classificado como um modelo baseado em processos, incorporando equações que descrevem a relação entre as variáveis do sistema. É também classificado como um modelo distribuído, pois subdivide a bacia hidrográfica em sub-bacias ou Unidades de Resposta Hidrológica (URH) de modo a refletir a diferença do tipo de solo, cobertura vegetal, topografia e uso do solo em cada URH, sendo possível a subdivisão da bacia em centenas a milhares de unidades, cada uma representando um sistema aberto (ANDRIOLO *et al*, 2008).

As URH são aglomerados de células que possuem idênticas características de vegetação, tipo de solo, práticas conservacionistas, dentre outros e são fundamentais quando diferentes áreas da bacia hidrográfica são dominadas por usos e tipos de solo diferentes (NEITSCH *et al*, 2005).

Após os trabalhos de coleta e compilação de dados hidrológicos, a simulação hidrológica se dividiu em quatro etapas:

- Elaboração de mapas.
- Calibração do modelo
- Modelagem hidrológica atual.
- Análise dos resultados.

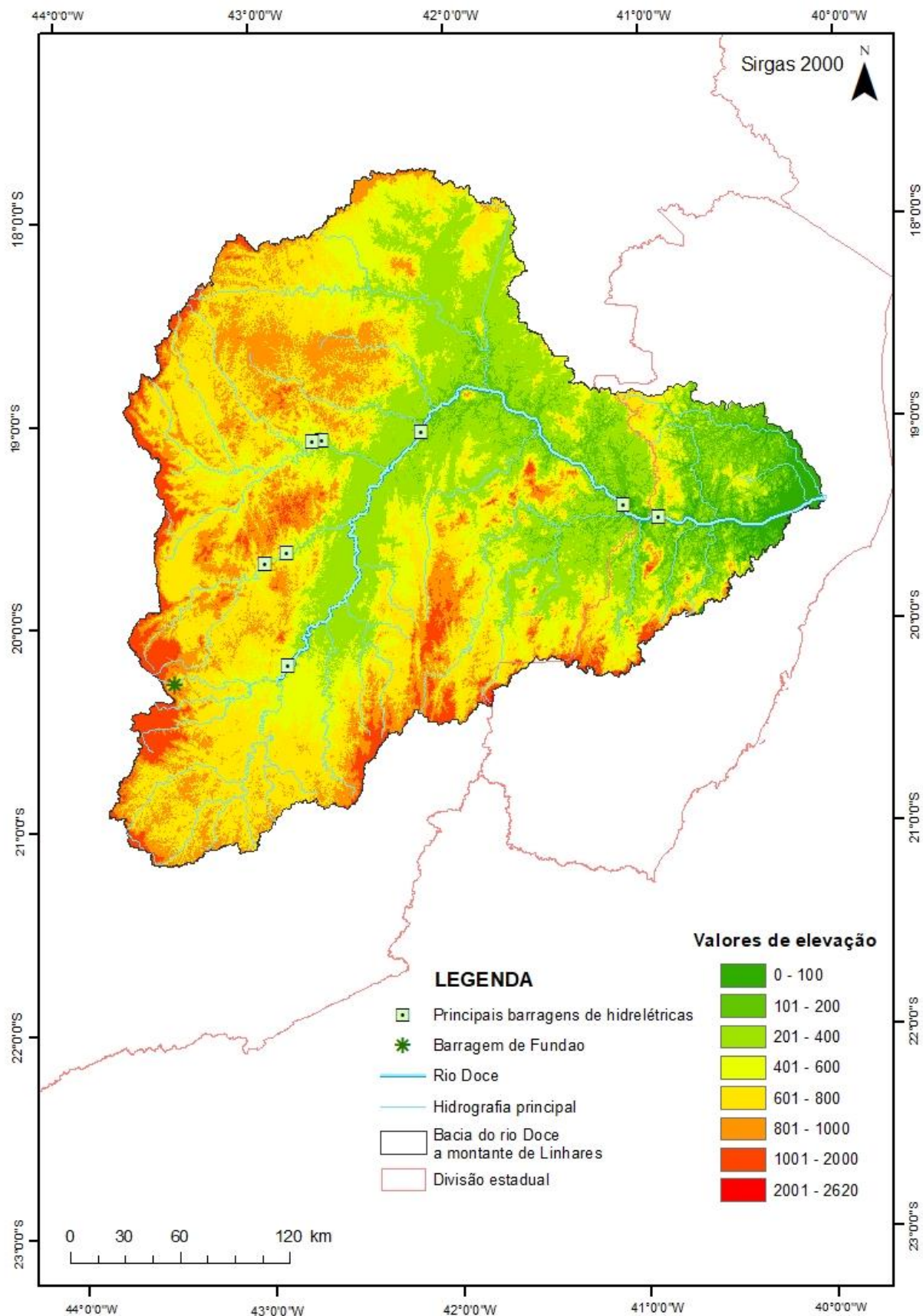
As informações cartográficas que compuseram dados de entrada do modelo SWAT foram o Modelo Digital de Elevação (MDE) e os mapas Pedológico e de Uso e Ocupação do Solo da bacia do rio Doce. O MDE utilizado foi o disponibilizado no Portal para Informações e Dados Espaciais da Agência Nacional de Águas (GeoNetwork – ANA, 2018). Este possui moderada resolução espacial (células de 10m) e foi criado a partir de Modelos Digitais SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), ASTER GDEM (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) e *Global Digital Elevation Map*. A interpolação utilizada para a elaboração do MDE com resolução de 10 m foi pelo método “*Spline*”. Além disso, foram utilizados os pontos altimétricos cotados para alocação de torres de transmissão de sinal de telefonia celular distribuídos aleatoriamente por toda a área do projeto, aprimorando a acurácia do dado. Para a área correspondente ao fuso 23, foram utilizados 9.720 pontos com as coordenadas planialtimétricas conhecidas e na área pertencente ao fuso 24, um total de 6.478 pontos. Como resultado, foi gerado um MDE de Superfície (MDS) com uma precisão de 5 m na altimetria e 10 m na planimetria.

O Mapa de Uso e Ocupação do Solo utilizado é também disponibilizado pelo Portal para Informações e Dados Espaciais (GeoNetwork – ANA, 2018). O mapa foi criado por meio de imagens de satélites ALOS, QUICKBIRD, WORLD VIEW I e LANDSAT-7 e o produto tem uma escala de interpretação de 10 metros compatível com escala 1:100.000.

Já o Mapa Pedológico da bacia do Rio Doce foi criado em 2006 pela Diretoria de Geociências do IBGE e está disponibilizado pelo Portal FTP deste órgão em resolução 1:5.000.000 (IBGE, 2006).

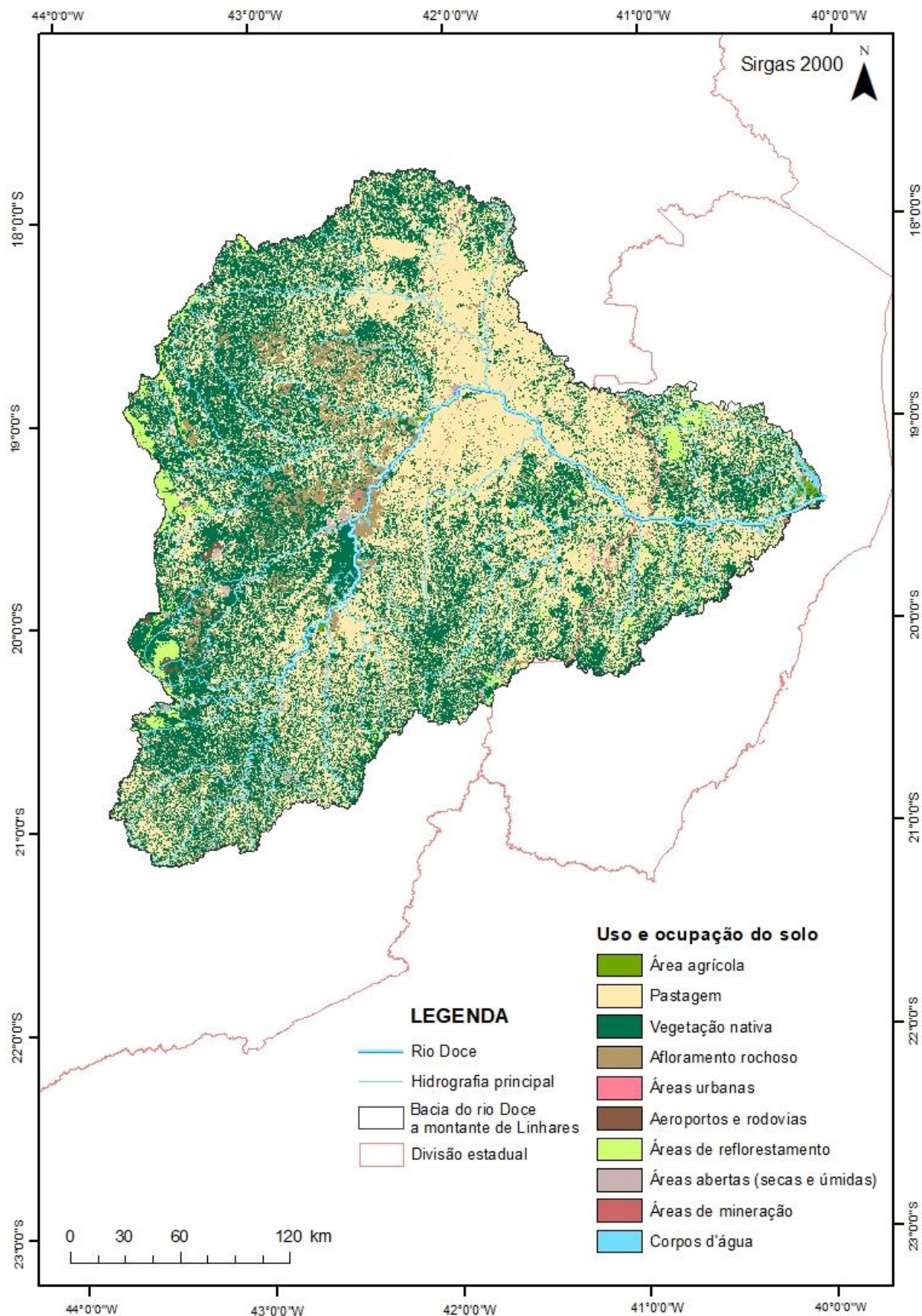
Os dados cartográficos e de altimetria utilizados estão apresentados a seguir: o MDE é apresentado na Figura 4, o mapa de Uso e ocupação do solo, na Figura 5 e o Mapa Pedológico, na Figura 6.

Figura 4: MDE da Bacia do Rio Doce



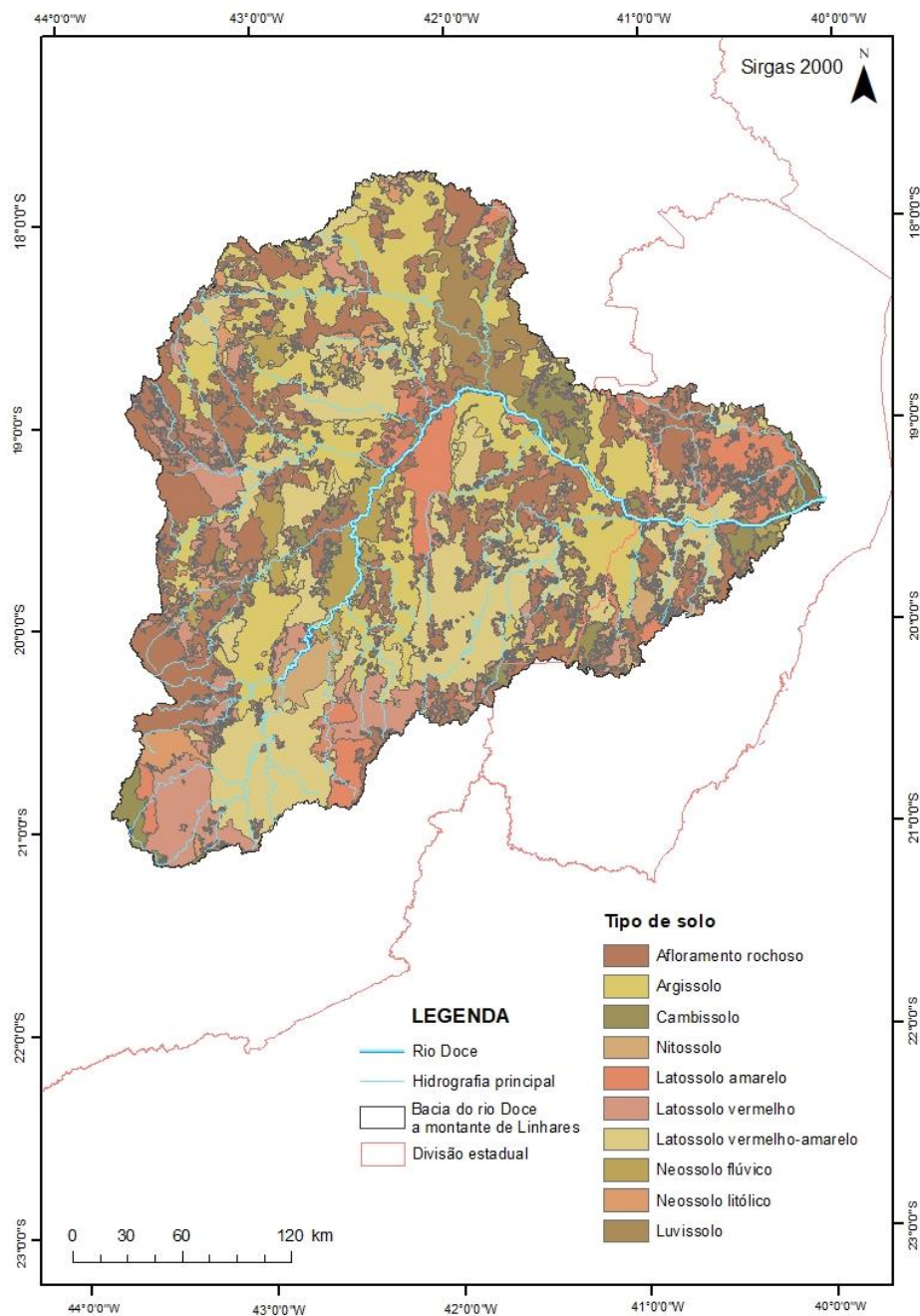
Fonte: ANA adaptado, 2018.

Figura 5: Mapa de Uso e Ocupação do solo da Bacia do Rio Doce



Fonte: ANA adaptado, 2018.

Figura 6: Mapa pedológico da Bacia do Rio Doce

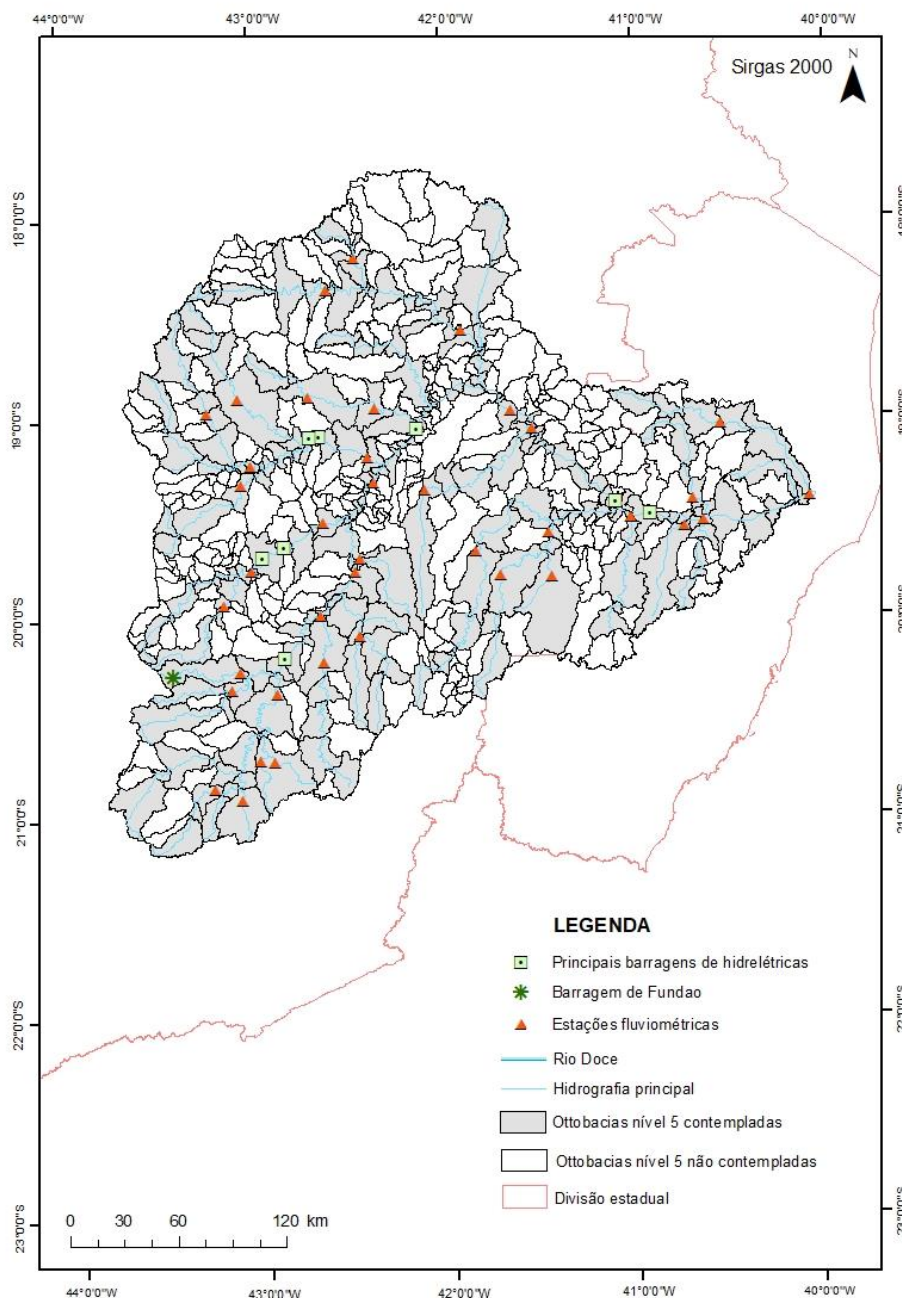


Fonte: IBGE adaptado, 2018.

O mapa pedológico original possui associações de solos incorporadas ao tipo de solo predominante. A partir do uso de imagens disponibilizadas pelo Google Earth, que possuem alta qualidade, foi possível que fossem identificadas os limites de manchas com as associações dos solos com maior tendência ao escoamento superficial sem necessidade de ida a campo. As associações são: neossolo litólico + afloramento rochoso e neossolo litólico + gleissolo háplico. Nos mapas originais, essas associações estão incorporadas ao tipo de solo predominante e, com o uso das imagens, foi possível a separação das mesmas.

As estações fluviométricas foram também espacializadas em mapa de ottobacias nível 5, para que fossem visualizadas as sub-bacias contempladas e as não contempladas pelo modelo aplicado (Figura 7).

Figura 7: Espacialização das estações fluviométricas na Bacia do Rio Doce a montante de Linhares e divisão da bacia em ottobacias nível 5



O método de classificação e codificação de bacias hidrográficas pelo método do engenheiro brasileiro Otto Pfafstetter é natural e hierárquico, iniciando-se pela identificação do rio principal, e posteriormente dos maiores rios de uma determinada bacia, descendo em nível de detalhe a cada etapa, até que se tenha codificado todos os trechos da rede hidrográfica (PFAFSTETTER, 1989). Cada trecho corresponde a uma área de drenagem individual, o que favorece o gerenciamento e o controle das

ações do homem em áreas específicas, assim como as consequências que essas ações podem causar em todo o sistema hídrico. As otobacias são importantes ferramentas no planejamento e gestão dos recursos hídricos, bem como de fácil implementação computacional e boa interação com Sistemas de Informações Geográficas (ANA, 2012).

Embora a divisão hidrográfica pelo método Ottopfastetter seja amplamente utilizada no Brasil, não foi aplicada à modelagem, uma vez que é necessário que os exutórios das sub-bacias possuam dados para a calibração do modelo. Sendo assim, para a etapa de calibração do modelo, primeiramente foi inserido no SWAT o modelo digital de terreno da bacia e o shapefile com a posição das estações fluviométricas situadas em posições estratégicas e que possuem longa série de dados (1985 e 2017). As sub-bacias foram delimitadas de acordo com o modelo digital de terreno, tendo a posição das estações fluviométricas como ponto mais a jusante (considerando a área de drenagem efetivamente à jusante da estação).

A Figura 8 apresenta a espacialização das estações fluviométricas e as sub-bacias delimitadas a partir delas. A Tabela 3 contém os nomes dessas sub-bacias (conforme a numeração da Figura 8), enquanto a Tabela 4 apresenta características das estações fluviométricas utilizadas na etapa de calibração do modelo.

Figura 8: Posição das estações fluviométricas e sub-bacias a montante das mesmas

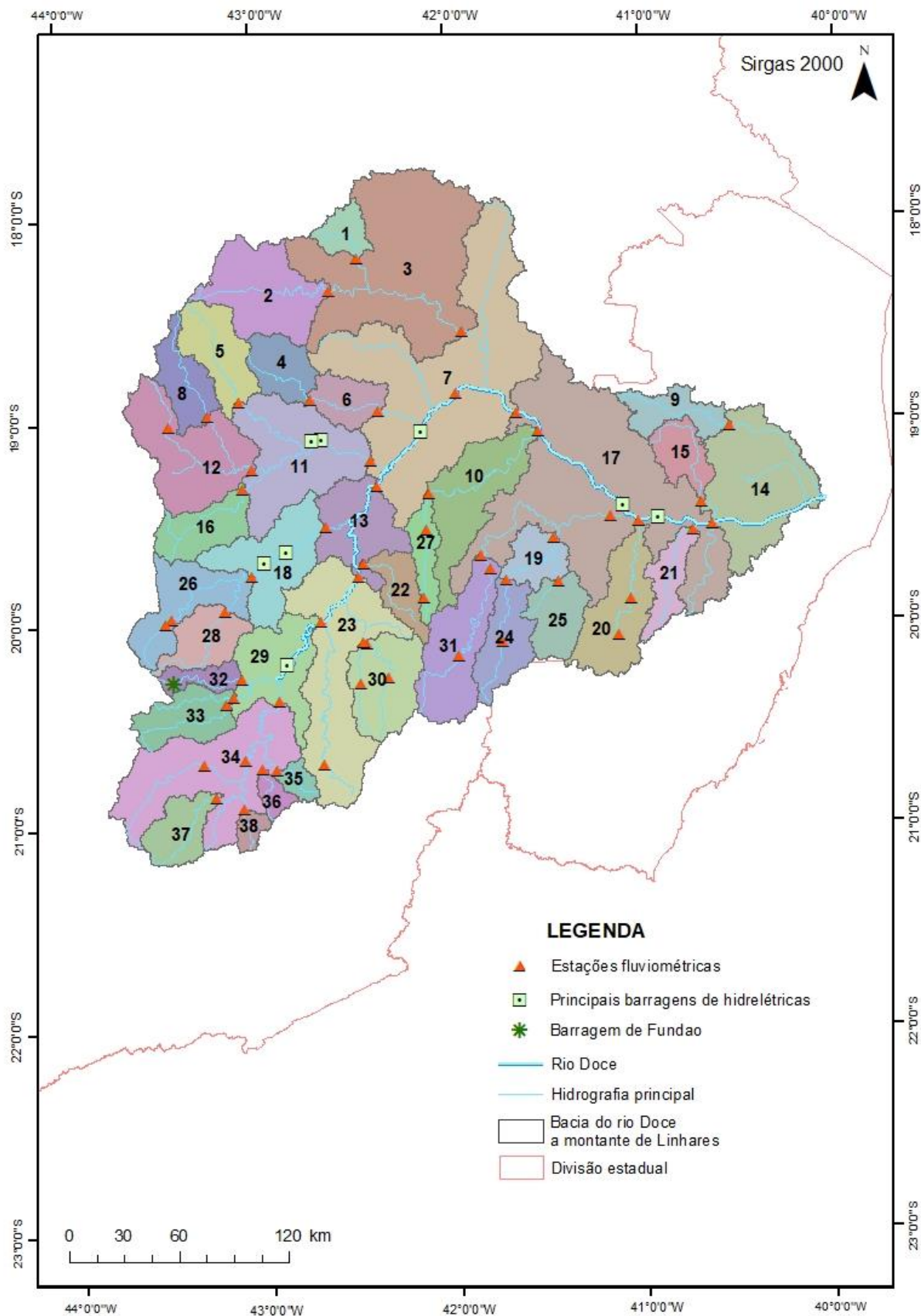


Tabela 3: Nomes das sub-bacias criadas a partir das estações fluviométricas distribuídas na Bacia do Rio Doce

Número da sub-bacia no mapa (Figura 10)	Nome da sub-bacia
1	Bacia da estação fluviométrica Santa Maria do Suaçuí
2	Bacia da estação fluviométrica São Pedro do Suaçuí
3	Bacia da estação fluviométrica Vila Matias Montante
4	Bacia da estação fluviométrica Fazenda Corrente
5	Bacia da estação fluviométrica Senhora do Porto
6	Bacia da estação fluviométrica Porto Santa Rita
7	Bacia da estação fluviométrica Tumiritinga
8	Bacia da estação fluviométrica Dom Joaquim
9	Bacia da estação fluviométrica Barra de São Gabriel
10	Bacia da estação fluviométrica Barra do Cuieté Jusante
11	Bacia da estação fluviométrica Naque Velho
12	Bacia da estação fluviométrica Ferros
13	Bacia da estação fluviométrica Belo Oriente
14	Bacia da estação fluviométrica Linhares Cais do Porto
15	Bacia da estação fluviométrica Ponte do Pancas
16	Bacia da estação fluviométrica Fazenda Barraca
17	Bacia da estação fluviométrica Colatina
18	Bacia da estação fluviométrica Mario de Carvalho
19	Bacia da estação fluviométrica Assaraí Montante
20	Bacia da estação fluviométrica Baixo Guandu
21	Bacia da estação fluviométrica Jusante Córrego da Piaba
22	Bacia da estação fluviométrica Pingo D'Água
23	Bacia da estação fluviométrica Cachoeira dos Óculos Montante
24	Bacia da estação fluviométrica Ipanema
25	Bacia da estação fluviométrica Mutum
26	Bacia da estação fluviométrica Nova Era IV
27	Bacia da estação fluviométrica Dom Cavati
28	Bacia da estação fluviométrica Rio Piracicaba
29	Bacia da estação fluviométrica Fazenda Cachoeira D'Antas
30	Bacia da estação fluviométrica Instituto Florestal Raul Soares
31	Bacia da estação fluviométrica Santo Antônio do Manhuaçu
32	Bacia da estação fluviométrica Fazenda Ocidente
33	Bacia da estação fluviométrica Acaiaca Jusante
34	Bacia da estação fluviométrica Ponte Nova Jusante
35	Bacia da estação fluviométrica Seriquite
36	Bacia da estação fluviométrica Fazenda Varginha
37	Bacia da estação fluviométrica Braz Pires
38	Bacia da estação fluviométrica Senador Firmino

Tabela 4: Características das estações fluviométricas utilizadas na etapa de calibração do modelo SWAT

Código	Estação	Resp./Operadora	Latitude	Longitude	Área Drenagem (km ²)
56846000	Porto de Santa Rita	ANA/CPRM	-18.95	-42.36	1965.00
56055000	Braz Pires	ANA/CPRM	-20.85	-43.24	1089.00
56090000	Fazenda Varginha	ANA/CPRM	-20.71	-43.00	324.00
56110005	Ponte Nova Jusante	ANA/CPRM	-20.38	-42.90	6132.00
56335001	Acaiaca Jusante	ANA/CPRM	-20.36	-43.14	1371.00
56337000	Fazenda Ocidente	ANA/CPRM	-20.27	-43.10	531.00
56425000	Faz. Cachoeira D'Antas	ANA/CPRM	-19.99	-42.67	10079.00
56510000	Inst. Flor. Raul Soares	ANA/CPRM	-20.10	-42.46	1800.00
56539000	Cach. Óculos Montante	ANA/IGAM	-19.78	-42.48	15836.00
56570000	Pingo D'Água	ANA/CPRM	-19.71	-42.45	814.00
56610000	Rio Piracicaba	ANA/CPRM	-19.93	-43.17	1163.00
56659998	Nova Era IV	ANA/CPRM	-19.77	-43.03	3060.00
56696000	Mário de Carvalho	ANA/CPRM	-19.52	-42.64	5270.00
56719998	Belo Oriente	ANA/CPRM	-19.33	-42.38	24200.00
56765000	Dom Joaquim	ANA/CPRM	-18.96	-43.24	972.00
56775000	Ferros	ANA/CPRM	-19.23	-43.02	4058.00
56787000	Fazenda Barraca	ANA/CPRM	-19.33	-43.07	1280.00
56800000	Senhora do Porto	ANA/CPRM	-18.89	-43.08	1521.00
56825000	Naque Velho	ANA/CPRM	-19.19	-42.42	10170.00
56845000	Fazenda Corrente	ANA/CPRM	-18.89	-42.71	1064.00
56860000	São Pedro do Suaçuí	ANA/CPRM	-18.36	-42.61	2610.00
56870000	Santa Maria do Suaçuí	ANA/CPRM	-18.20	-42.45	670.00
56891900	Vila Matias montante	ANA/CPRM	-18.57	-41.92	10200.00
56920000	Tumiritinga	ANA/CPRM	-18.97	-41.64	55425.00
56935000	Dom Cavati	ANA/CPRM	-19.37	-42.11	784.00
56940002	Barra do Cuieté Jus.	ANA/CPRM	-19.07	-41.54	3250.00
56978000	Sto. Ant. do Manhauçu	ANA/CPRM	-19.68	-41.84	2287.00
56988500	Ipanema	ANA/CPRM	-19.80	-41.71	1420.00
56989001	Mutum	ANA/CPRM	-19.81	-41.44	1187.00
56989400	Assaraí montante	ANA/CPRM	-19.59	-41.46	3190.00
56998400	Barra de São Gabriel	ANA/CPRM	-19.04	-40.53	1070
56992000	Baixo Guandu	ANA/CPRM	-19.52	-41.01	2135.00
56994500	Colatina	ANA/CPRM	-19.53	-40.62	75800.00
56995500	Ponte do Pancas	ANA/CPRM	-19.42	-40.69	919.00
56993551	Jusante Córrego da Piaba	ANA/CPRM	-19.56	-40.73	873.00
56075000	Porto Firme	ANA/CPRM	-20.67	-43.09	4251.00
56085000	Seriquite	ANA/CPRM	-20.67	-43.09	4251.00
56065000	Senador Firmino	ANA/CPRM	-20.91	-43.10	291.00

Em seguida, foram inseridos no SWAT os mapas de solo e de uso e ocupação do solo da bacia do rio Doce. Para cada classe de solo e de uso e ocupação do solo, o modelo associa um conjunto de parâmetros e variáveis de entrada que são retirados de seu banco de dados ou fornecidos pelo modelador. Dados de solo da bacia foram retirados de levantamentos exploratórios de reconhecimento de solos, tanto para a porção mineira quanto para a porção espírito-santense (PANOSO, 1978; JACOMINE et al., 1979; PANOSO, 1980; MOTTA et al., 2004; IBGE, 2007). Já os dados das classes de uso do solo foram retirados do banco de dados existente no modelo.

Com base nas informações cartográficas, o modelo dividiu a bacia em 1705 Unidades de Resposta Hidrológica (URH), que são áreas com apenas um tipo de solo e um tipo de uso e/ou ocupação do solo.

Na etapa seguinte foram inseridos os dados climatológicos no modelo. O SWAT utiliza os seguintes dados: precipitação, temperatura, umidade relativa do ar, radiação solar e velocidade do vento. A precipitação utilizada é proveniente de dados reais medidos nas estações pluviométricas de responsabilidade da ANA e operadas pela CPRM (Tabela 5), enquanto, para as demais variáveis, foram utilizados dados de um banco de dados mundial denominado Centros Nacionais de Previsão Ambiental (*The National Centers for Environmental Prediction – NCEP*) pela Reanálise de Sistemas de Previsão Climática (*Climate Forecast System Reanalysis – CFSR*), o qual foi concluído para um período de 36 anos, que compreende de 1979 a 2014. A CFSR foi projetada e executada como uma superfície global de alta resolução para fornecer a melhor estimativa de dados climáticos durante esse período. Este site permite que seja feito download de dados climatológicos no formato de arquivo SWAT para um determinado local do globo terrestre e período de tempo. Com relação à pluviosidade, para cada sub bacia, o modelo utiliza dados da estação pluviométrica localizada mais próxima ao seu centroide. Foram adicionados ao modelo os dados das 90 estações pluviométricas apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5: Estações pluviométricas de longa série histórica utilizadas na modelagem hidrológica

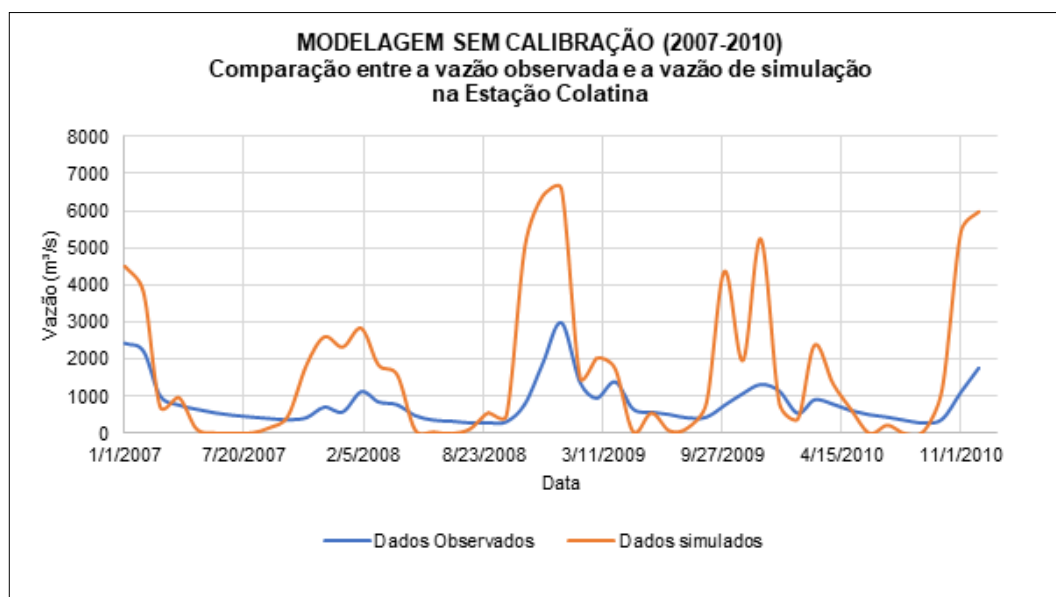
Resp./Operadora	Código	Estação	Latitude	Longitude
ANA/CPRM	2042010	Abre Campo	-20.69055556	-43.29944444
ANA/CPRM	2043009	Acaiaca Jusante	-20.67027778	-43.08805556
ANA/CPRM	2041023	Afonso Cláudio montante	-20.3625	-43.14388889
ANA/CPRM	1742019	Água Boa	-20.39	-43.18027778
ANA/CPRM	1840000	Águia Branca	-17.84555556	-42.07555556
ANA/CPRM	1941012	Alto Rio Novo	-17.99222222	-42.39388889
ANA/CPRM	1941006	Assaraí montante	-18.57472222	-41.91777778
ANA/CPRM	1941003	Baixo Guandu	-18.23861111	-41.74861111
ANA/CPRM	1940016	Barra de São Gabriel	-18.88305556	-41.95027778
ANA/CPRM	1941005	Barra do Cuieté jusante	-18.77694444	-41.48277778
ANA/CPRM	1839006	Barra Nova	-18.55277778	-42.76416667
ANA/CPRM	1942030	Belo Oriente	-19.31638889	-42.39611111
ANA/CPRM	2042014	Bicuiba	-18.59277778	-43.4125
ANA/CPRM	1942002	Bom Jesus do Galho	-18.61194444	-42.27861111
ANA/CPRM	2043026	Braz Pires	-18.97638889	-41.64027778
ANA/CPRM	1942031	Cach. dos Óculos montante	-19.76944444	-42.47694444

Resp./Operadora	Código	Estação	Latitude	Longitude
ANA/CPRM	1943010	Caeté	-18.36305556	-42.60222222
ANA/CPRM	1940020	Caldeirão	-18.27972222	-43.00055556
ANA/CPRM	1841003	Campanário	-18.77222222	-42.93111111
ANA/CPRM	1742014	Capelinha	-18.20111111	-42.45527778
ANA/CPRM	1940005	Cavalinho	-19.79888889	-41.70611111
ANA/CPRM	1840010	Cedrolândia	-19.06166667	-41.53277778
ANA/CPRM	1841018	Central de Minas	-19.67833333	-41.83611111
ANA/CPRM	1940006	Colatina - Corpo de Bombeiros	-19.16166667	-41.86222222
ANA/CPRM	2043059	Colégio Caraça	-19.01666667	-43.44416667
ANA/CPRM	1943002	Conc. do Mato Dentro	-19.44027778	-43.11861111
ANA/CPRM	1842005	Coroaci	-19.59472222	-41.45805556
ANA/CPRM	2143003	Desterro do Melo	-19.2175	-43.37416667
ANA/CPRM	1841019	Divino de Laranjeiras	-19.99888889	-42.3475
ANA/CPRM	1942008	Dom Cavati	-19.25027778	-43.01444444
ANA/CPRM	2041008	Dores do Manhumirim	-19.34305556	-41.24611111
ANA/CPRM	2043056	Fazenda Água Limpa jusante	-19.92277778	-43.17777778
ANA/CPRM	2042031	Fazenda Cachoeira D'Antas	-19.94527778	-43.40111111
ANA/CPRM	2043027	Fazenda Ocidente	-19.81111111	-41.43777778
ANA/CPRM	2043011	Fazenda Paraíso	-19.37361111	-42.105
ANA/CPRM	2142004	Fazenda Umbaúbas	-19.4925	-41.16166667
ANA/CPRM	2041048	Fazenda Vargem Alegre	-19.83361111	-42.31777778
ANA/CPRM	1943003	Ferros	-19.52472222	-42.64416667
ANA/CPRM	2040008	Garrafão (DNOS)	-19.88083333	-43.3675
ANA/CPRM	1841020	Governador Valadares	-20.10805556	-41.72833333
ANA/CPRM	1842007	Guanhães	-20.10361111	-42.44
ANA/CPRM	1941009	Ibituba	-20.29888889	-42.47805556
ANA/CPRM	1941000	Ipanema	-20.21472222	-42.65222222
ANA/CPRM	1940012	Itaimbé	-20.01138889	-42.67416667
ANA/CPRM	1941018	Itanhomi	-20.09694444	-43.48805556
ANA/CPRM	1940000	Itarana	-20.6825	-42.80666667
ANA/CPRM	1940022	Jacupemba	-20.38472222	-42.90277778
ANA/CPRM	1943024	José de Melo	-20.28555556	-43.09888889
ANA/CPRM	1741006	Ladainha	-20.8475	-43.24194444
ANA/CPRM	2043002	Lagoa Grande	-20.51666667	-43.01666667
ANA/CPRM	1941008	Laranja da Terra	-21.14916667	-43.52
ANA/CPRM	1742017	Malacacheta	-20.27722222	-42.32555556
ANA/CPRM	1841009	Mantenópolis	-20.17055556	-41.96111111
ANA/CPRM	1942029	Mario de Carvalho	-19.90111111	-41.05805556
ANA/CPRM	2042017	Matipó	-20.07861111	-41.12138889
ANA/CPRM	1943025	Morro do Pilar	-18.98555556	-40.74611111
ANA/CPRM	1941019	Mutum	-19.69111111	-41.02
ANA/CPRM	1942032	Naque Velho	-19.18861111	-42.42277778
ANA/CPRM	1940013	Novo Brasil	-19.52361111	-41.01416667

Resp./Operadora	Código	Estação	Latitude	Longitude
ANA/CPRM	1940009	Pancas	-19.53083333	-40.62305556
ANA/CPRM	2142002	Patrocínio do Muriaé	-19.2375	-40.59138889
ANA/CPRM	2043010	Piranga	-19.69222222	-40.39805556
ANA/CPRM	2042018	Ponte Nova jusante	-19.66361111	-40.83527778
ANA/CPRM	2043014	Porto Firme	-19.87444444	-40.87444444
ANA/CPRM	2042008	Raul Soares montante	-19.27416667	-40.32083333
ANA/CPRM	1941004	Resplendor jusante	-19.05777778	-40.51638889
ANA/CPRM	1940023	Rio Bananal	-19.22027778	-40.85333333
ANA/CPRM	2042011	Rio Casca	-19.05916667	-41.0275
ANA/CPRM	1943001	Rio Piracicaba	-19.80527778	-40.67888889
ANA/CPRM	1843012	Rio Vermelho	-19.955	-40.74166667
ANA/CPRM	1943007	Santa Barbara	-17.62944444	-41.73722222
ANA/CPRM	2041017	Santa Cruz Caparaó	-17.69166667	-42.52611111
ANA/CPRM	1943008	Santa Maria do Itabira	-18.76305556	-41.30833333
ANA/CPRM	2040007	Santa Maria de Jetibá	-19.90277778	-43.66638889
ANA/CPRM	1842008	Santa Maria do Suaçuí	-19.68972222	-43.58555556
ANA/CPRM	1941011	Santo Antônio do Manhuaçu	-19.21888889	-43.58805556
ANA/CPRM	1940001	São João de Petrópolis	-20.76944444	-42.30111111
ANA/CPRM	1842020	São João Evangelista	-20.17916667	-43.94277778
ANA/CPRM	2042016	São Miguel do Anta	-20.30305556	-43.61583333
ANA/CPRM	1842004	São Pedro do Suaçuí	-21.05027778	-42.51555556
ANA/CPRM	1941010	São Sebastião da Encruzilhada	-21.15	-42.20111111
ANA/CPRM	1843011	Serro	-21.19277778	-43.61388889
ANA/CPRM	1841011	Tumiritinga	-19.58861111	-40.19805556
ANA/CPRM	2043025	Usina da Brecha	-20.32277778	-41.70416667
ANA/CPRM	1943027	Usina Peti	-18.83888889	-41.11027778
ANA/CPRM	1940010	Valsugana Velha montante	-18.80972222	-40.69055556
ANA/IGAM	2143007	Vargem do Engenho	-20.14333333	-40.97527778
ANA/CPRM	1943035	Vau da Lagoa	-20.02805556	-40.74416667
ANA/CPRM	1942006	Vermelho Velho	-19.95333333	-40.5525
ANA/CPRM	1841001	Vila Matias montante	-18.95027778	-39.76444444

O modelo foi rodado no período de 2004 a 2013 utilizando os dados inseridos no mesmo nas etapas discutidas nos itens anteriores. A Figura 9 apresenta hidrograma simulado e medido na estação fluviométrica Colatina para o período 2007-2010.

Figura 9: Resultado da simulação hidrológica na etapa anterior à calibração



Conforme pode ser observado, os resultados da modelagem inicial não se mostraram satisfatórios, havendo, dessa forma, necessidade de se proceder a calibração do modelo.

A calibração de um modelo é realizada com a finalidade de fazer com que valores simulados se aproximem ao máximo aos valores medidos, utilizando coeficientes estatísticos como o Nash-Sutcliffe (NS) e o Percentual bias (Pbias) para comparação. Para a bacia do rio Doce, valores de vazão diária simulados nos exutórios das sub-bacias foram comparados com os valores de vazão medidos nas estações fluviométricas durante o processo de calibração.

Para a calibração do SWAT na bacia do rio Doce, foi utilizado o software SWAT-CUP (ABBASPOUR et al., 2005), tendo sido escolhido o algoritmo de parametrização Sufi-2. Este algoritmo vem sendo o mais utilizado em modelagem de bacias hidrográficas por todo o globo, principalmente devido a sua facilidade de aplicação. Além disso, o software conta com a lista de parâmetros utilizados dentro do modelo SWAT e seus respectivos valores mínimos e máximos aceitáveis. O Quadro 1 apresenta os parâmetros que foram calibrados com o uso do SWAT CUP. Estes foram escolhidos a partir de revisão de literatura e do estudo detalhado de cada um dos parâmetros. Para a calibração, foram utilizados dados de 2007 a 2010 (4 anos) e o de validação de 2011 a 2013 (3 anos).

Quadro 1: Parâmetros utilizados na calibração do modelo

Parâmetro	Descrição
ALPHA_BF	Fator de fluxo de base ou constante de recessão (dias)
CANMX	Quantidade de água interceptada (mm)
SURLAG	Coefficiente de retardamento do escoamento superficial direto
GW_DELAY	Intervalo de tempo para recarga do aquífero (dias)
GW_REVAP	Coefficiente de ascensão de água à zona de saturação
GWQMN	Nível limite de água no aquífero livre para ocorrer o fluxo de retorno (mm)
CN2	Curva número inicial para condição de umidade do solo II
REVAPMN	Profund. de limiar de água no lençol freático para que ocorra reevaporação (mm)
SLSUBBSN	Comprimento médio da declividade (m)
RCHRG_DP	Coefficiente de percolação da água para o aquífero profundo (dias)
SOL_K	Condutividade hidráulica do solo (mm/h)
SOL_AWC	Armazenamento de água no solo (mm H ₂ O/mm solo)
SOL_Z	Profundidade da superfície do solo ao fundo da camada (mm)
EPCO	Fator de compensação de captação de plantas
ESCO	Coefficiente de compensação de evaporação de água no solo
CH_K2	Condutividade efetiva do canal (mm/h)
CH_N2	Coefficiente de Manning para o canal principal
BIOMIX	Eficiência da mistura biológica

Foram realizadas diversas simulações com mais de 1000 iterações cada, quando os parâmetros foram sendo ajustados até que a estatística Nash-Sutcliffe fosse considerada satisfatória. Os parâmetros ajustados e os modos de ajuste encontram-se na

Tabela 6: Parâmetros calibrados

Parâmetro	Valor calibrado	Tipo de ajuste
ALPHA_BF	0.000273	substituição
CANMX	4.2242	adição
SURLAG	-1.848833	adição
GW_DELAY	99.985001	adição
GW_REVAP	-0.009426	adição
GWQMN	678.208008	adição
CN2	-0.30706	multiplicação
REVAPMN	23.533335	adição
SLSUBBSN	-0.27217	multiplicação
RCHRG_DP	0.02162	multiplicação
SOL_K	-4.76673	multiplicação
SOL_AWC	-0.022075	multiplicação
SOL_Z	0.41853	multiplicação
EPCO	0.3741	adição
ESCO	0.020701	adição
CH_K2	5.591664	adição
CH_N2	0.168383	adição
BIOMIX	0.16243	multiplicação

O coeficiente escolhido para análise da calibração e validação do modelo foi o Nash-Sutcliffe (NS), que é o indicador estatístico de uso mais comum entre os usuários do SWAT. Para um ajuste perfeito entre os dados simulados e observados, o valor de NS deve ser o mais próximo possível de 1, sendo que resultados menores que zero significam que o uso da média dos dados observados é melhor que a simulação feita. Para o período de calibração o NS foi de 0,75 e para o período de validação foi de 0,43 e as comparações entre os dados observados e os dados simulados são mostrados na Figura 10 e na Figura 11: Gráfico validação do modelo (vazão simulada vs vazão observada ao longo do período)

Figura 10: Gráfico calibração do modelo (vazão simulada vs vazão observada ao longo do período)

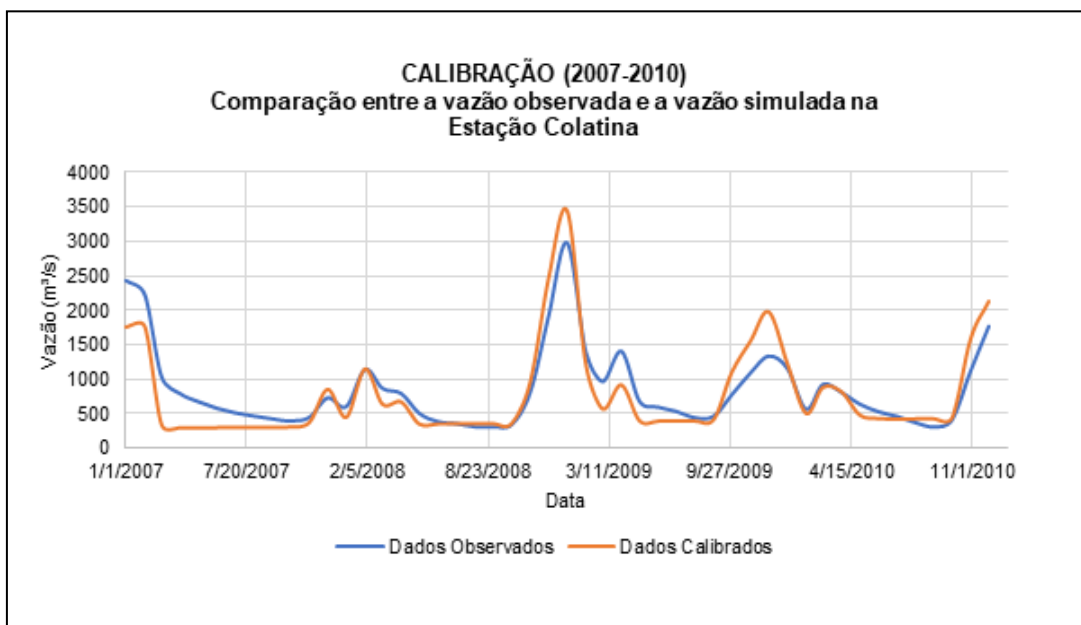
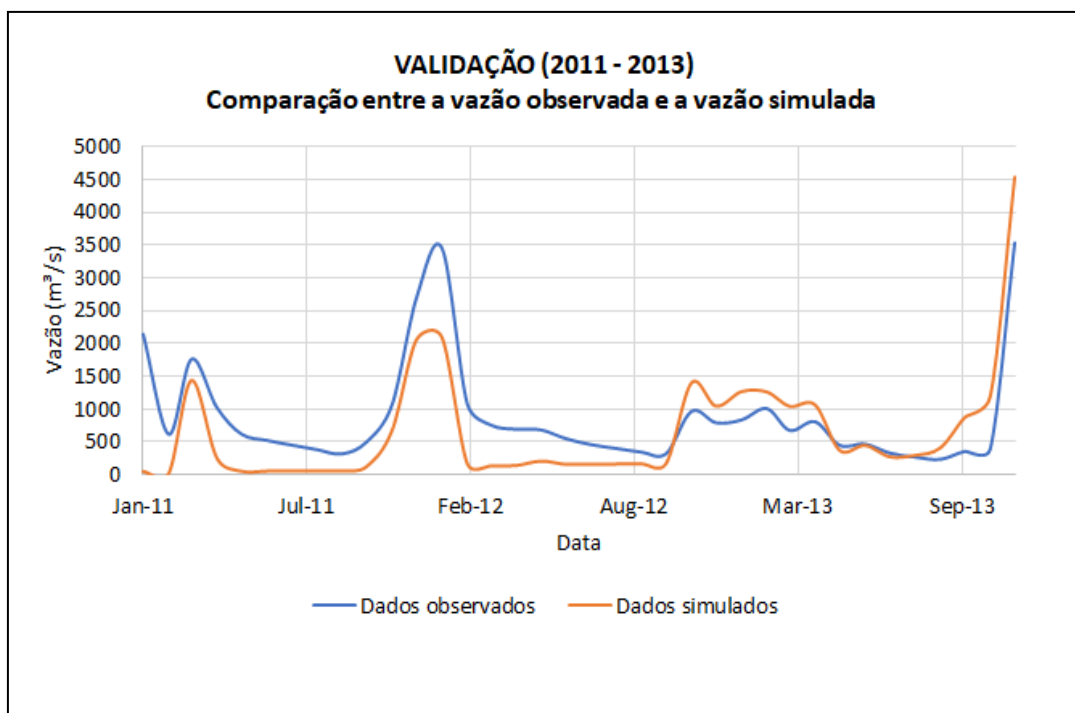
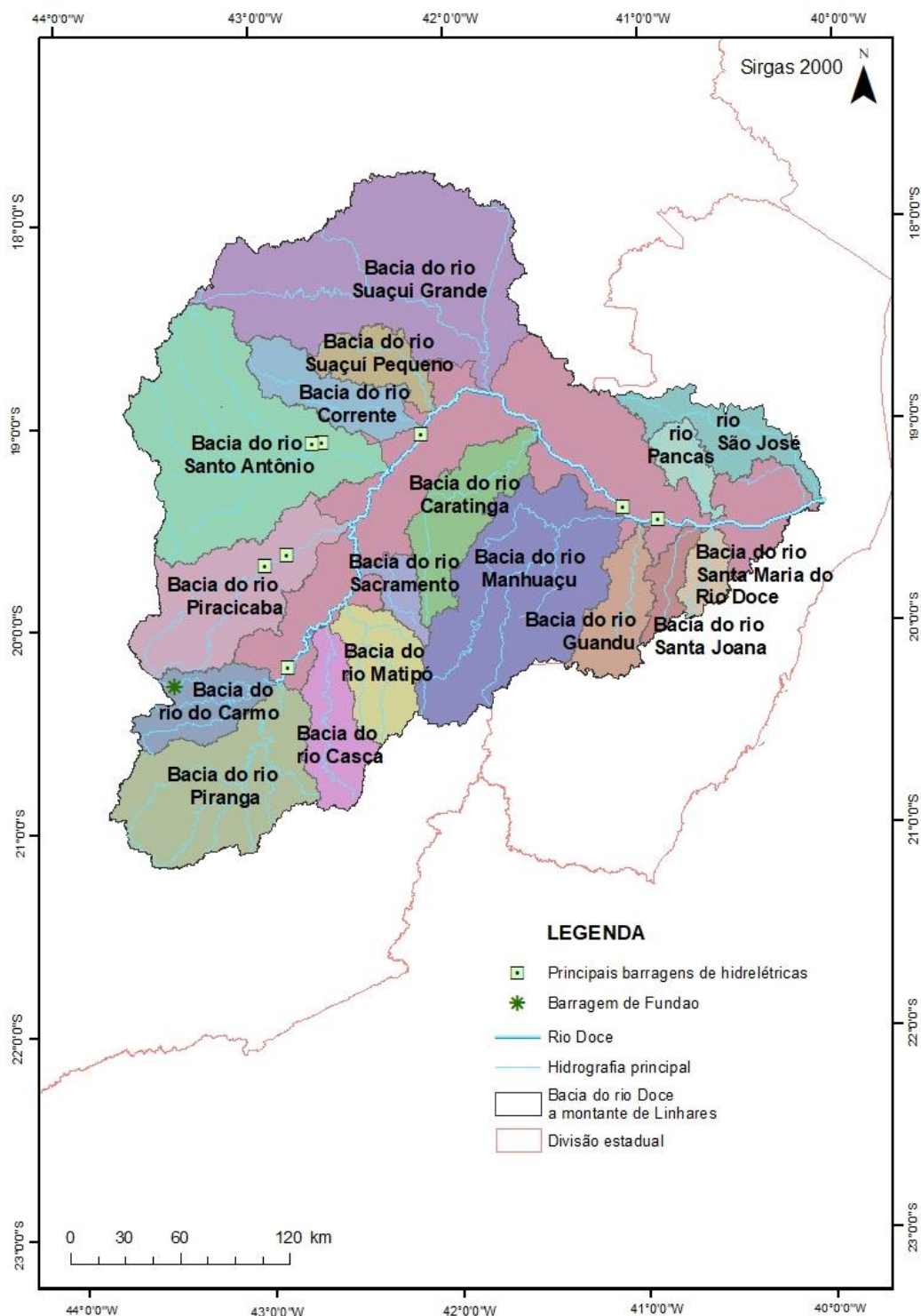


Figura 11: Gráfico validação do modelo (vazão simulada vs vazão observada ao longo do período)



Após a calibração e a validação do modelo a bacia foi dividida em regiões com base na hidrografia principal (Figura 12), a fim de se caracterizar a quantidade de água que chega ao rio Doce advinda das suas diferentes sub-bacias formadoras.

Figura 12: Divisão da bacia do rio Doce para análise do aporte de água por região



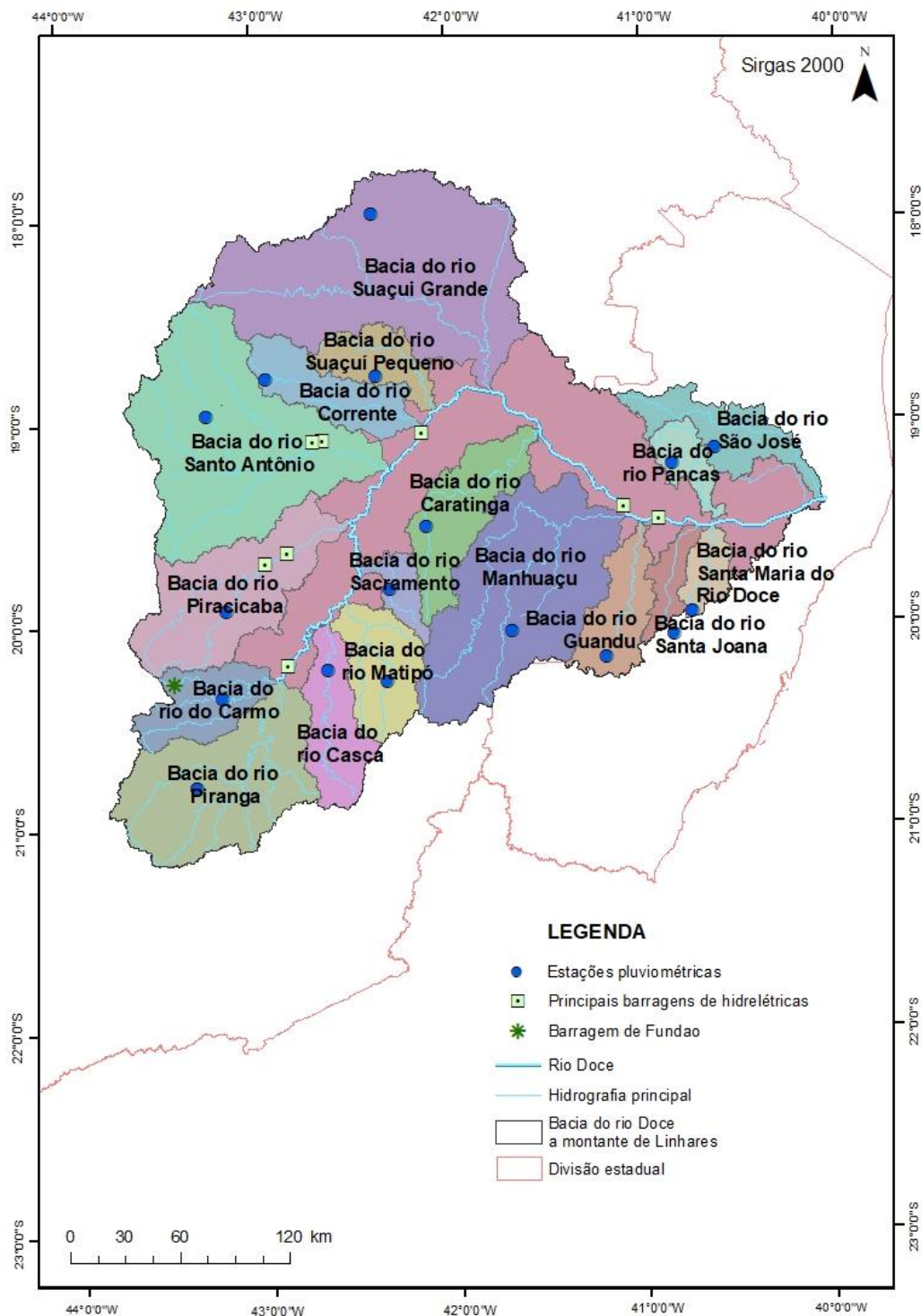
Para este processo, foi necessária uma simulação com dados atuais, visando entender hidrologicamente a bacia do rio Doce durante o período de outubro de 2018 a março de 2020. Para tanto, o modelo requer dados pluviométricos para o mesmo período. Estes dados foram buscados em bases que possuem estações telemétricas (CEMADEN, Sistema HIDRO – Telemetria da ANA e

INMET), cujos dados são disponibilizados na internet diariamente ou em tempo real, e foram sendo compilados para alimentar o modelo SWAT durante as simulações hidrológicas mais recentes. Essas bases, porém, não possuem dados consistentes e podem conter falhas. Sendo assim, foi escolhida uma estação de dado atual para cada região hidrográfica, desde que possuíssem o menor número de dias com falha ao longo do período analisado (setembro de 2018 a agosto de 2019). As estações estão detalhadas na Tabela 7 e espacializadas na Figura 13.

Tabela 7: Estações telemétricas utilizadas para análise pluviométrica 7 dias antes de cada amostragem

Bacia do rio	Estação telemétrica e código
Suaçuí Grande MG	Governador Valadares (A532)
Suaçuí Pequeno MG	Sardoá – Centro (316550301A)
Corrente MG	Guanhães (A533)
Caratinga MG	PCH Inhapim Jusante (1942062)
Santo Antônio MG	Dom Joaquim – Centro (312260301A)
São José ES	São Domingos do Norte (320270201A)
Pancas ES	Pancas (320400501A)
Manhuaçu MG	Chalé – Centro (311600101A)
Piracicaba MG	Piracicaba Centro (3155)
Santa Maria do Rio Doce ES	Santa Teresa - Alto Caldeirão (320460902A)
Guandu ES	Afonso Cláudio – Piracema (320010208A)
Santa Joana ES	Alto Rio Possmoser (320455)
Sacramento MG	GCH Bom Jesus do Galho (1942034)
Matipó MG	PCH Tulio Cordeiro de Mello Montante 2 (2042053)
Casca MG	Rio Casca Centro (315490301A)
Carmo MG	PCH Furquim Jusante (2043084)
Piranga MG	Senhora de Oliveira – Centro (316600601A)

Figura 13: Espacialização das estações telemétricas ao longo da bacia do rio Doce



Para a análise da influência do reservatório da UHE Aimorés (Eliezer Batista), foram utilizados dados de vazões medidas da Agência Nacional de Águas. A estação base foi a UHE Aimorés montante (56919500). Porém, quando a série fluviométrica não dispunha de informações para as datas consideradas foram utilizadas informações relativas à estação Tumiritinga (56919500), a mais próxima a montante do reservatório apresentando registros (outubro de 2018 e de janeiro a março de 2019). A análise foi dividida em duas etapas, a primeira durante os 7 dias anteriores às amostragens e a segunda

durante a realização de cada campanha. As duas estações estão localizadas a montante do início do lago da citada usina, bem perto uma da outra.

A partir das vazões observadas existentes, foi calculado o tempo de detenção (Equação 1: Cálculo do tempo de detenção teórico em reservatórios Equação 1:) das águas no lago nos períodos que antecederam as campanhas para amostragens de água e sedimentos, cujas datas estão apresentadas na .

Equação 1: Cálculo do tempo de detenção teórico em reservatórios.

$$t_d = 86400 \frac{V}{Q}$$

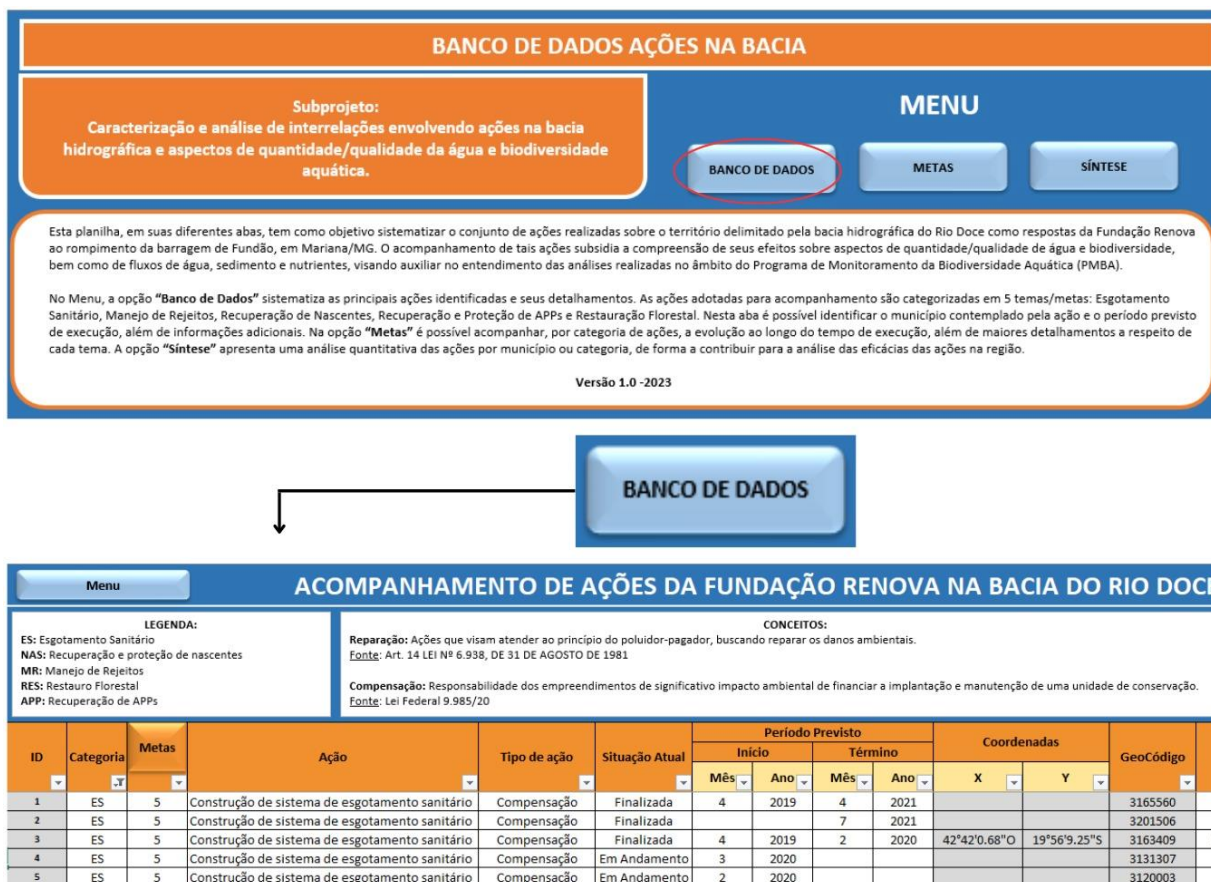
Onde t_d é o tempo de detenção em dias; V é o volume útil do reservatório em m^3 e Q é a descarga líquida (vazão) em m^3/s .

2.2.2 Caracterização e análise de interrelações envolvendo ações na bacia hidrográfica e aspectos de quantidade/qualidade da água e biodiversidade aquática

A partir dos documentos mencionados anteriormente, foram identificados dados e informações referentes as ações, e estes foram organizados em tabelas de dados brutos, sendo posteriormente processados e tratados, sendo construído um banco de dados base para a elaboração de produtos gráficos e tabulares.

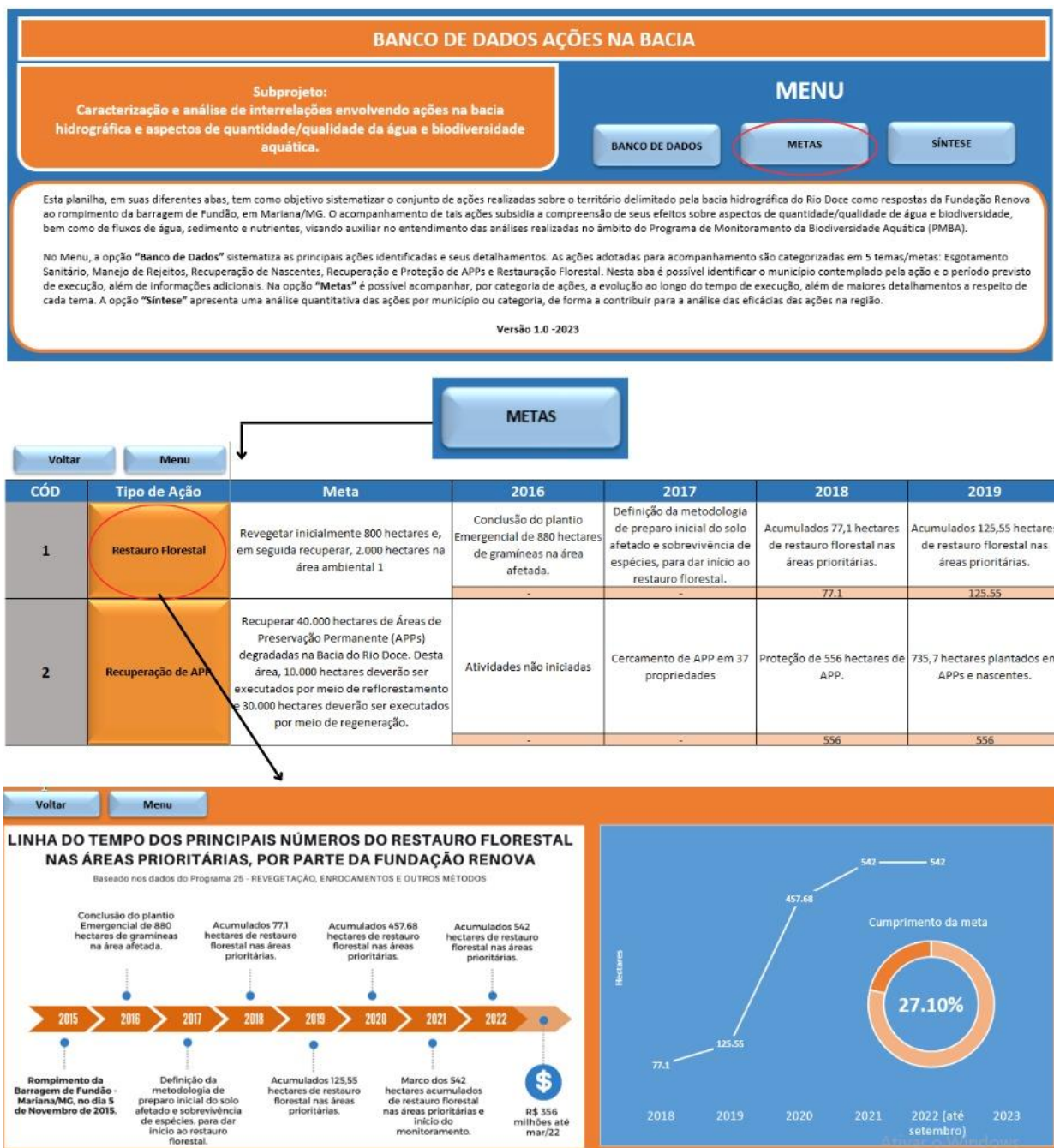
O banco de dados apresenta para todas as ações discretizadas por tipo de ação: situação atual, tema e município e, quando possível, informações complementares, como, por exemplo, período previsto, coordenadas geográficas, informações quantitativas que auxiliam na caracterização da meta e investimentos. A Figura 14 a seguir apresenta exemplo da interface do banco de dados.

Figura 14: Exemplo de banco de dados de ações, tela principal e planilha "banco de dados".



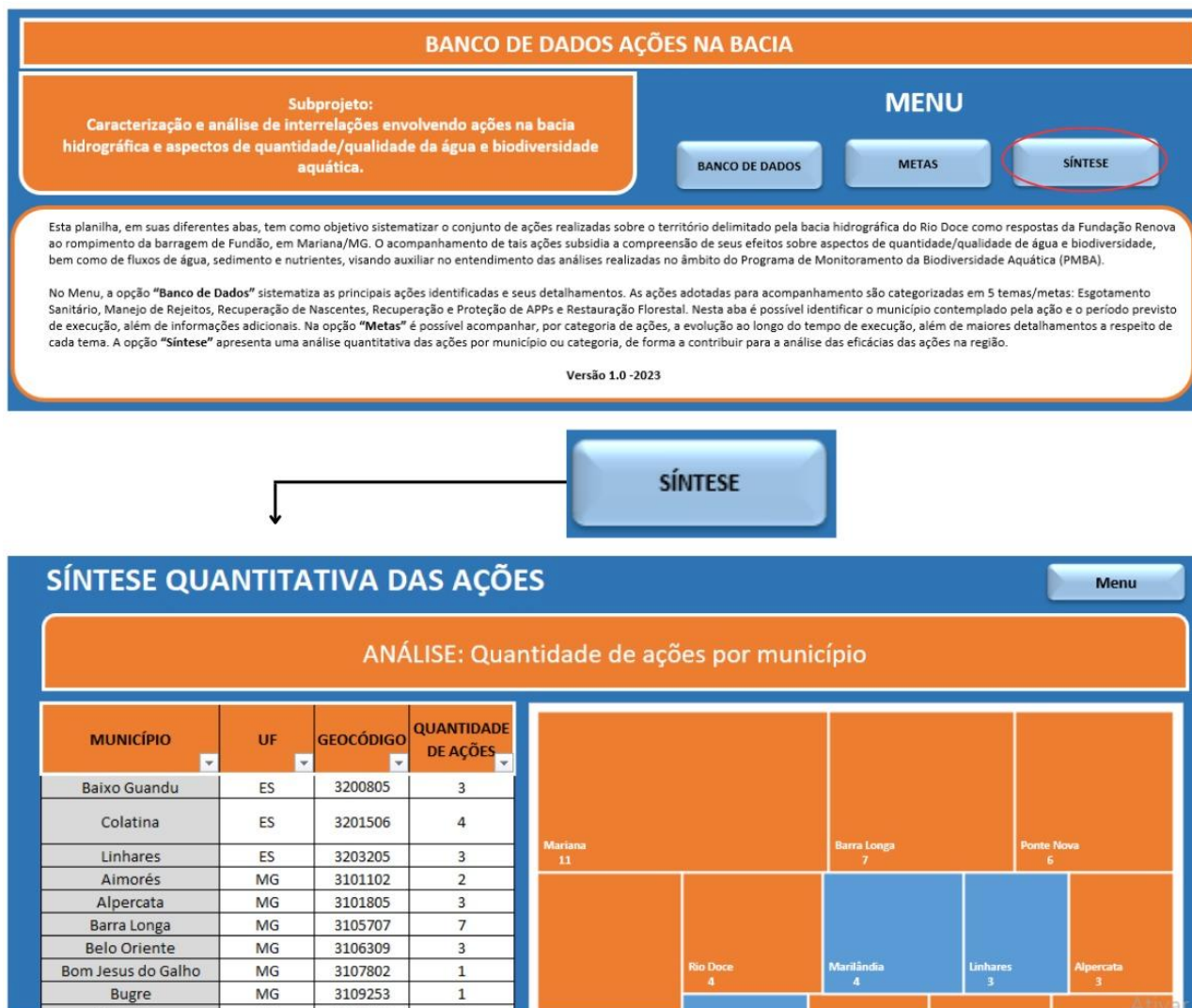
O banco de dados apresenta também síntese de cada um dos programas da Fundação Renova afins aos temas abordados, exibindo metas e a evolução das ações dentro destes programas no período apurado, por meio de gráficos e estimativas de atendimento das metas, além dos valores totais investidos e distribuição total por municípios. Os gráficos relacionados a cada tema são atualizados automaticamente, na medida que a aba "Metas" é atualizada, conforme ilustrado pela Figura 15.

Figura 15: Exemplo de banco de dados de ações, tela principal e planilha "Metas".



Além disso, o banco de dados fornece uma síntese quantitativa com relação às ações, analisando a quantidade de ações por município. Essa síntese é atualizada automaticamente quando ações são adicionadas à aba "Banco de Dados", conforme ilustrado pela Figura 16.

Figura 16: Exemplo de banco de dados de ações, tela principal e planilha "Síntese".



Anteriormente, o banco de dados foi encaminhado junto ao RSE com dados atualizados até março de 2022. A versão atualizada do banco até setembro de 2022 pode ser acessada através do link <https://www.dropbox.com/s/h0k0q0djgnt9bi5/BANCO%20DE%20DADOS%2009-2022.xlsx?dl=0>.

2.2.3 Hidrologia e transporte de sedimentos

Os processamentos dos dados de fluxos foram feitos no software Winriver II da RD Instruments. Foi feito ajuste de curva-chave com os dados de cota e vazão obtidos nas datas das campanhas. A partir da equação estabelecida, usando dados de níveis d'água, foram estimadas as vazões médias diárias, para a estação E21. Os dados de vazão foram avaliados segundo sua sazonalidade.

As análises relativas a sedimentos foram feitas conforme apresentado por Carvalho (2008). Os dados para elaboração das curvas granulométricas dos sedimentos em suspensão foram obtidos através do Método do Tubo de Retirada pela Base. A classificação granulométrica dos sedimentos suspensos foi feita segundo a American Geophysical Union. As concentrações de sólidos suspensos e dissolvidos foram determinadas pelo mesmo método de análise, sendo obtidas concentrações de sólidos

dissolvidos e sólidos suspensos em planilhas de cálculo. As curvas granulométricas foram obtidas a partir dos resultados das análises dos sedimentos realizadas pelo Método de Peneiramento. A classificação granulométrica dos sedimentos de fundo foi feita segundo metodologia indicada pela American Geophysical Union.

A equação $Q_{ss} = 0,0864.Q.C_{ss}$ foi utilizada nas estimativas de descargas sólidas em suspensão, na qual Q_{ss} é a descarga sólida em suspensão (t/d); Q é a vazão (m^3/s) e C_{ss} é a concentração de sedimentos suspensos (mg/L). As descargas sólidas totais foram estimadas pelo Método de Einstein modificado por Colby e Hembree (1955). Por este método as descargas totais de sedimentos são obtidas a partir de medições de descargas de sedimentos em suspensão na parte superior da seção de escoamento, entre a superfície e pontos localizados a uma pequena distância do fundo, e de extrapolação das cargas em suspensão medidas para a faixa situada próxima ao fundo (CARVALHO, 2008). Com uso da metodologia descrita, obtêm-se as descargas sólidas em suspensão, por arraste, e total. Os cálculos foram feitos a partir de parâmetros hidráulicos correspondentes às seções monitoradas, considerando as características do material amostrado em suspensão e no leito. Foram utilizados dados de: vazão, velocidade média de escoamento, área da seção transversal, largura da seção transversal, profundidade média das verticais de coletas de sedimentos, concentração de sedimentos em suspensão, distribuição granulométrica de materiais do leito e em suspensão coletados na seção e temperatura da água.

Estabelecidos os valores de descargas de sedimentos, foram feitos ajustes de curvas “vazão x descargas de sedimentos em suspensão” e “vazão x descargas de sedimentos totais”. As equações estabelecidas foram utilizadas para as estimativas de descargas sólidas médias diárias para a estação E21.

Foram elaborados gráficos com as séries históricas de vazões e de descargas de sedimentos suspensos e totais.

Os dados de nutrientes (i.e., nitrogênio e fósforo) e metais foram fornecidos por outros Temas no âmbito do PMBA/Fest. A partir destes dados e dos obtidos nesta linha de ação foram estimados os fluxos instantâneos de nutrientes e metais, determinados pelo produto Descarga Líquida x Concentração.

2.3 HISTÓRICO DE ALTERAÇÕES E ADAPTAÇÕES DE METODOLOGIAS

No que tange aos produtos e indicadores apresentados no presente relatório, não ocorreram quaisquer mudanças de metodologia em relação à apresentada em relatórios anteriores.

3 RESULTADOS DOS INDICADORES

Nesta seção serão apresentados os resultados dos indicadores de qualidade ambiental e da biodiversidade aquática do Tema, os quais foram desenvolvidos pelo PMBA/Fest e obtidos ao longo do monitoramento (setembro/2018 – setembro/2022) na área ambiental I. Vale ressaltar que, os indicadores aqui apresentados têm como propósito clarificar e sintetizar a historicidade dos resultados, interpretação e conclusões do monitoramento, promovendo o acompanhamento espaço-temporal da

qualidade ambiental e biodiversidade, além de configurarem importantes ferramentas de suporte a gestores ambientais. A partir destes indicadores, pode-se identificar os impactos com relação direta ou indireta ao rompimento da Barragem de Fundão, em Mariana (MG).

Os indicadores do PMBA/Fest vêm se consolidando ao longo de quatro anos de monitoramento, onde seus principais resultados foram discutidos em todos os relatórios técnicos entregues até o presente, entretanto a partir do novo modelo de relatório solicitado via ofício SEI nº 85/2022-CTBio/DIBIO/ICMBio, proposto via ofício FR.2023.0214 (SEI13515133) e aprovado via ofício SEI nº4/2023-CTBio/DIBIO/ICMBio, a apresentação dos resultados será exclusivamente a partir da apresentação dos indicadores, acompanhados de legenda estendida com a explicação de sua variação espaço-temporal de forma mais direta e objetiva como se segue:

3.1 Caracterização Hidrológica Global Para Compreensão Do Aporte De Água Doce E Do Transporte De Sedimentos No Ambiente Estuarino-Marinho Do Rio Doce

3.1.1 PRODUÇÃO DE ÁGUA NA BACIA DO RIO DOCE

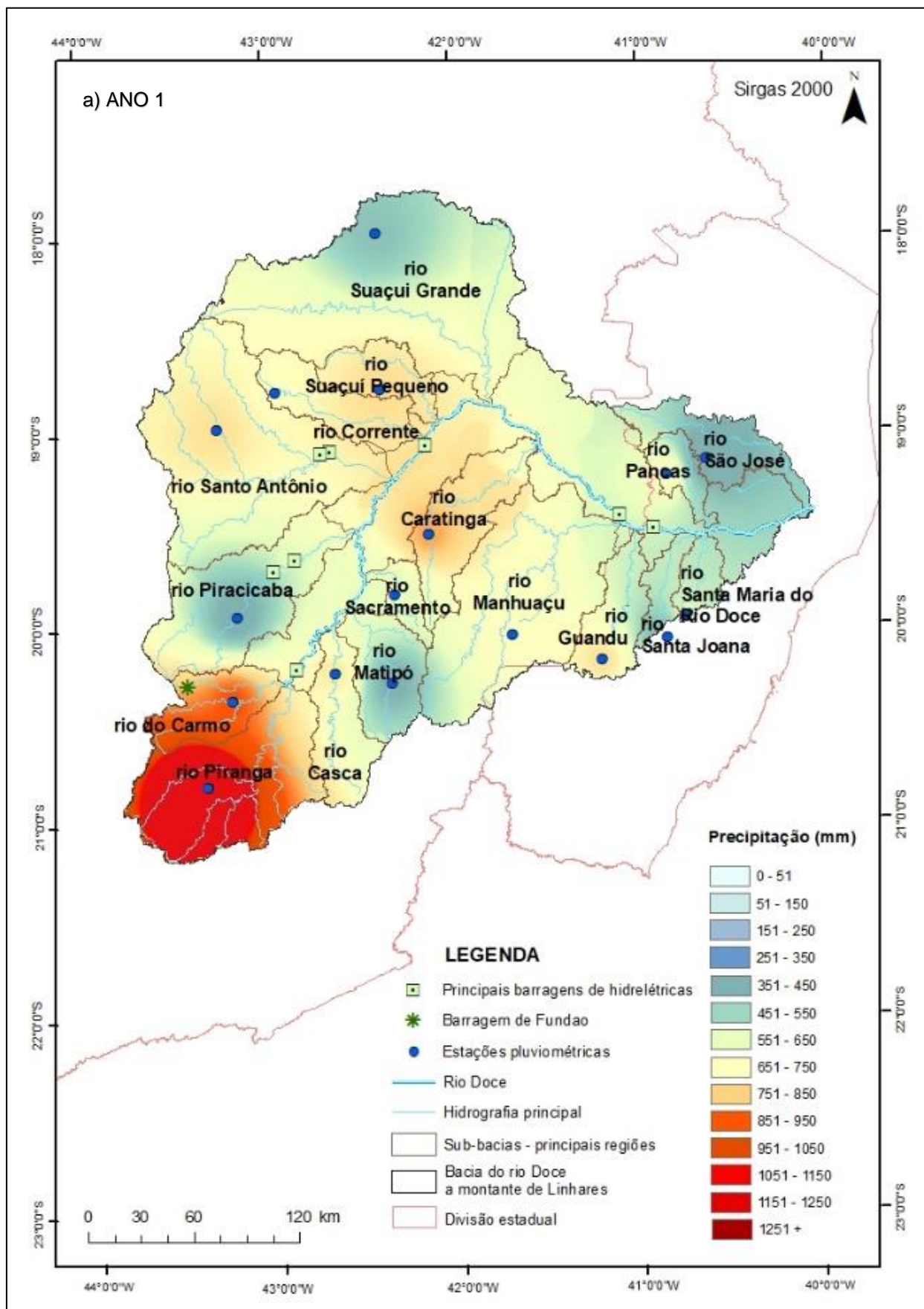
Tabela 8: Comparação das médias dos totais pluviométricos durante os períodos chuvoso e seco durante o PMBA/Fest

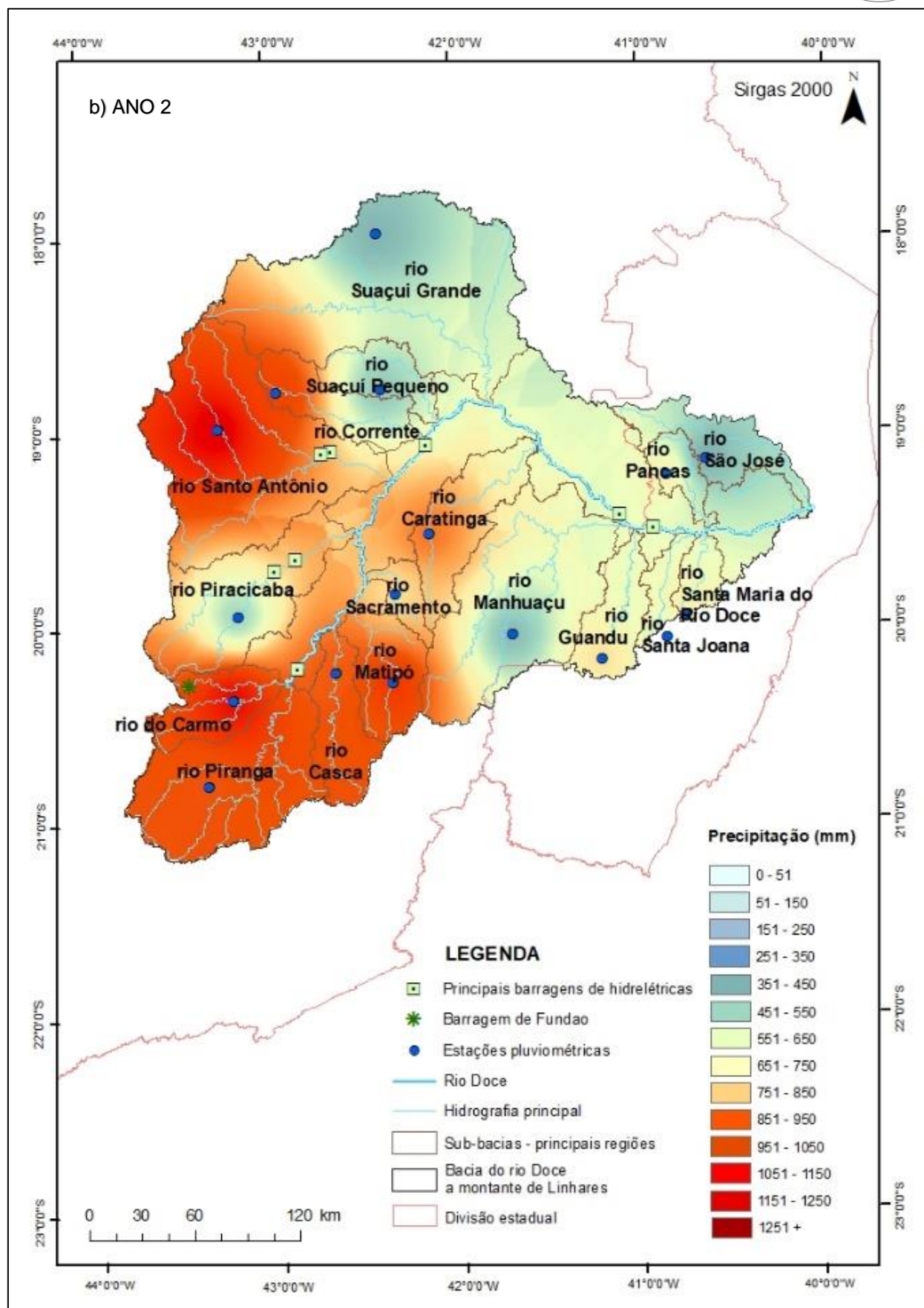
Região	Estação	TOTAL PLUVIOMÉTRICO (mm)							
		ANO 1		ANO 2		ANO 3		ANO 4	
		Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco
Suaçuí Grande MG	Água Boa Centro	486,8	132,2	490,1	257,4	956,2	75,4	1372,2	33,4
Suaçuí Pequeno MG	Sardoá Centro	815,0	103,1	535,2	225,4	1011,2	165,2	1278	142,0
Corrente MG	Guanhães	740,2	160,8	1028,4	335,9	604,3	88,8	697,8	43,0
Caratinga MG	PCH Inhapim Jusante	878,0	119,1	928,4	155,2	895	105,3	666,1	22,0
Santo Antônio MG	Dom Joaquim Centro	804,0	177,7	1212,8	57,4	522	17	1349,2	70,4
São José ES	São Domingos do Norte	344,1	182,2	479,0	210,4	846,26	161,13	1121,9	92,49
Pancas ES	Pancas	727,6	208,1	735,1	337,2	938,9	89,21	1115,6	128,2
Manhuaçu MG	Chalé Centro	740,2	147,2	510,3	210,1	1261,2	53,94	1452	91,0
Piracicaba MG	Piracicaba Centro	404,8	33,8	573,7	105,4	867,8	49,4	1606,8	172,8
Santa Maria do Rio Doce ES	Santa Teresa Alto Caldeirão	642,7	147,4	763,3	283,7	1131,51	192,77	1191,1	211,9
Guandu ES	Afonso Cláudio Piracema	801,3	255,7	795,4	198,8	1102,93	205,32	973,9	95,8
Santa Joana ES	Alto Rio Possmoser	403,5	155,8	620,8	270,1	863,51	207,91	1266,5	186,5
Sacramento MG	GCH Bom Jesus do Galho	637,6	134,0	794,7	190,3	880,8	44,2	1081,6	109,8
Matipó MG	PCH Tulio Cordeiro de Mello Montante 2	423,2	178,0	1057,4	145,4	877,2	55,4	1092,2	133
Casca MG	Rio Casca Centro	784,0	290,0	967,4	168,4	1140	101,23	1059,6	94,4
Carmo MG	PCH Furquim Jusante	947,9	427,2	1175,9	157,7	1029,2	89,5	1727,8	62,5
Piranga MG	Senhora de Oliveira Centro	1253,0	294,8	972,4	238,6	1414,4	95,4	1653,4	265,8

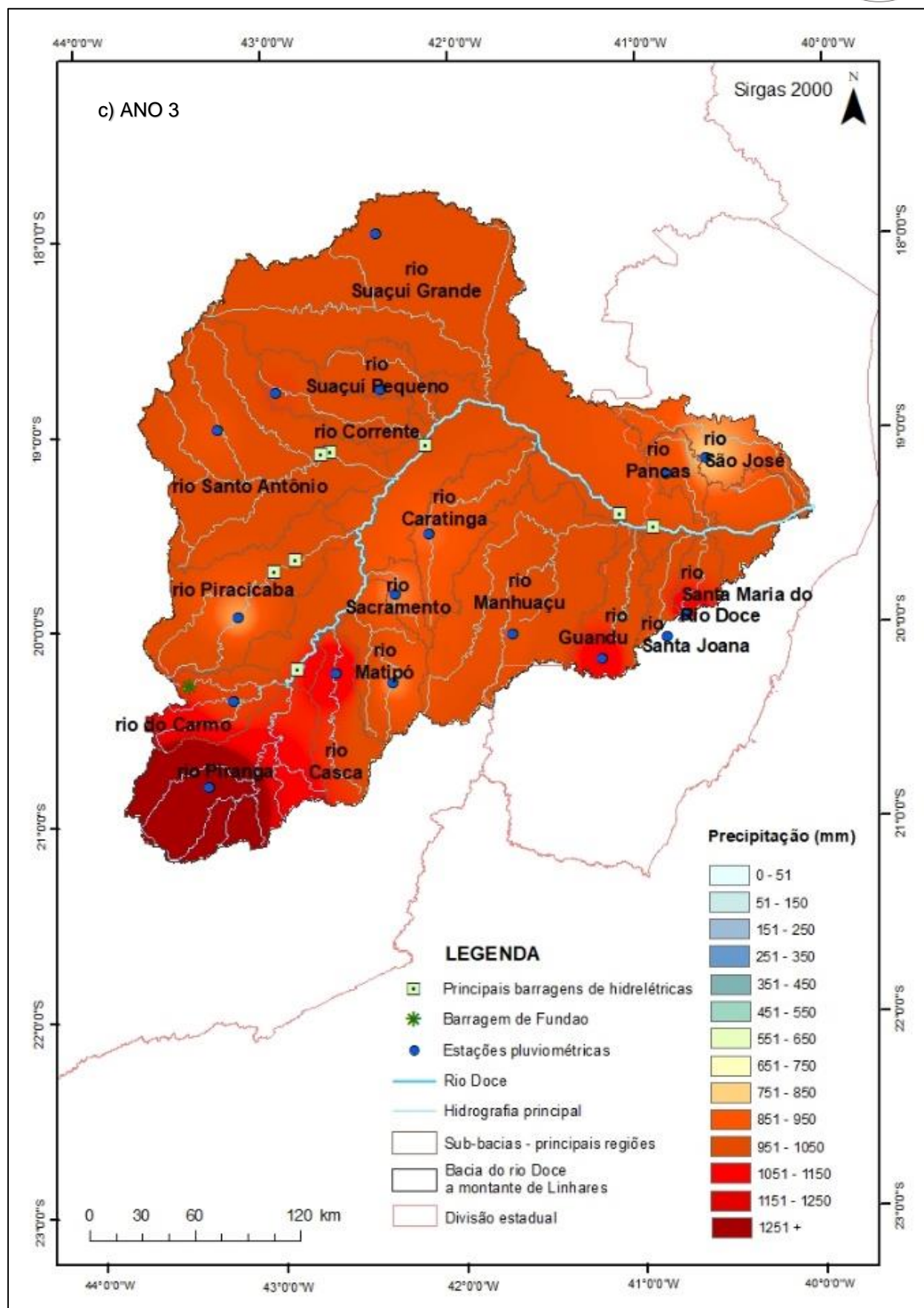
Região	Estação	TOTAL PLUVIOMÉTRICO (mm)							
		ANO 1		ANO 2		ANO 3		ANO 4	
		Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco
MÉDIA (mm)		696.11	185.12	185.12	208.67	961.32	105.71	1217.98	115.00

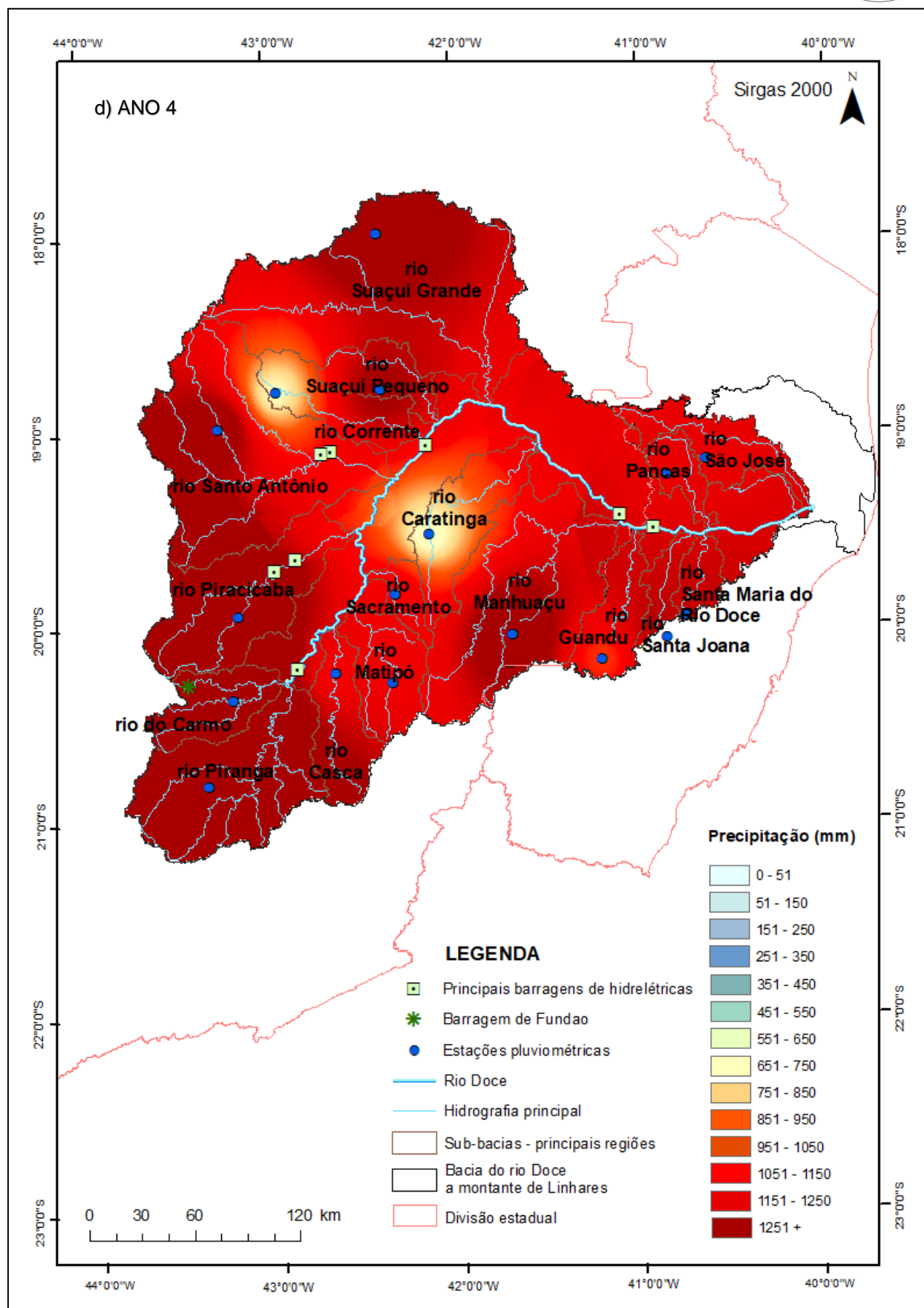
A comparação das médias dos totais pluviométricos em cada ano do PMBA/Fest é um importante fator, que faz parte da composição do indicador “Produção de Água na Bacia do Rio Doce”, uma vez que a chuva é necessária para alimentar o modelo SWAT, que faz a transformação da chuva em vazão, utilizando como base o ciclo hidrológico, que leva em consideração a declividade, os tipos de solos existentes na bacia e o uso e ocupação do território. Com a vazão simulada pelo modelo é possível calcular a produção de água na bacia. No Ano 1 do PMBA/Fest (outubro de 2018 a setembro de 2019), as regiões com maiores médias foram as bacias do rio Piranga e do Carmo, bacias formadoras do Rio Doce (região de cabeceira); No Ano 2 as maiores médias foram nas bacias do rio Santo Antônio e do Carmo; No Ano 3 as maiores médias foram nas bacias do rio Piranga e Santa Maria do Rio Doce, no ES; Já no Ano 4 repetiram-se as bacias com maiores médias no Ano 1, do rio do Carmo e do rio Piranga.

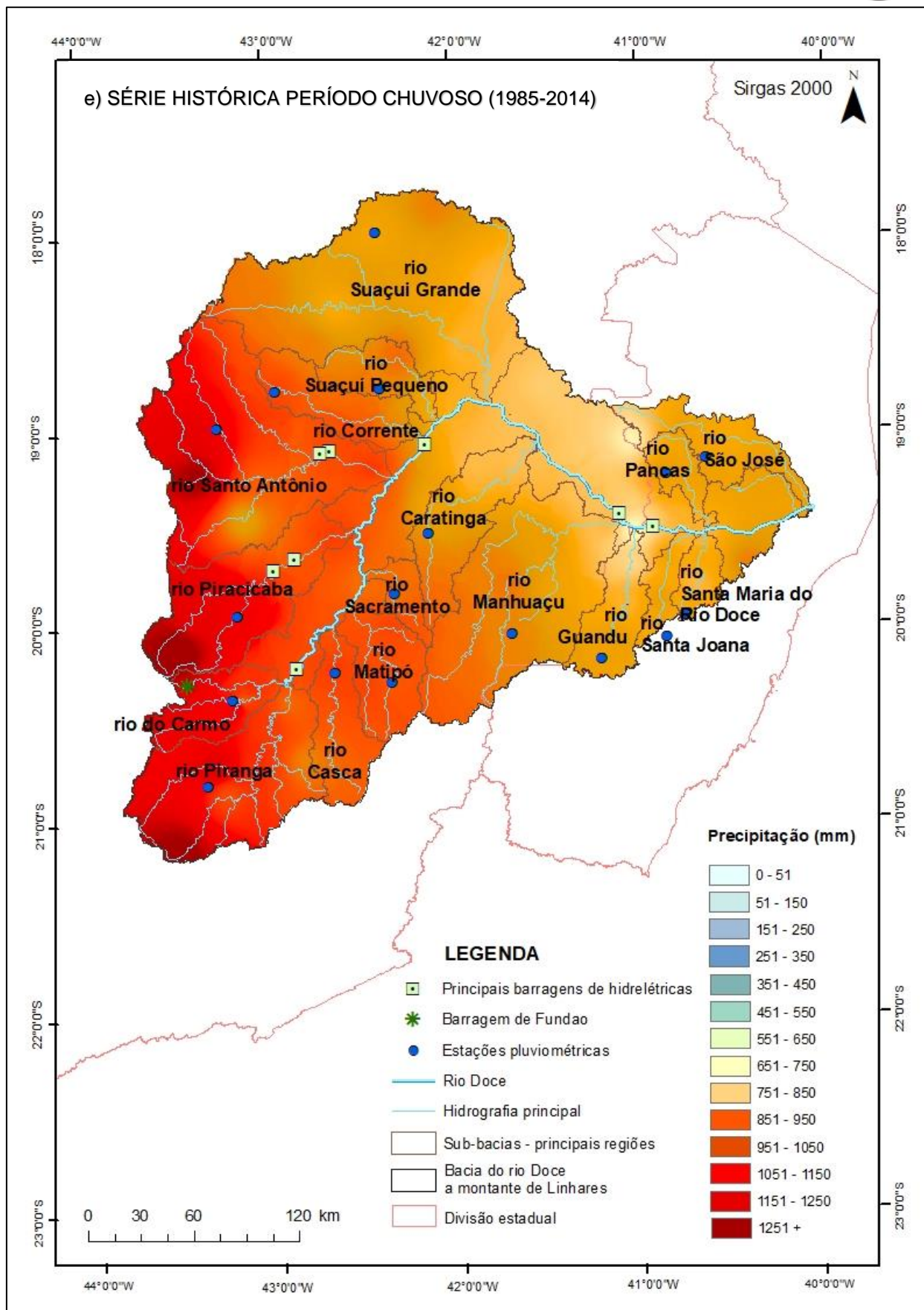
Figura 17: Interpolação IDW da distribuição de chuva na Bacia do Rio Doce no período chuvoso de cada ano do PMBA/Fest e da série histórica pré-rompimento (1985-2014) a) Ano 1; b) Ano 2; c) Ano 3; d) Ano 4; e) Série histórica pré-rompimento.





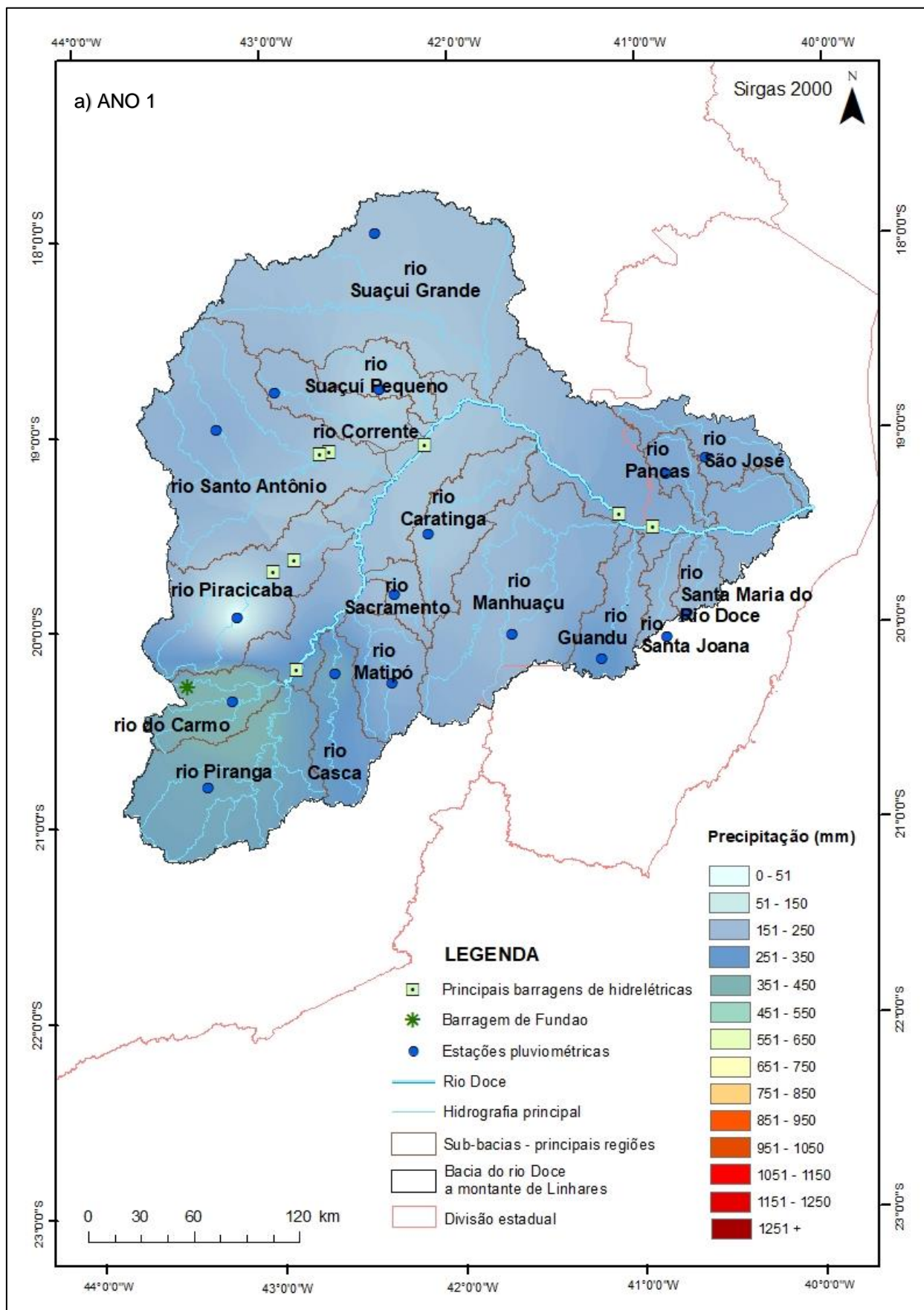


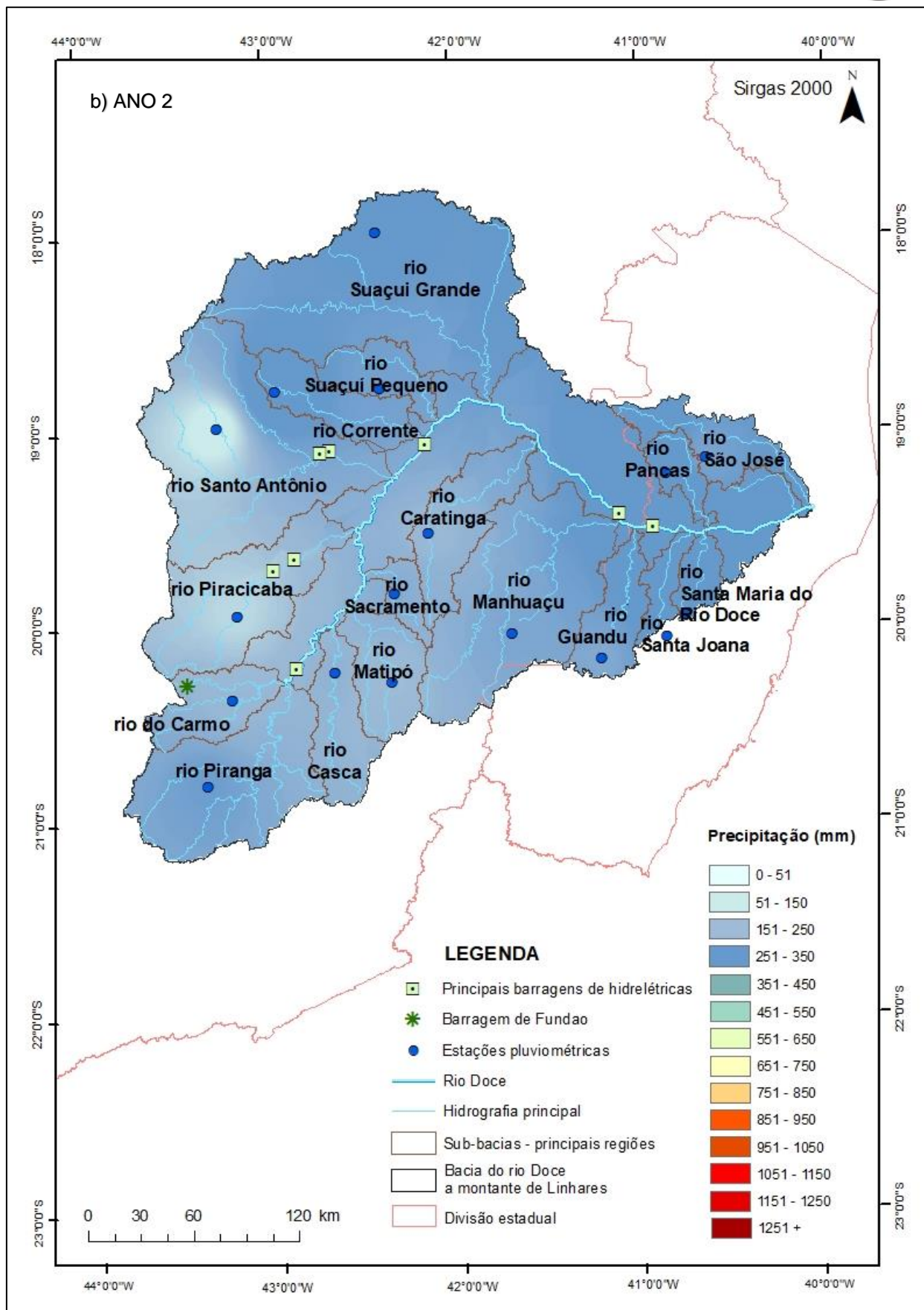


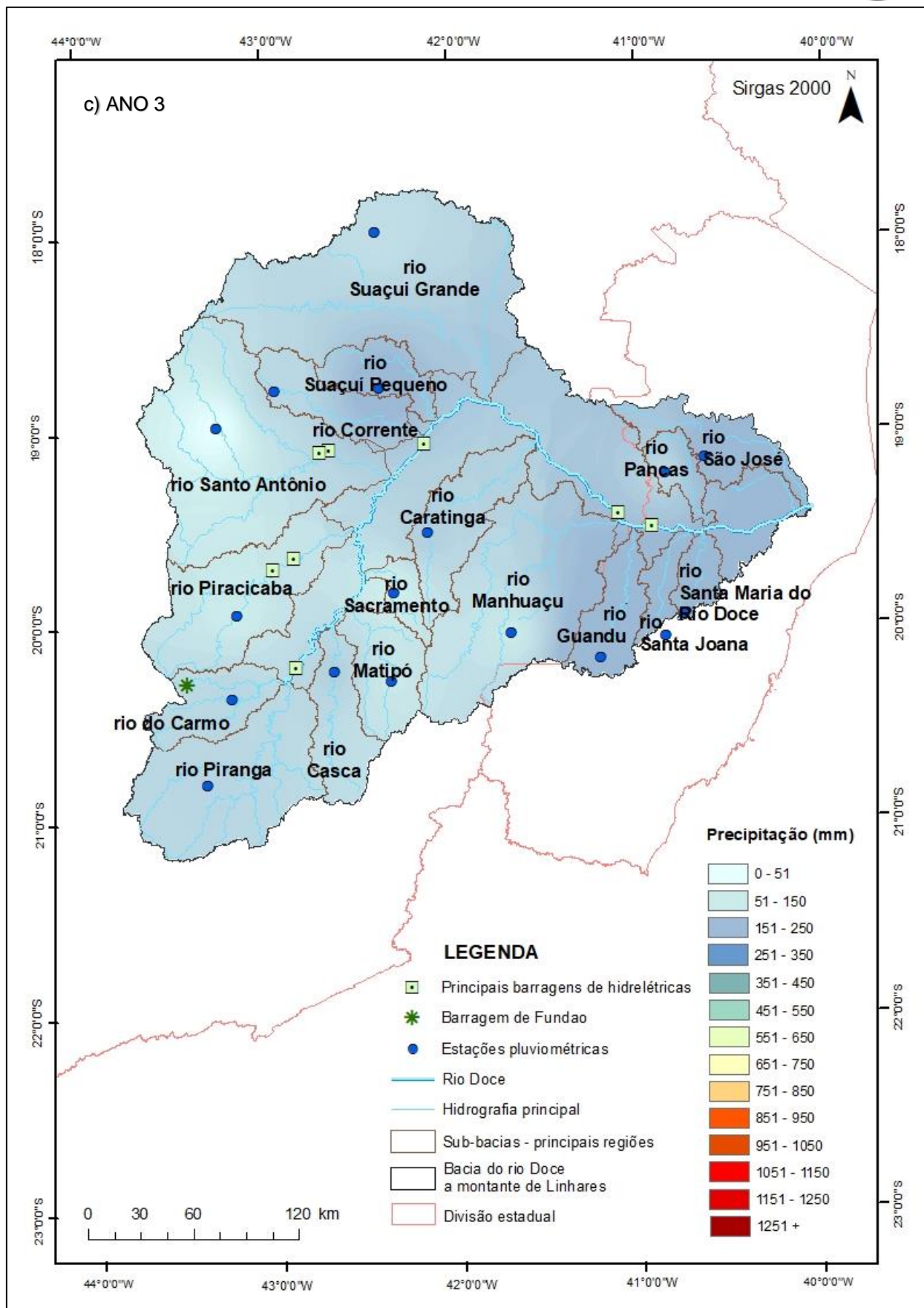


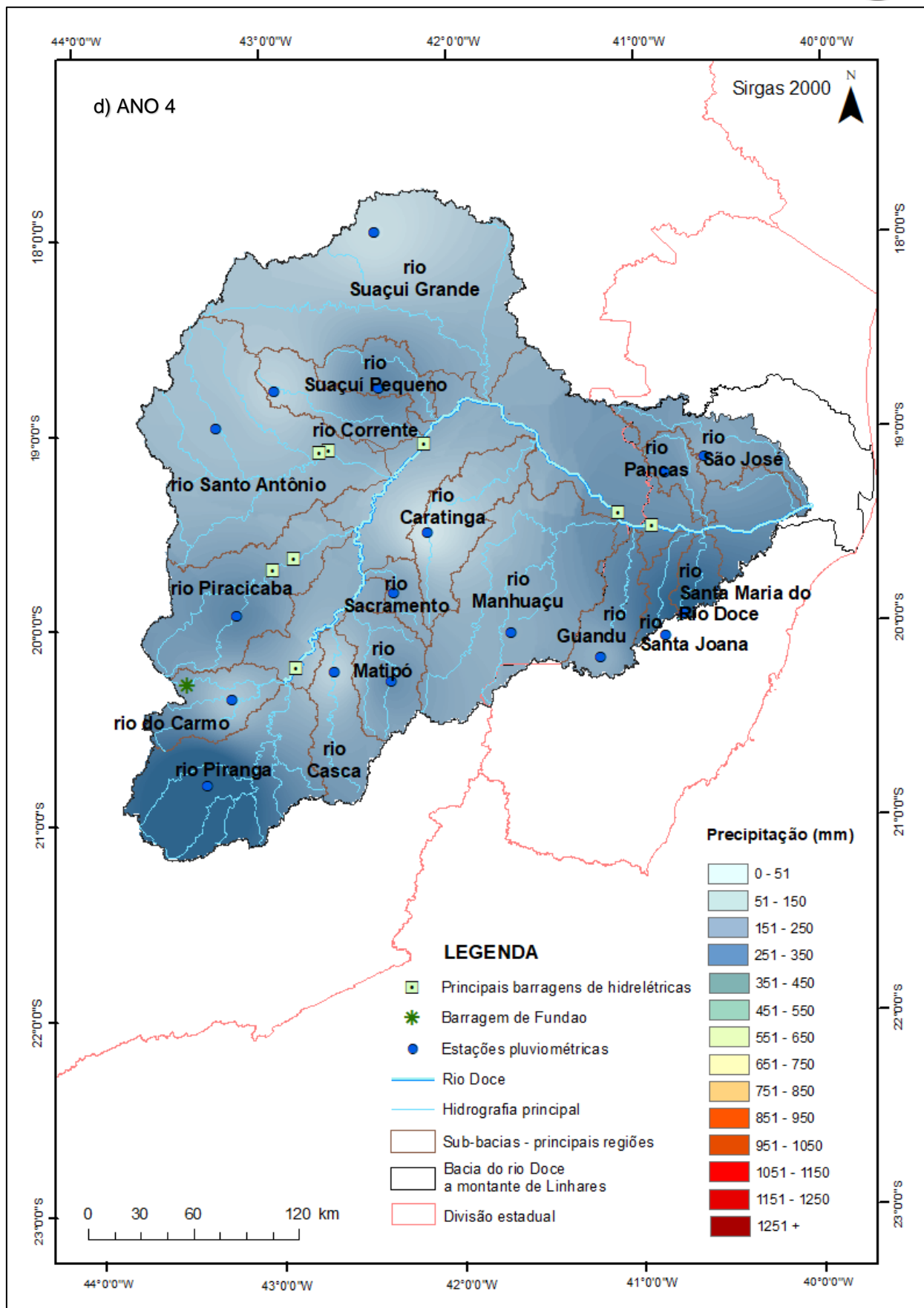
A Figura 17 representa a distribuição espaço-temporal da chuva nos períodos chuvosos do PMBA/Fest e o período chuvoso da série histórica pré-rompimento. A região de cabeceira da bacia, onde se encontram os rios Santo Antônio e Piracicaba, e os rios formadores do Rio Doce – do Carmo e Piranga, é onde mais chove na bacia do Rio Doce. No Ano 1 ocorreu maior precipitação pluviométrica nas bacias dos rios Piranga e do Carmo, no Ano 2 nas bacias dos rios Santo Antônio e do Carmo, no Ano 3 nas bacias dos rios Piranga e em uma parte do ES (bacias dos rios Santa Maria do Rio Doce e Guandu) e no Ano 4 as maiores chuvas ocorreram nas bacias dos rios Piranga e Piracicaba. O Ano 1 foi menos chuvoso que a série histórica pré-rompimento, sendo este o ano em que menos choveu entre os 4 anos de PMBA. O Ano 2 continuou menos chuvoso que o período chuvoso da série histórica, o Ano 3 foi o período chuvoso que mais se aproximou da série histórica pré-rompimento e o Ano 4 choveu acima da média da série histórica em quase toda a bacia do Rio Doce.

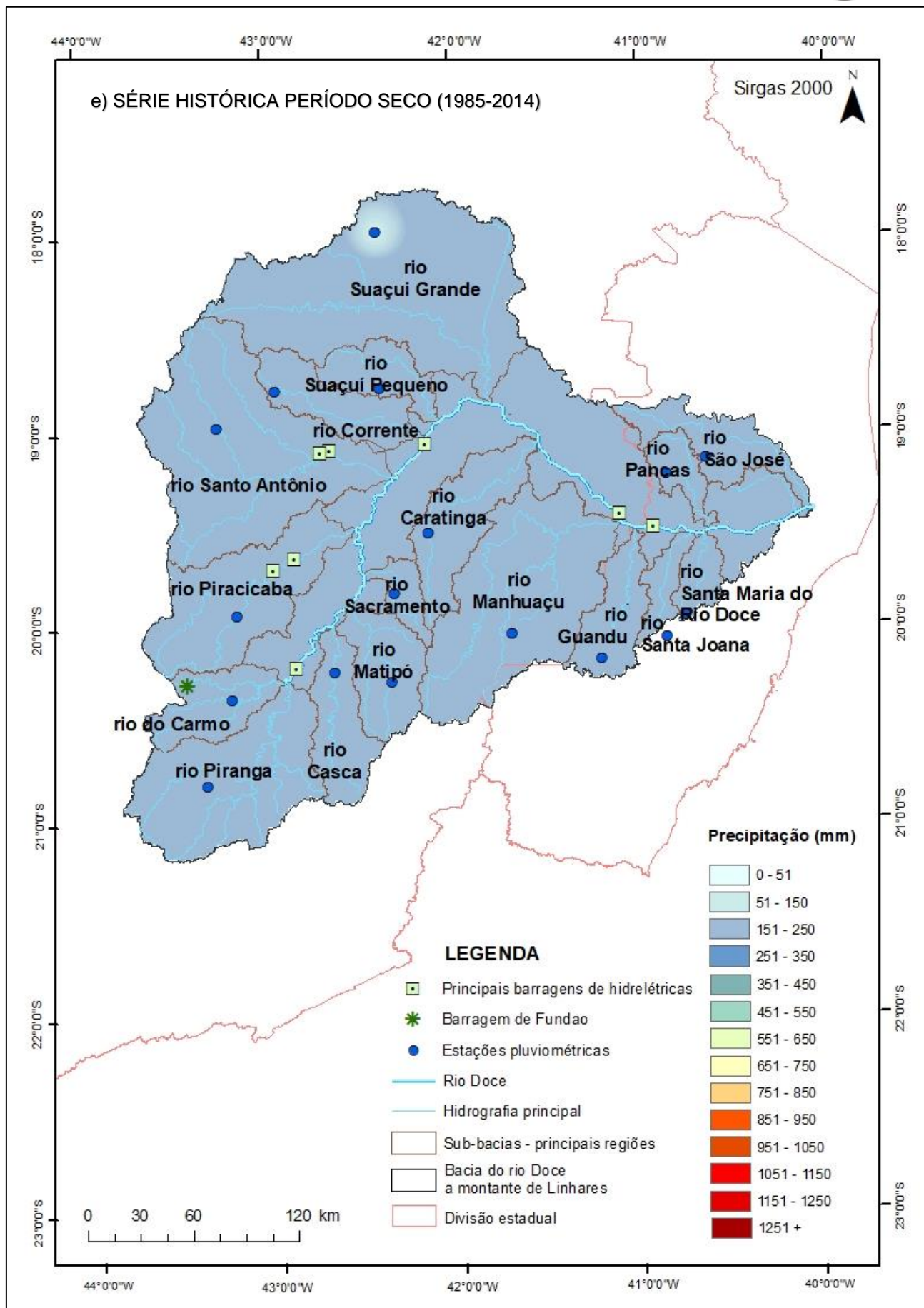
Figura 18: Interpolação IDW da distribuição de chuva na Bacia do Rio Doce no período seco de cada ano do PMBA/Fest e da série histórica pré-rompimento (1985-2014) a) Ano 1; b) Ano 2; c) Ano 3; d) Ano 4; e) Série histórica pré-rompimento.





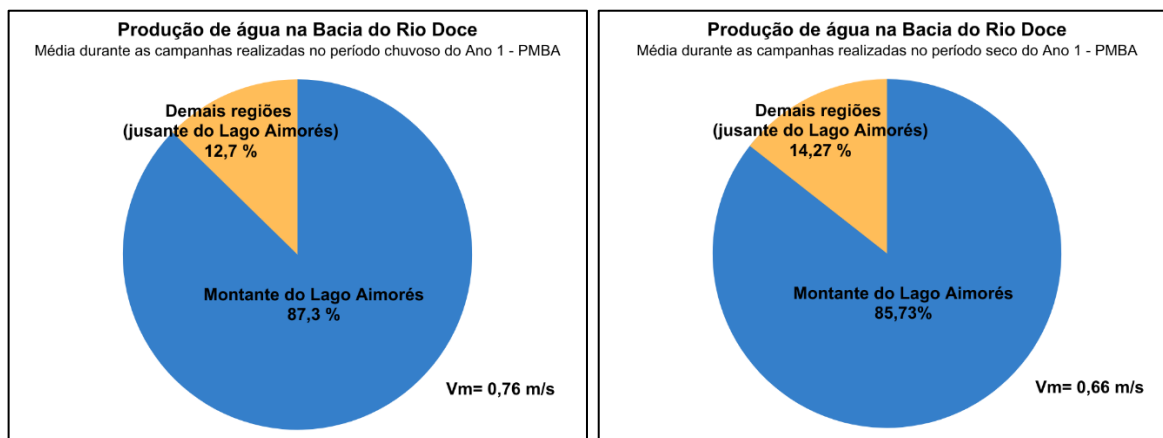






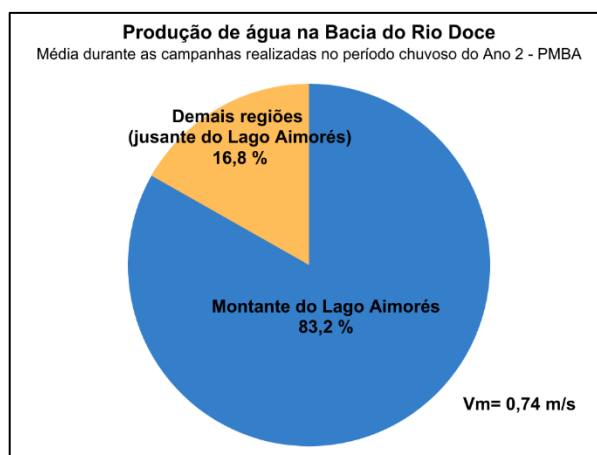
A Figura 18 representa a distribuição espaço-temporal da chuva nos períodos secos do PMBA/Fest e o período seco da série histórica pré-rompimento. Especialmente, no Ano 1 choveu menos na região da bacia do rio Piracicaba, no Ano 2 foi menor a precipitação pluviométrica na bacia do rio Santo Antônio, no Ano 3 as bacias com menor quantidade de chuva foram as do rio Santo Antônio seguida pela do rio Sacramento, em MG. Já no Ano 4 as regiões com menor precipitação foram as dos rios Caratinga e Corrente, em MG. Entre os períodos secos dos anos monitorados pelo PMBA, o Ano 3 foi o que teve menos chuvas (Figura 18c), com uma média mensal de 105 mm. O Ano 4 teve uma média mensal de 115 mm, o Ano 1 uma média mensal de 185,12 mm e o ano com mais precipitação no período seco foi o Ano 2, com 208,67 mm.

Figura 19: Produção de água na bacia do Rio Doce a montante e a jusante do Lago do reservatório Aimorés para o Ano 1 do PMBA/Fest (outubro de 2018 a setembro de 2019) a) Período chuvoso do Ano 1; b) Período seco do Ano 1



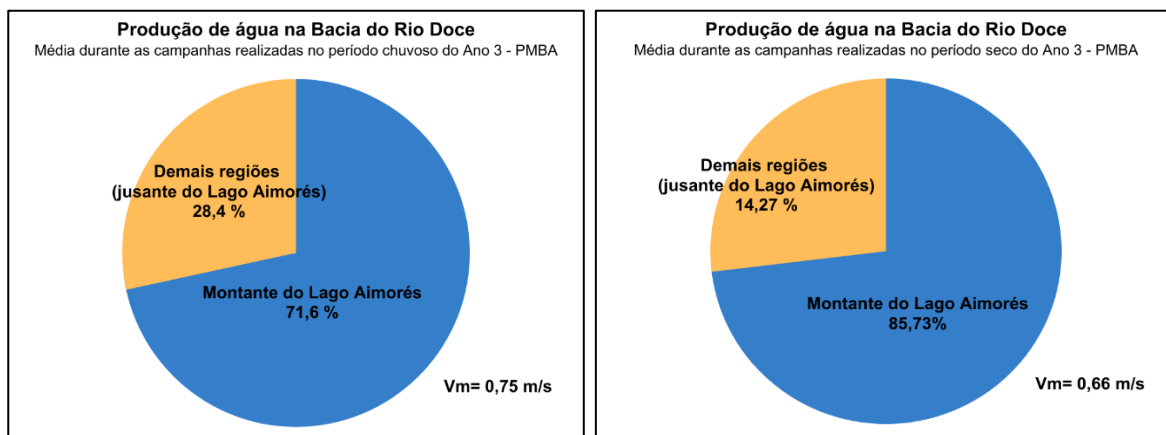
Durante as campanhas realizadas no Ano 1 do PMBA, a média de produção de água advinda de montante do Lago Aimorés, ou seja, da parte alta da bacia (porção mineira), que aportaram na foz do Rio Doce, no período chuvoso foi de 87,3 % e no período seco foi de 85,73%. Já a velocidade média no período chuvoso do Ano 1 foi de 0,76 m/s, enquanto no período seco foi de 0,66 m/s. Durante o Ano 1 houve campanha de monitoramento em todos os meses.

Figura 20: Produção de água na bacia do Rio Doce a montante e a jusante do Lago do reservatório Aimorés para o período chuvoso do Ano 2 do PMBA/Fest (novembro de 2019 a março de 2020)



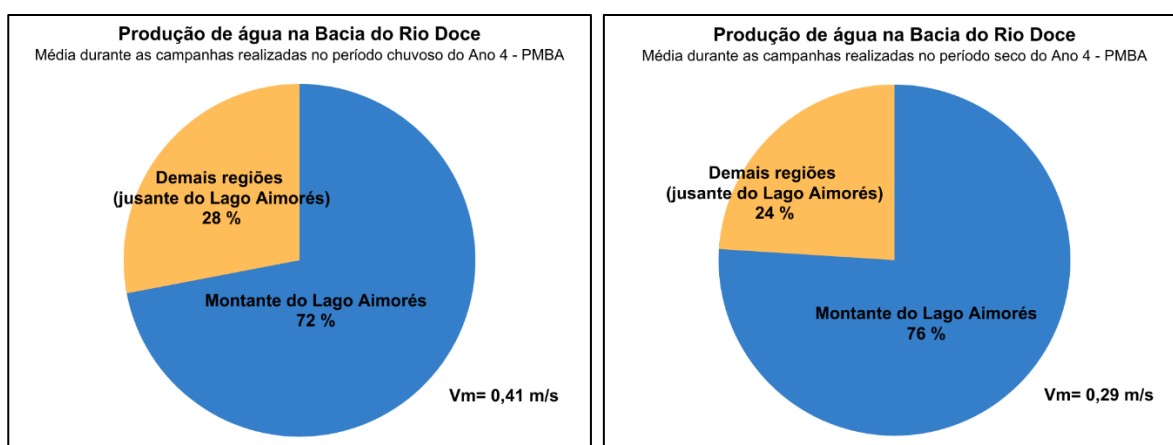
Durante as campanhas realizadas no Ano 2 do PMBA, a média de produção de água advinda de montante do Lago Aimorés, ou seja, da parte alta da bacia (porção mineira), que aportaram na foz do Rio Doce, no período chuvoso foi de 83,2 %, com velocidade média das águas de 0, 74 m/s. Observando que não houve campanha no mês de outubro de 2019, e no período seco do Ano 2 não foram realizadas campanhas de monitoramento, devido à pandemia de COVID-19.

Figura 21: Produção de água na bacia do Rio Doce a montante e a jusante do Lago do reservatório Aimorés para o Ano 3 do PMBA/Fest (outubro de 2020 a setembro de 2021) a) Período chuvoso do Ano 3; b) Período seco do Ano 3



Durante as campanhas realizadas no Ano 3 do PMBA, a média de produção de água advinda de montante do Lago Aimorés, ou seja, da parte alta da bacia (porção mineira), que aportaram na foz do Rio Doce, no período chuvoso foi de 71,6 % com velocidade médias das águas de 0,75 m/s, observando que o período chuvoso corresponde aos meses de outubro a março, sendo que no Ano 3, só foram realizadas campanhas de monitoramento durante os meses de dezembro, janeiro e fevereiro no período chuvoso. Já no período seco foram realizadas campanhas de monitoramento em todos os meses correspondentes e a média de produção de água advinda de montante do Lago Aimorés que aportaram na foz do Rio Doce foi de 85,3 %, com velocidade média das águas de 0,66 m/s.

Figura 22: Produção de água na bacia do Rio Doce a montante e a jusante do Lago do reservatório Aimorés para o Ano 4 do PMBA/Fest (outubro de 2021 a setembro de 2022) a) Período chuvoso do Ano 4; b) Período seco do Ano 4



Durante as campanhas realizadas no Ano 3 do PMBA, a média de produção de água advinda de montante do Lago Aimorés, ou seja, da parte alta da bacia (porção mineira), que aportaram na foz do Rio Doce, no período chuvoso foi de 71,6 %, com velocidade média das águas de 0,41 m/s, observando que o período chuvoso corresponde aos meses de outubro a março, sendo que no Ano 3, só foram realizadas campanhas de monitoramento durante os meses de dezembro, janeiro e fevereiro no período chuvoso. Já no período seco foram realizadas campanhas de monitoramento em todos os

meses correspondentes e a média de produção de água advinda de montante do Lago Aimorés que aportaram na foz do Rio Doce foi de 85,3 % e a velocidade médias das águas foi de 0,29 m/s.

Tabela 9: Tempos de detenção estimados, em dias, para o reservatório da UHE Aimorés nos 7 dias que antecederam as campanhas (Variável auxiliar do indicador “Produção de Água na Bacia do Rio Doce”)

Período que antecede cada campanha	Tempo de detenção (dias)
Antes da campanha 1 (15 a 21 de outubro de 2018)	12,3
Antes da campanha 2 (12 a 18 de novembro de 2018)	5,0
Antes da campanha 3 (3 a 9 de dezembro de 2018)	8,7
Antes da campanha 4 (7 a 13 de janeiro de 2019)	4,4
Antes da campanha 5 (4 a 10 de fevereiro de 2019)	7,8
Antes da campanha 6 (11 a 17 de março de 2019)	7,8
Antes da campanha 7 (1 a 7 de abril de 2019)	7,5
Antes da campanha 8 (6 a 12 de maio de 2019)	9,0
Antes da campanha 9 (3 a 9 de junho de 2019)	11,3
Antes da campanha 10 (8 a 14 de julho de 2019)	13,9
Antes da campanha 11 (5 a 11 de agosto de 2019)	15,3
Antes da campanha 12 (9 a 15 de setembro de 2019)	16,1
Antes da campanha 13 (18 a 24 de novembro de 2019)	5,0
Antes da campanha 14 (2 a 8 de dezembro de 2019)	1,5
Antes da campanha 15 (13 a 19 de janeiro de 2020)	5,5
Antes da campanha 16 (27 de janeiro a 2 de fevereiro de 2020)	0,8
Antes da campanha 17 (9 a 15 de março de 2020)	2,0
Antes da campanha 27 (7 a 13 de dezembro de 2021)	2,3
Antes da campanha 28 (4 a 10 de janeiro de 2021)	1,8
Antes da campanha 29 (3 a 9 de fevereiro de 2021)	5,0
Antes da campanha 31 (19 a 25 de abril de 2021)	5,3
Antes da campanha 32 (3 a 9 de maio de 2021)	5,7
Antes da campanha 33 (7 a 13 de junho de 2021)	7,0
Antes da campanha 34 (5 a 11 de julho de 2021)	7,7
Antes da campanha 35 (9 a 15 de agosto de 2021)	11,7
Antes da campanha 36 (13 a 19 de setembro de 2021)	14,8
Antes da campanha 38 (1 a 7 de novembro de 2021)	2,0
Antes da campanha 39 (6 a 12 de dezembro de 2021)	1,8
Antes da campanha 40 (18 a 24 de janeiro de 2022)	1,8
Antes da campanha 41 (7 a 13 de fevereiro de 2022)	1,0
Antes da campanha 42 (7 a 13 de março de 2022)	2,3
Antes da campanha 43 (28 de março a 3 de abril de 2022)	3,4
Antes da campanha 44 (2 a 8 de maio de 2022)	4,0
Antes da campanha 45 (15 a 21 de agosto de 2022)	7,1

Os tempos de detenção para o lago de Aimorés durante todo o PMBA/Fest foram calculados com a finalidade de mostrar a influência do mesmo nas vazões que aportam na foz da bacia do Rio Doce. Nas

semanas que antecederam as campanhas de monitoramento (Tabela 9) os tempos de detenção variaram ao longo do PMBA/Fest de menos de 1 dia (0,8) a mais de 16 dias (16,1).

Tabela 10: Tempos de detenção estimados, em dias, para o reservatório da UHE Aimorés durante as campanhas (Variável auxiliar do indicador “Produção de Água na Bacia do Rio Doce”)

Período da campanha	Tempo de detenção (dias)
Campanha 1 (22 a 27 de outubro de 2018)	9,6
Campanha 2 (19 a 23 de novembro de 2018)	6,2
Campanha 3 (10 a 14 de dezembro de 2018)	3,0
Campanha 4 (14 a 18 de janeiro de 2019)	7,6
Campanha 5 (11 a 15 de fevereiro de 2019)	6,8
Campanha 6 (18 a 22 de março de 2019)	4,3
Campanha 7 (8 a 12 de abril de 2019)	5,7
Campanha 8 (13 a 17 de maio de 2019)	8,1
Campanha 9 (10 a 14 de junho de 2019)	10,8
Campanha 10 (15 a 19 de julho de 2019)	15,0
Campanha 11 (12 a 16 de agosto de 2019)	15,8
Campanha 12 (16 a 20 de setembro de 2019)	17,4
Campanha 13 (25 a 28 de novembro de 2019)	4,6
Campanha 14 (9 a 12 de dezembro de 2019)	1,8
Campanha 15 (20 a 23 de janeiro de 2020)	2,9
Campanha 16 (3 a 6 de fevereiro de 2020)	2,4
Campanha 17 (16 e 17 de março de 2020)	0,9
Campanha 27 (14 a 17 de dezembro de 2021)	2,3
Campanha 28 (11 a 14 de janeiro de 2021)	2,5
Campanha 29 (10 a 13 de fevereiro de 2021)	2,0
Campanha 31 (26 a 29 de abril de 2021)	5,9
Campanha 32 (10 a 13 de maio de 2021)	6,4
Campanha 33 (14 a 17 de junho de 2021)	7,3
Campanha 34 (12 a 15 de julho de 2021)	9,7
Campanha 35 (16 a 19 de agosto de 2021)	10,2
Campanha 36 (20 a 23 de setembro de 2021)	14,8
Campanha 38 (8 a 11 de novembro de 2021)	2,6
Campanha 39 (13 a 16 de dezembro de 2021)	2,2
Campanha 40 (25 a 28 de janeiro de 2022)	2,8
Campanha 41 (14 a 18 de fevereiro de 2022)	0,8
Campanha 42 (14 a 17 de março de 2022)	2,8
Campanha 43 (4 a 7 de abril de 2022)	3,5
Campanha 44 (9 a 12 de maio de 2022)	3,9
Campanha 45 (22 a 25 de agosto, 29 e 31 de agosto e 01 de setembro de 2022)	7,7

Já a Tabela 10 mostra os tempos de detenção durante as campanhas de monitoramento realizadas no PMBA, e variaram de menos 0,8) a 17,4 dias.

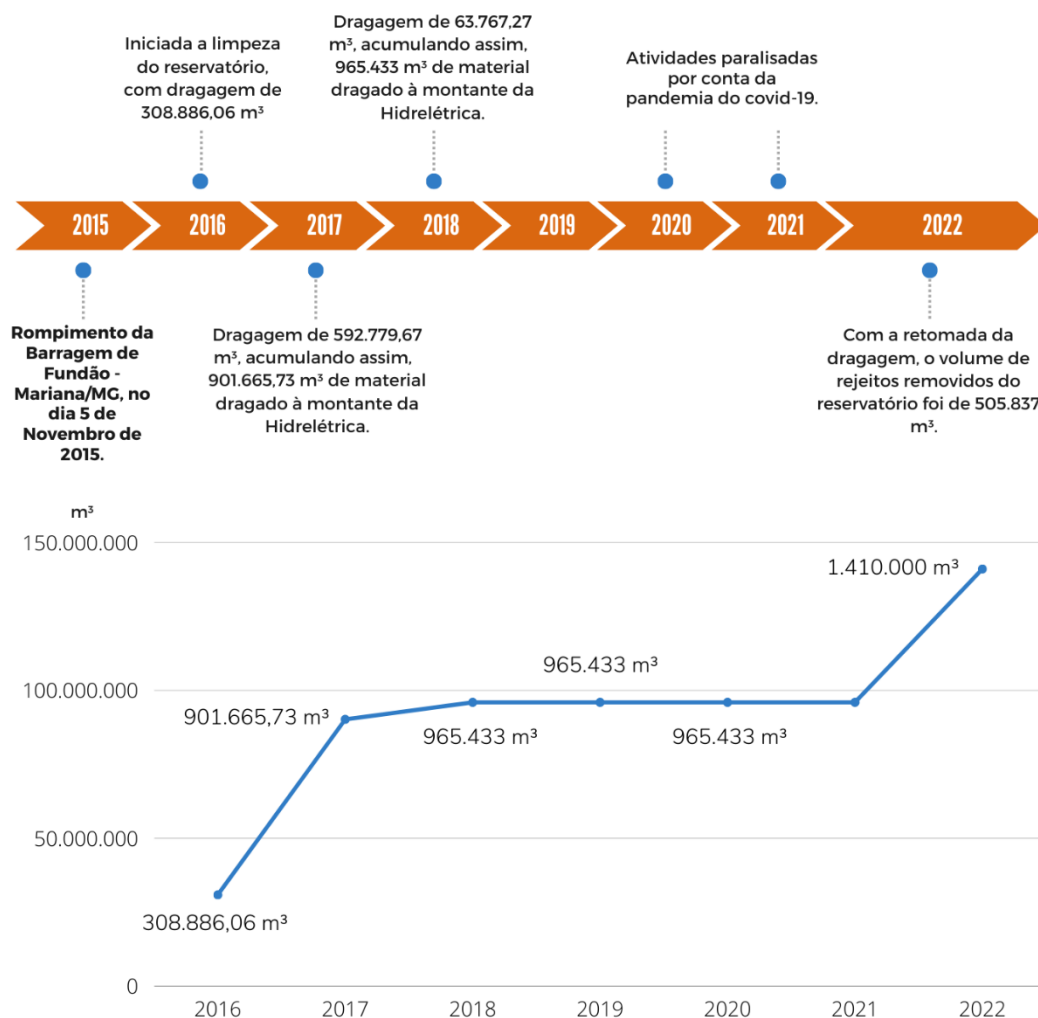
3.2 Caracterização E Análise De Interrelações Envolvendo Ações Na Bacia Hidrográfica E Aspectos De Quantidade/Qualidade Da Água E Biodiversidade Aquática

3.2.1 QUANTIDADE DE MATERIAL DRAGADO NA UHE RISOLETA NEVES

Figura 23: Índice de quantidade de material dragado na UHE Risoleta Neves.

LINHA DO TEMPO DOS PRINCIPAIS NÚMEROS DE RECUPERAÇÃO DO RESERVATÓRIO DA UHE RISOLETA NEVES, POR PARTE DA FUNDAÇÃO RENOVA

Baseado nos dados do Programa 09- Recuperação do Reservatório da UHE Risoleta Neves



META

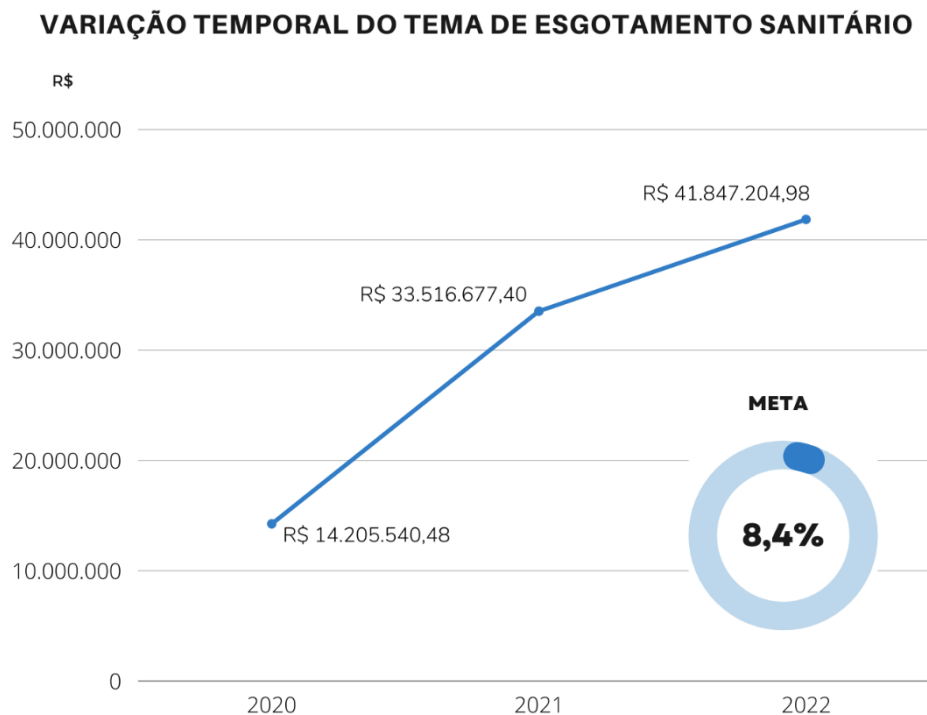
Restabelecimento das condições de operação da Usina Hidrelétrica Risoleta Neves por meio da implantação de ações de desassoreamento na área de alagamento da hidrelétrica e de reparo de infraestrutura, com remoção emergencial de 960.000 m³ de rejeito e remoção de 450.000 m³ na retomada da dragagem após a paralização das obras por conta da pandemia do COVID-19.



Para o índice de quantidade de material dragado, foram identificadas ações, no âmbito do programa 09 da Fundação Renova, que objetiva: “Restabelecimento das condições de operação da Usina Hidrelétrica Risoleta Neves por meio da implantação de ações de desassoreamento na área de alagamento da hidrelétrica e de reparo de infraestrutura.” As atividades foram iniciadas em 2016, com o objetivo de remoção emergencial do rejeito, sendo definida a área prioritária para as obras de dragagem como “400 m a montante do barramento”. Nessa região, foram identificados, logo após o rompimento, 550.000 m³ de material. Porém, após o período chuvoso de 2015/2016, a quantidade de material subiu para 1.600.000 m³ por conta do aporte de sedimentos. Nesse contexto, a primeira meta das obras de dragagem consistiu na remoção de 960.000 m³, até 2019. Nos anos de 2020 e 2021 as obras foram paralisadas devido à pandemia da COVID-19, sendo retomadas, então, em maio de 2022. Desde seu retorno, as obras de dragagem atingiram as metas impostas pela Fundação Renova, acumulando, atualmente 1.410.000 m³ de material dragado. Vale ressaltar, que o cumprimento da meta não significa que todo o material depositado no reservatório usina foi removido. Portanto, está prevista continuidade da remoção. Todo o material dragado é acomodado na Fazenda Floresta, localizada a 3 km da usina. A Fazenda Floresta foi proposta em 2016 como uma área definitiva para disposição dos rejeitos dragados do reservatório da UHE Risoleta Neves. No local, o rejeito é disposto em pilhas de rejeito/estéril após o desaguamento do material, ocupando uma área estimada de 39,52 ha.

3.2.2 ÍNDICE DE REPASSE PARA AÇÕES DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

Figura 24: Variação Temporal do Repasse Financeiro (R\$) do Programa 31 da Fundação Renova



As ações de esgotamento sanitário compõem o Programa 31 (PG 31) da Fundação Renova. Para estas ações foram avaliados os repasses financeiros e suas distribuições entre os municípios, a situação dos repasses e os quantitativos de municípios em cada situação (referentes aos repasses). A Figura 24 apresenta a evolução temporal dos repasses financeiros. Estima-se que foi repassado até setembro de 2022 um valor total R\$ 41.847.204,98, que corresponde a 8,37% do total acordado no TTAC, R\$ 500.000.000.

Figura 25: Distribuição dos repasses financeiros aos municípios – Programa 31 - Situação identificada até setembro de 2022

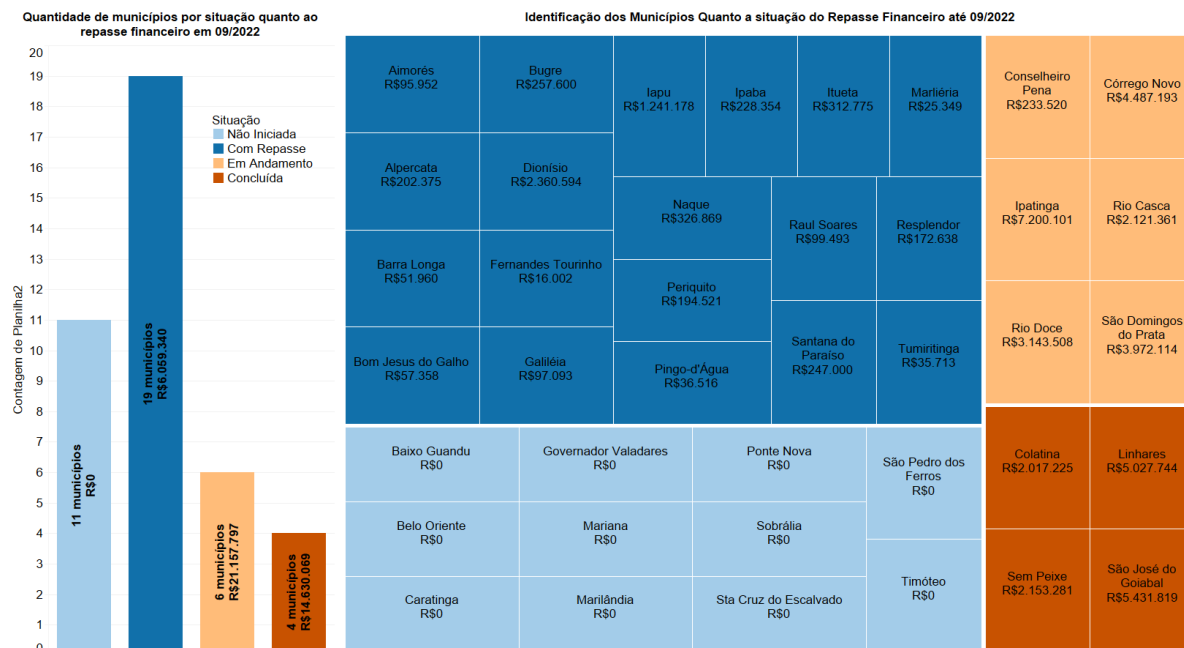


Figura 25 apresenta a distribuição dos repasses financeiros aos municípios dentro do Programa 31. É apresentada também a situação do desenvolvimento das obras correlatas. Dos 40 municípios contemplados pelas ações do PG31 verificou-se que 11 se encontram com repasse ainda não iniciado, 19 estão em fase inicial do repasse da verba, seis se encontram com obras em andamento e quatro com obras concluídas.

Figura 26: Localização dos municípios e situação quanto aos repasses financeiros (R\$)

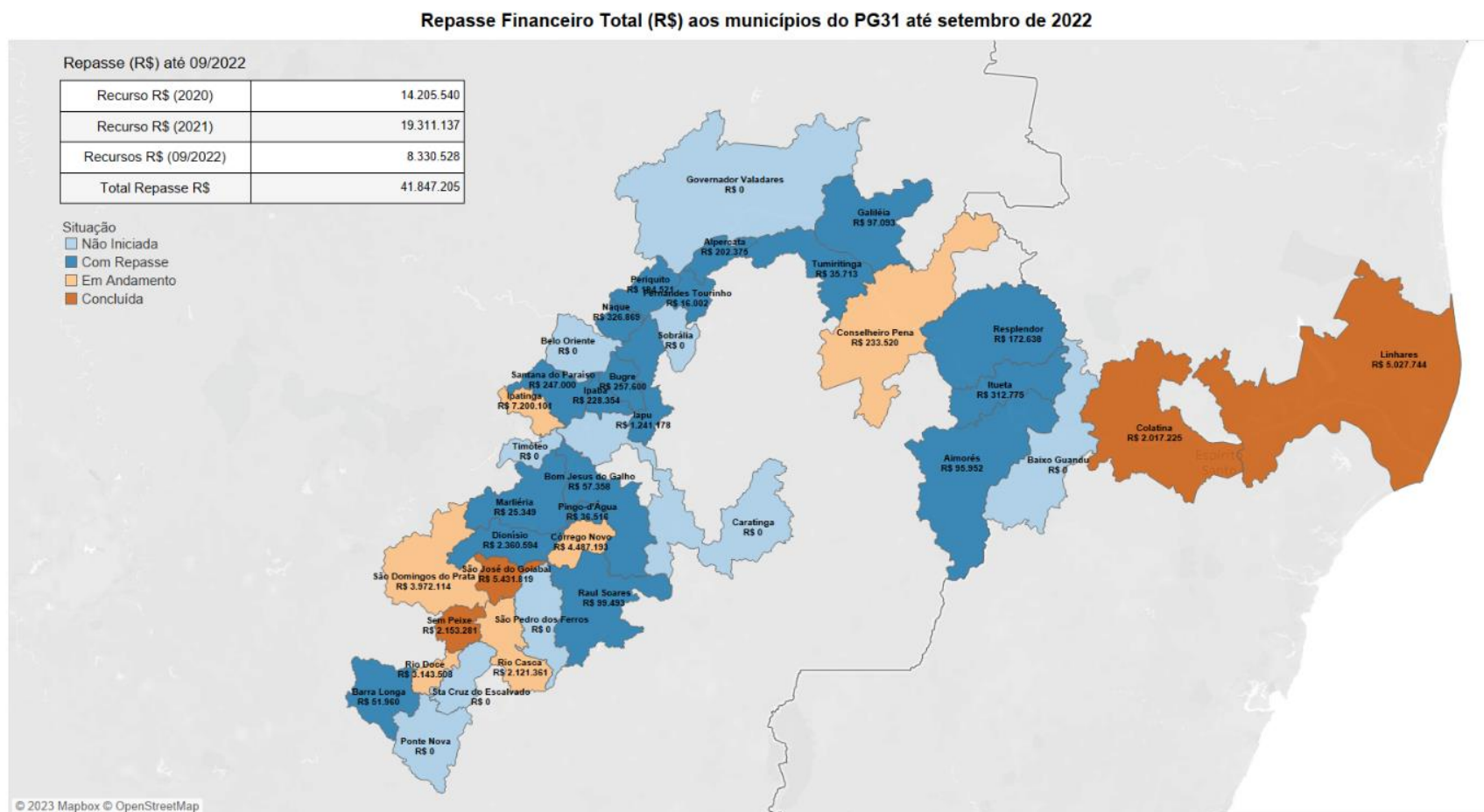


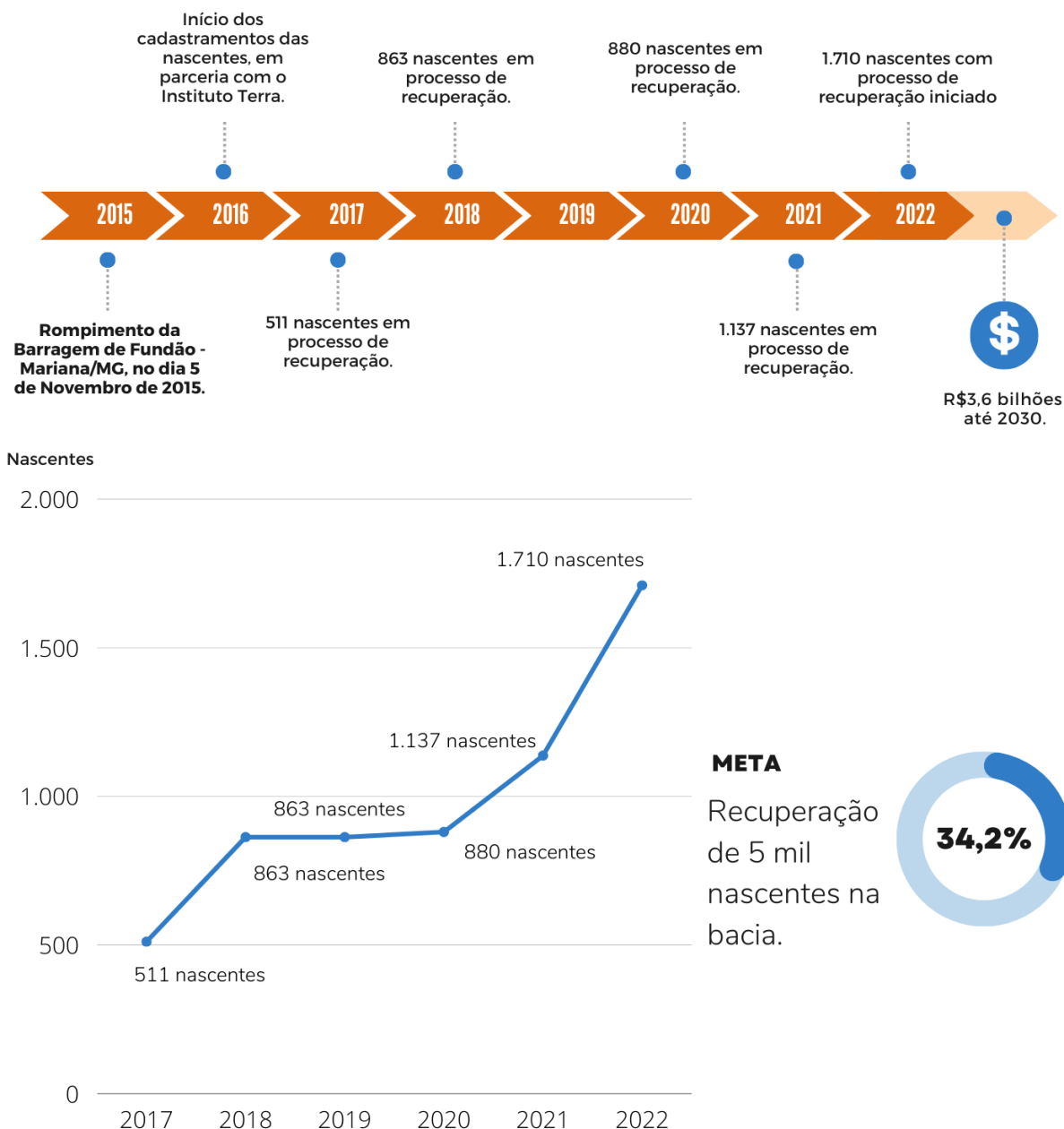
Figura 26, estão mapeados os municípios inseridos no Programa 31 e suas respectivas situações quanto aos repasses financeiros. Os municípios que tiveram obras de esgotamento sanitário concluídas são Sem-Peixe e São José do Goiabal, no Estado de Minas Gerais, e Colatina e Linhares, no Estado do Espírito Santo. Os repasses financeiros anuais foram R\$14.205.540 no ano de 2020, R\$19.311.137 no ano de 2021 e R\$ 8.330.528 até setembro de 2022, totalizando R\$ 41.847.205.

3.2.3 ÍNDICE DE NASCENTES RECUPERADAS

Figura 27: Índice de nascentes recuperadas.

LINHA DO TEMPO DOS PRINCIPAIS NÚMEROS DE RECUPERAÇÃO DE NASCENTES, POR PARTE DA FUNDAÇÃO RENOVA

Baseado nos dados do Programa 27 - PROGRAMA DE RECUPERAÇÃO DE NASCENTES



Municípios beneficiados até setembro/22: Alpercata, Governador Valadares, Tumiritinga, Galiléia, Resplendor, Itueta, Mariana, Barra Longa, Ponte Nova, Santana do Paraíso, Belo Oriente, Periquito, Fernandes Tourinho, Aimorés, Santa Cruz do Escalvado, **Baixo Guandu (ES), Colatina (ES), Linhares (ES) e Marilândia (ES).**

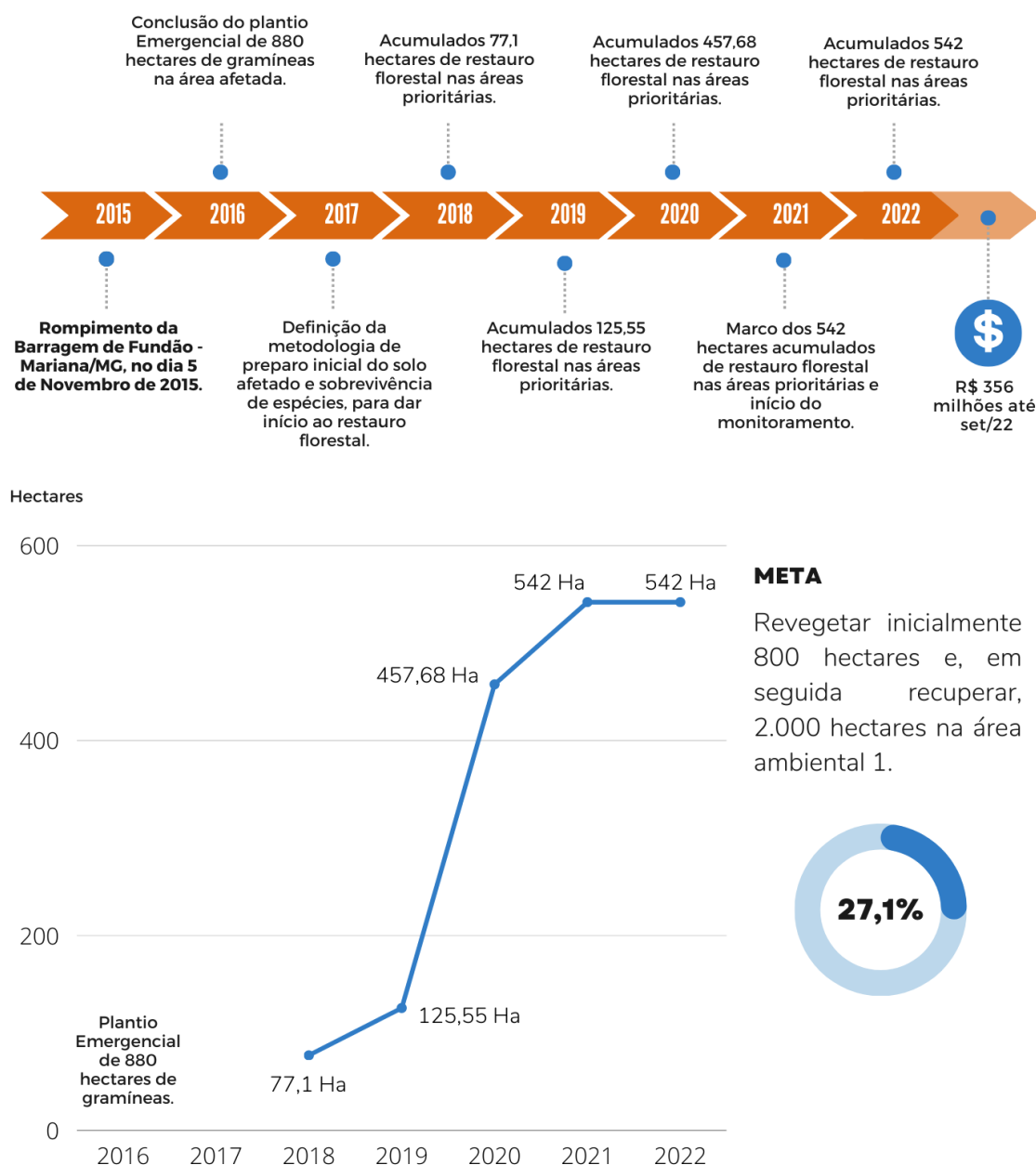
Para o índice de nascentes recuperadas, foram identificadas ações, no âmbito do programa 27 da Fundação Renova, que visam a proteção e Doce até 2030, demandando investimento previsto de R\$ 3,6 bilhões. Até setembro de 2022, 34,2% da meta foi executado. O programa visa abranger nascentes localizadas nos municípios de Mariana, Barra Longa, Santa Cruz do Escalvado, Alpercata, Governador Valadares, Tumiritinga, Galiléia, Resplendor, Itueta, Ponte Nova, Santana do Paraíso, Belo Oriente, Periquito, Fernandes Tourinho e Aimorés, em Minas Gerais, bem como em Baixo Guandu, Colatina, Marilândia e Linhares, no Espírito Santo. Em 2017, o total de 511 nascentes protegidas foi alcançado, em regiões das bacias dos rios Suaçuí Grande, em Minas Gerais, e Santa Maria do Rio Doce e Pancas, no Espírito Santo. Em 2018, 352 foram protegidas e recuperadas, totalizando 863 nascentes com processos de recuperação iniciados. Em 2019, ocorreu plantio de 355 mil mudas para recuperação dessas 863 nascentes protegidas. Em 2020, 880 nascentes, no total, entraram em processo de recuperação e 239 mil mudas foram plantadas. Em 2021, este número cresceu para 1.137 nascentes e o total acumulado até setembro de 2022 foi de 1.710 nascentes em processo de recuperação.

3.2.4 ÍNDICE DE ÁREAS REFLORESTADAS

Figura 28: Índice de Restauro Florestal

LINHA DO TEMPO DOS PRINCIPAIS NÚMEROS DO RESTAURO FLORESTAL NAS ÁREAS PRIORITÁRIAS, POR PARTE DA FUNDAÇÃO RENOVA

Baseado nos dados do Programa 25 - REVEGETAÇÃO, ENROCAMENTOS E OUTROS MÉTODOS



Municípios beneficiados até setembro/22: Mariana, Barra Longa, Ponte Nova e Santa Cruz do Escalvado

Para o índice de áreas reflorestadas, foram identificadas ações, no âmbito do programa 25 da Fundação Renova, que visam a recuperação das áreas diretamente atingidas pelo rompimento da

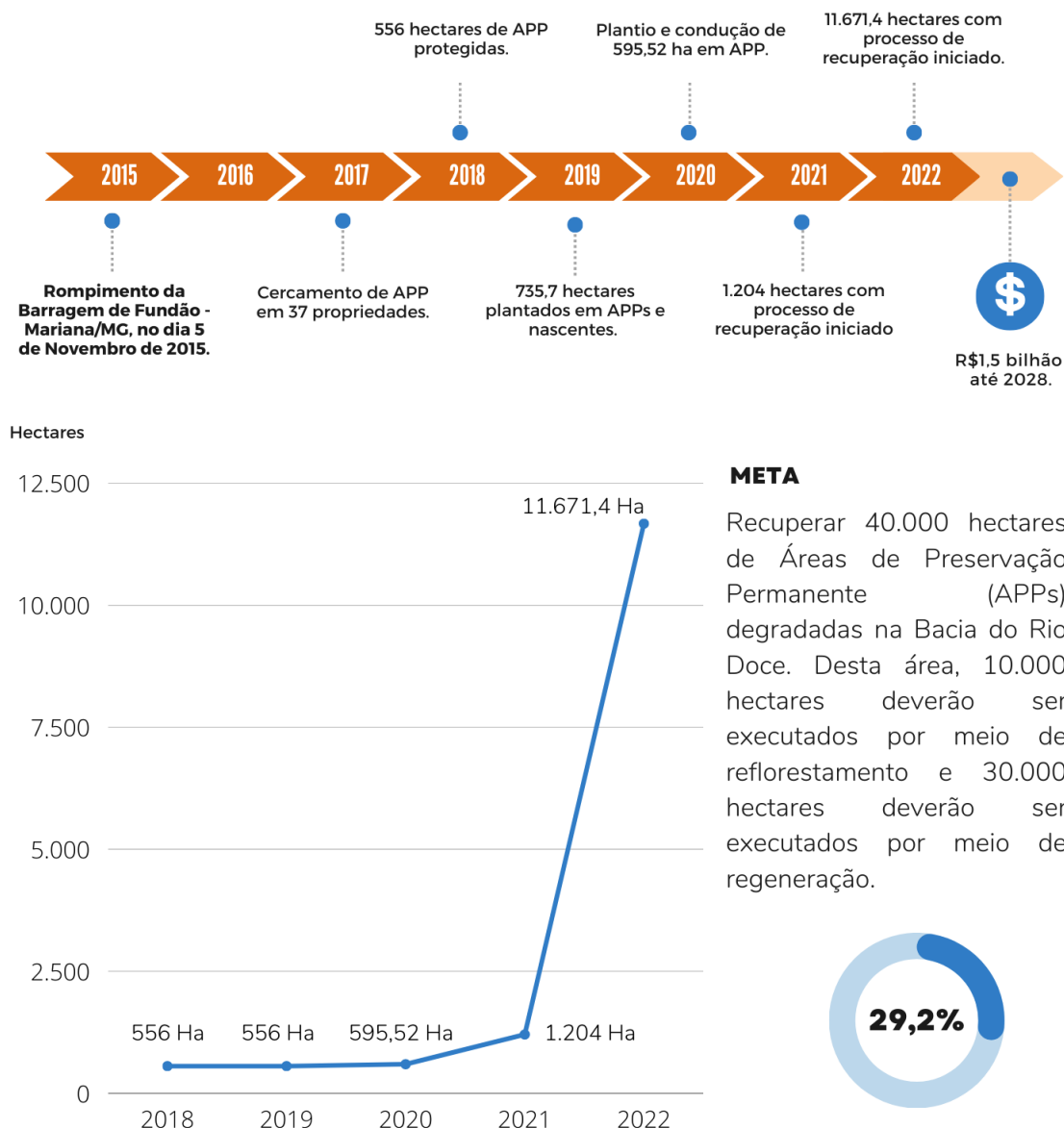
barragem. Estas áreas englobam os municípios de Mariana, Barra Longa, Rio Doce e Santa Cruz do Escalvado. As ações foram iniciadas em 2016, ano seguinte ao rompimento da Barragem de Fundão, com o plantio emergencial de 800 ha de gramíneas na área diretamente afetada, que tem porções nos municípios listados. Em 2017, foi elaborada a metodologia de restauro florestal para a área afetada, visando preparação do solo e sobrevivência das espécies. Desde então, foram restaurados nessa área 542 hectares, com investimento de R\$ 356 milhões. Considerando que 1.026,65 hectares foram devastados e tiveram coberturas vegetais removidas pela lama na área diretamente afetada (FREITAS; SILVA; MENEZES, 2016), de acordo com os dados levantados, 56,6% foram recuperados. A meta da Fundação Renova consiste em recuperar 2.000 hectares dessa área. É observado na Figura 28, que até setembro de 2022, 27,1% da meta proposta foi alcançada. Ressalta-se ainda que a partir de 2021 foi iniciado monitoramento das áreas restauradas, previsto para ser realizado até 2026, com investimento de R\$ 81 milhões. A Fundação Renova é responsável pela manutenção das ações, incluindo roçadas, adubações, combates a formigas e replantios.

3.2.5 ÍNDICE DE ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE RECUPERADAS

Figura 29: Índice de Recuperação de APPs

LINHA DO TEMPO DOS PRINCIPAIS NÚMEROS DA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE (APP), POR PARTE DA FUNDAÇÃO RENOVA

Baseado nos dados do Programa 26 - RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE (APPS) E RECARGAS HÍDRICAS



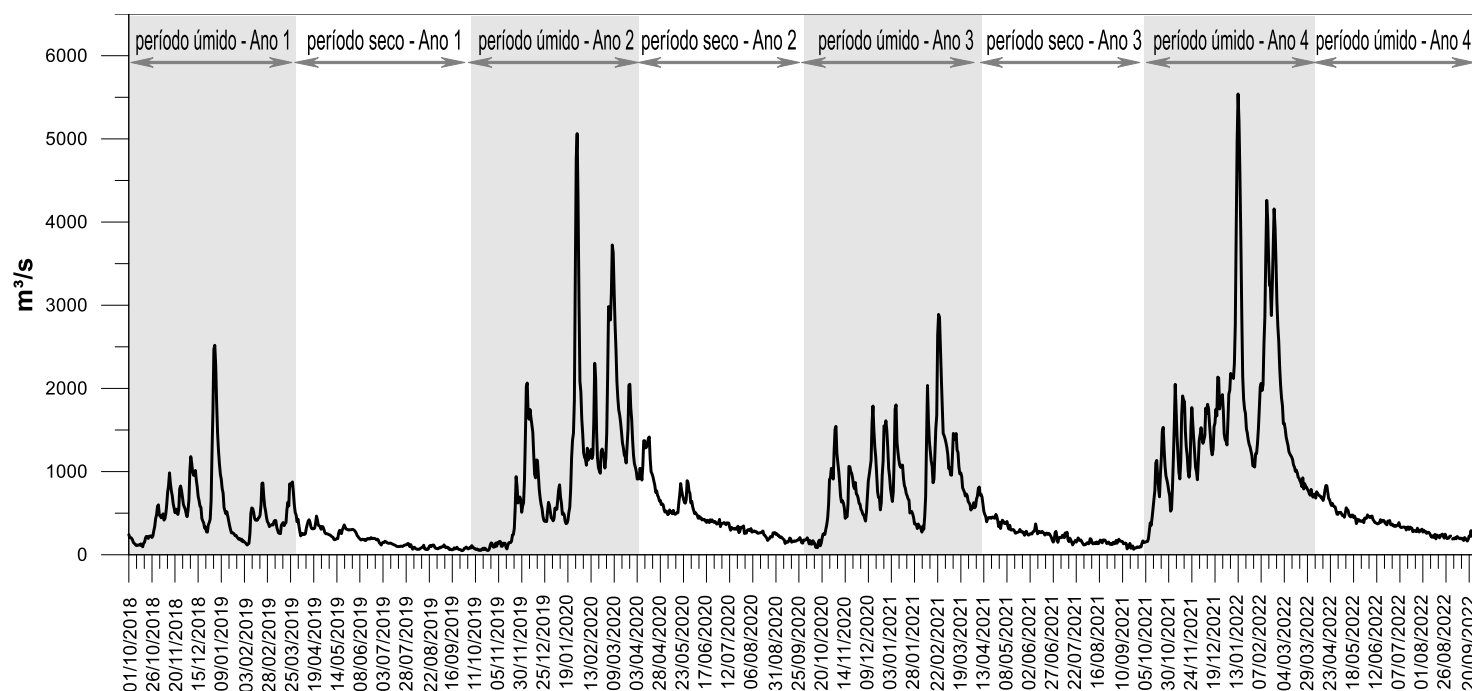
Municípios beneficiados até setembro/22: Alpercata, Governador Valadares, Tumiritinga, Galiléia, Resplendor, Itueta, Mariana, Barra Longa, Ponte Nova, Santana do Paraíso, Belo Oriente, Periquito, Fernandes Tourinho, Santa Cruz do Escalvado, Marilândia (ES), Pancas (ES), Baixo Guandu (ES), Colatina (ES), Linhares (ES).

Para o índice de áreas de APPs em recuperação, foram identificadas ações, no âmbito do programa 26 da Fundação Renova, que visam recuperar áreas de preservação permanente da bacia do rio Doce. As principais ações relacionadas com este tema foram iniciadas em 2017, com o cercamento de APPs em 37 propriedades, no município de Mariana. Em 2018, houve expansão das ações de proteção de APPs, com 556 hectares em processos de recuperação e contemplando áreas nos municípios de Galiléia, São Vitor (Governador Valadares), Periquito e Coimbra, no estado de Minas Gerais, bem como em Pancas, Marilândia e Colatina, no estado do Espírito Santo. Dos municípios listados, Pancas e Coimbra não fazem parte do grupo de municípios diretamente afetados pelo rompimento da Barragem de Fundão. A área se manteve em 2019 e atingiu 595,52 hectares em 2020. No ano de 2021, o programa acumulou 1.204 hectares de APPs em recuperação. Este número acumulado totalizou 11.671 hectares até setembro de 2022. Estima-se até 2028 investimento de 1,5 bilhão, contemplando áreas nos municípios de Mariana, Barra Longa, Santa Cruz do Escalvado, Alpercata, Governador Valadares, Tumiritinga, Galiléia, Resplendor, Itueta, Ponte Nova, Santana do Paraíso, Belo Oriente, Periquito, Fernandes Tourinho, em Minas Gerais, e Marilândia, Pancas, Baixo Guandu, Colatina e Linhares, no Espírito Santo. Todos estes municípios foram diretamente afetados pelos impactos do rompimento da barragem. Pretende-se recuperar 40.000 hectares de APPs degradadas na Bacia do Rio Doce, sendo 10.000 hectares por meio de reflorestamento e 30.000 hectares por meio de regeneração. Portanto, até (setembro de 2022), 29,2% da meta proposta pela Fundação Renova foi alcançada.

3.3 Hidrologia e transporte de sedimentos

3.3.1 VAZÃO

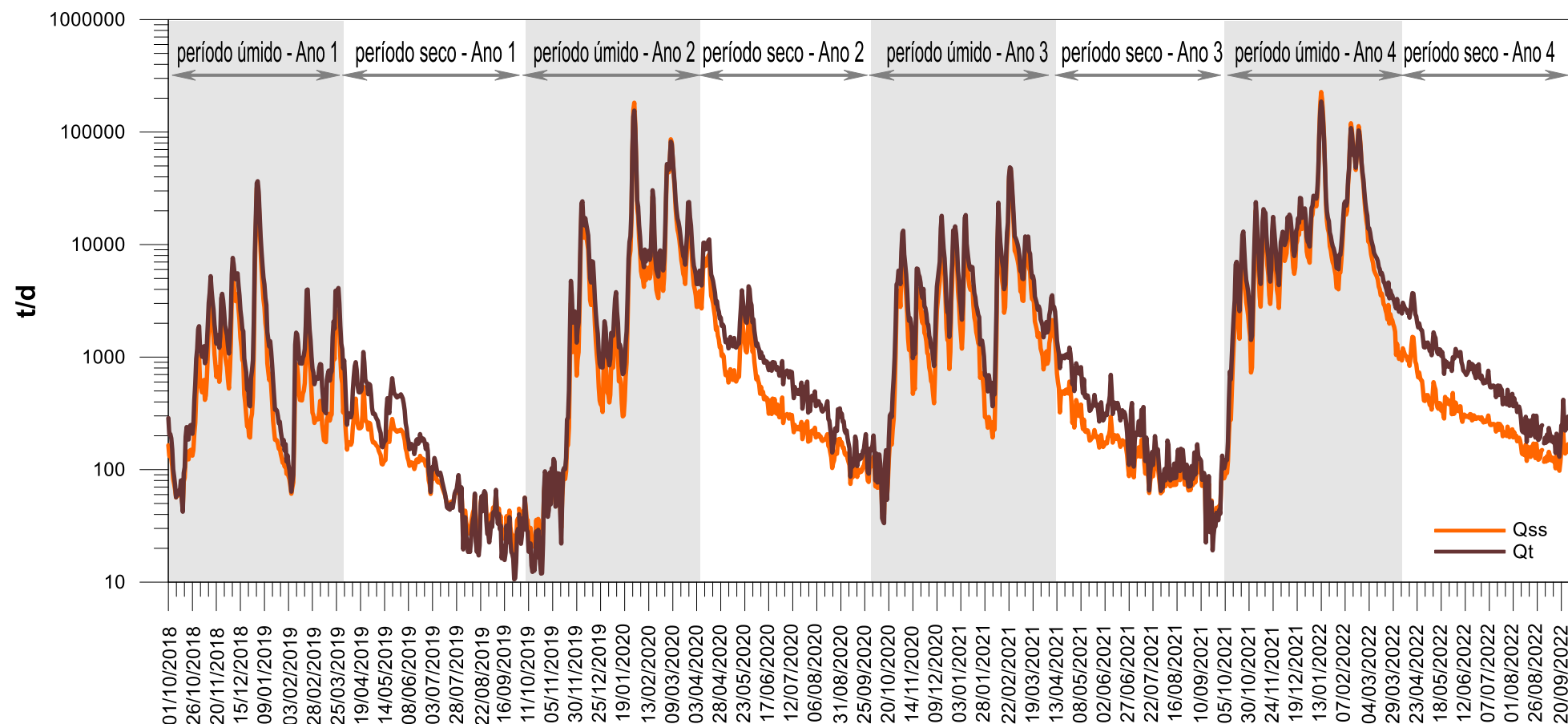
Figura 30: Vazões médias diárias estimadas no Rio Doce (E21 - Linhares), obtidas com dados do PMBA/Fest.



As vazões média e máxima diárias para o período chuvoso do Ano 4 (1.600 e 5.539 m^3/s) foram superiores às obtidas nos demais anos de monitoramento, para o mesmo período: 519 e 2.584 m^3/s (Ano 1), 988 e 5.179 m^3/s (Ano 2) e 873 e 2.889 m^3/s (Ano 3) (RRDM. 2022). As vazões máximas obtidas no monitoramento PMBA/Fest foram inferiores a registros históricos de cheia do Rio Doce, com valores da ordem de 13.000 m^3/s (1979), 8.000 m^3/s (1997) e 10.700 m^3/s (2013) (SNIRH, 2019). Em comparação à série histórica da estação fluviométrica Colatina (569945000 – 1938-2014), cuja vazão média de longo termo é 914 m^3/s , a série histórica do PMBA/FEST apresentou valor inferior, 657 m^3/s .

DESCARGA DE SEDIMENTOS

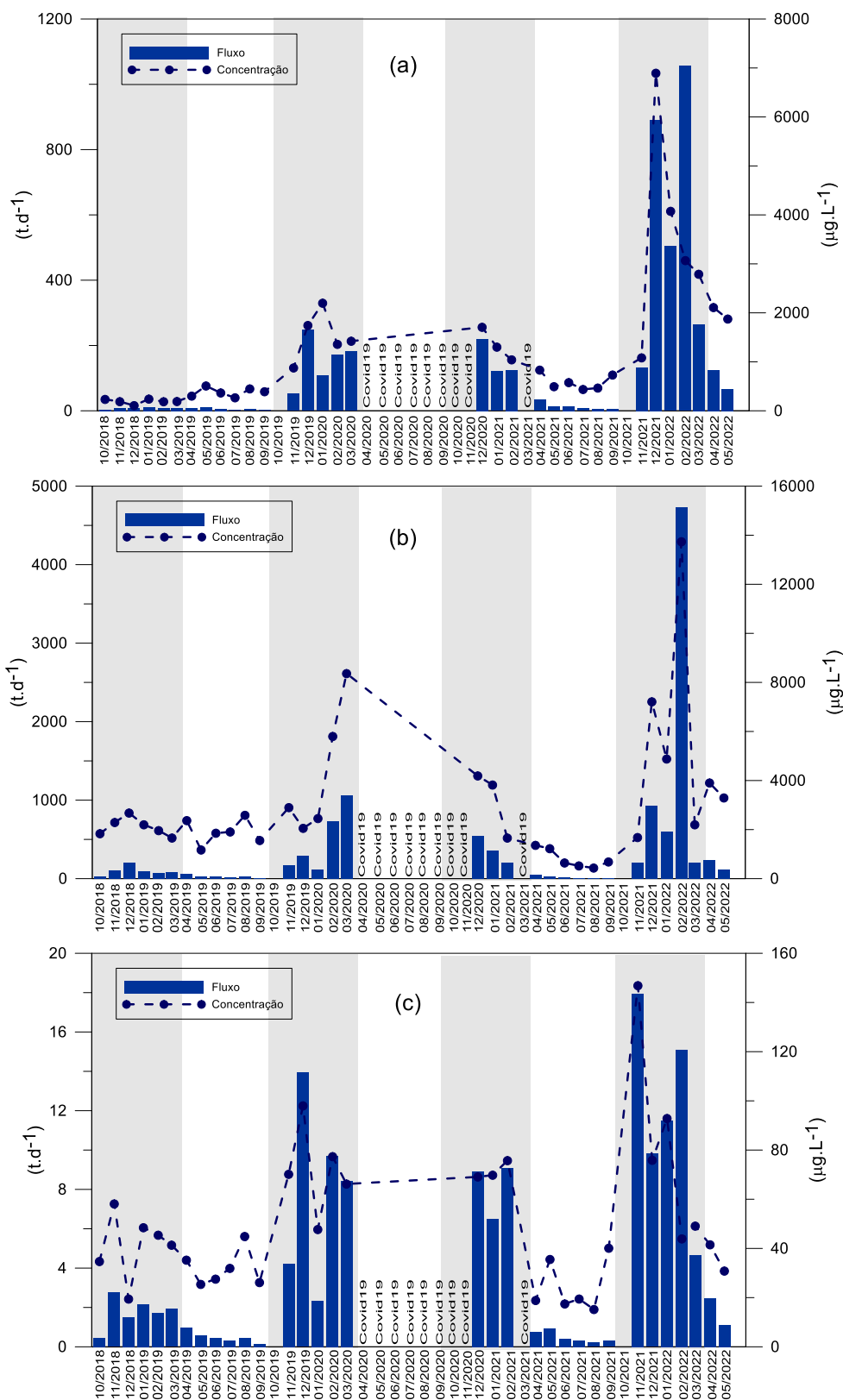
Figura 31: Descargas médias diárias de sedimentos totais e suspensos estimadas para o Rio Doce (E21 – Rio Doce), obtidas com dados do PMBA/Fest.



Descargas média e máxima diárias de sedimentos totais para o período chuvoso do Ano 4 (20.809 e 186.983 t/d) superiores às obtidas nos demais anos de monitoramento, para o mesmo período: 2.260 e 36.589 t/d (Ano 1), 10.700 e 155.254 t/d (Ano 2) e 5.774 e 48.635 t/d (Ano 3) (RRDM. 2022).

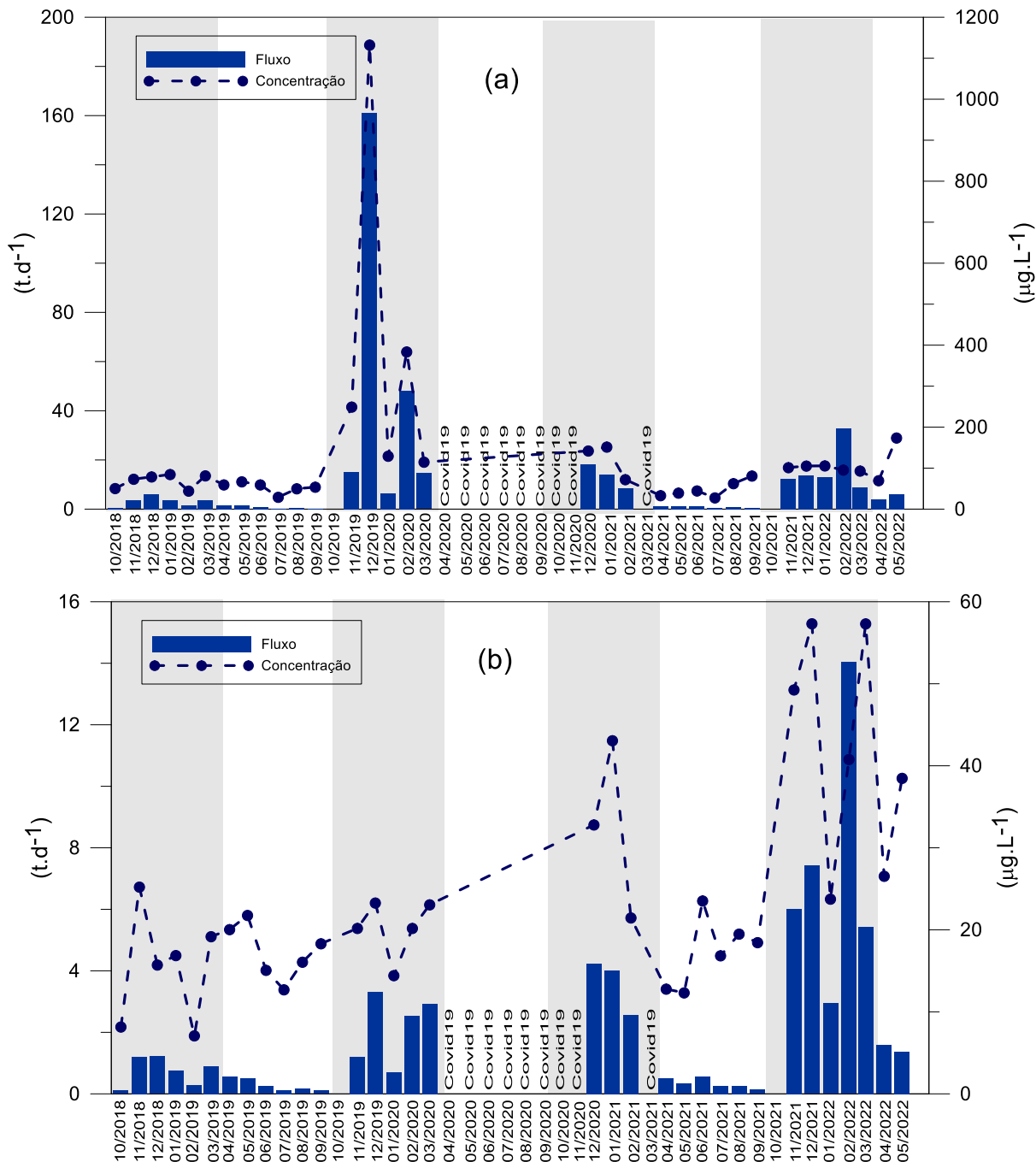
3.3.2 RESULTADOS DE FLUXOS DE METAIS

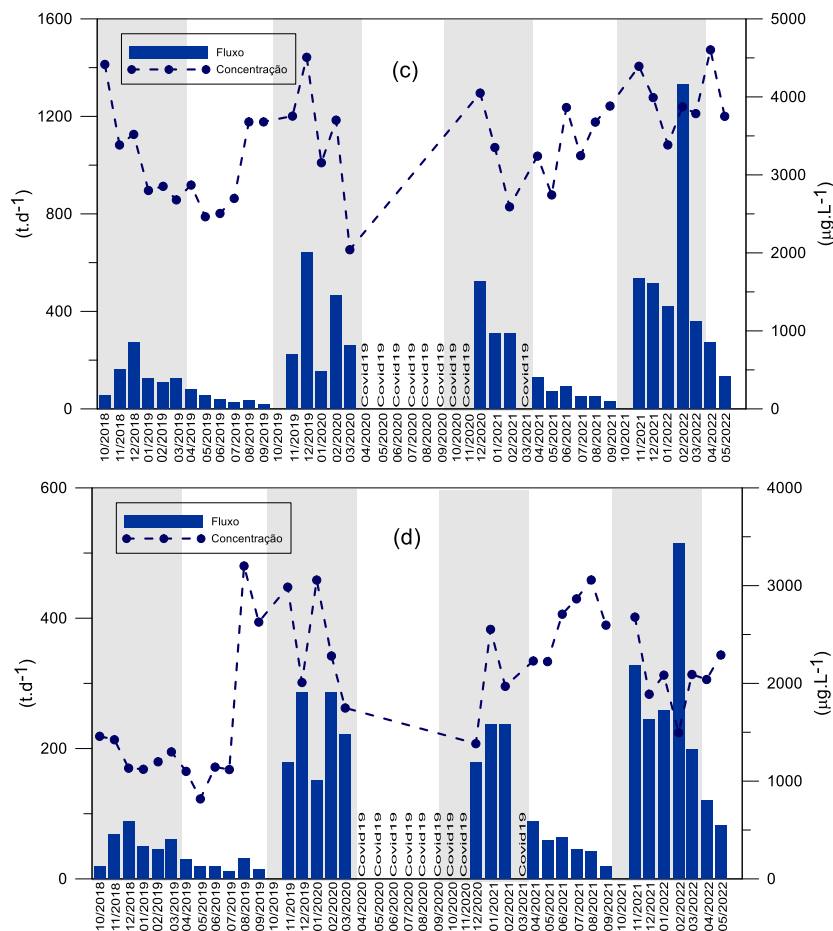
Figura 32: Fluxos instantâneos de metais no Rio Doce (E21 – Rio Doce), obtidas no PMBA/Fest. (a) Alumínio Total. (b) Ferro Total. (c) Manganês Total.



3.3.3 RESULTADOS DE FLUXOS DE NUTRIENTES

Figura 33: Fluxos instantâneos de nutrientes no Rio Doce (E21 – Rio Doce), obtidas no PMBA/Fest. (a) Fósforo Total. (b) Fósforo Inorgânico Dissolvido. (c) Nitrogênio Total. (d) Nitrogênio Inorgânico Dissolvido.





4 ITENS PREVISTOS E NÃO REALIZADOS: JUSTIFICATIVAS

As submetas abaixo relacionadas foram iniciadas em agosto de 2022 e não houve tempo hábil para obtenção de resultados ou detalhamento das metodologias dessas metas, visto que o presente relatório contempla o período até setembro de 2022. Essas metas serão abordadas em produtos futuros.

Submeta 2 - Caracterização do leito do rio Doce e dos reservatórios existentes.

Submeta 3 - Seleção de modelo de qualidade da água que simule o transporte de sedimentos considerando a ressuspensão de material de fundo.

Submeta 4 - Modelagem da erosão e do transporte de sedimentos.

Submeta 10 - Levantamento e análise de informações relativas a monitoramentos de quantidade, qualidade de água e biodiversidade aquática realizados nas bacias onde foram ou estejam sendo desenvolvidas as ações.

Submeta 11 - Proposição de controles e melhoria para as ações na bacia.

Submeta 12 - Modelagem e otimização das contribuições pontuais de esgotos domésticos relacionadas com o Programa 31.

Submeta 13 - Subsídios à interpretação dos resultados das análises de qualidade de água, toxicológicos e de biodiversidade aquática em outros projetos da rede.

Submeta 14 Cenários de simulação para avaliação de efeitos de modificações de uso e ocupação do solo; Resultados dos indicadores.

5 REFERÊNCIAS

ABBASPOUR, K.C. 2005. **Calibration of hydrologic models: when is a model calibrated.** In: ZERGER, A.; ARGENT, R.M. (eds) MODSIM 2005 International Congress on Modelling and Simulation. Canberra: Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand, 2005.

ANDRIOLO, M. V. et al. **Calibração do modelo SWAT para a produção e transporte de sedimentos.** VI Simpósio Sobre Pequenas e Médias Centrais Hidrelétricas. Belo horizonte: Comitê Brasileiro de Barragens, 2008. p.1-17.

BRASIL, Agência Nacional de Águas. **Portal de Informações e Dados Especiais da agência nacional de águas – GeoNetwork.** Brasília: ANA, 2018. Disponível em: <<https://metadados.ana.gov.br/geonetwork>>.

CARVALHO, N. O. (2008). **Hidrossedimentologia prática.** 2º ed. Rio de Janeiro, Interciência

COLBY, B. R., HEMBREE, C. H. Computation of total sediment discharge: Niobrara river near Cody, Nebraska. US Geological Survey, **Water-Supply Paper.** 1357. Washington. 1955.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS – CEMIG. Disponível em: <http://www.cemig.com.br/pt-br/A_Cemig_e_o_Futuro/sustentabilidade/nossos_programas/ambientais/peixe_vivo/Paginas/usinas_rio_doce.aspx?>>.

FUNDAÇÃO RENOVA. Relatório De Impacto Ambiental – RIMA. **Regularização Ambiental das Obras de Dragagem e Disposição de Rejeitos na Fazenda Floresta e Recuperação das Margens e Setores da área denominada como Trecho 12** (Área do reservatório da UHE Risoleta Neves). 2020.

FUNDAÇÃO RENOVA. **Relatório Anual de Atividades.** 2017. Disponível em: https://www.fundacaorenova.org/wp-content/uploads/2018/01/relatorio-mensal-de-atividades_dezembro_v02.pdf. Acesso em: 20 mar. 2023.

FUNDAÇÃO RENOVA. **Relatório Anual de Atividades.** 2018. Disponível em: <https://www.fundacaorenova.org/wp-content/uploads/2019/01/renovaanual-1.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2023.

FUNDAÇÃO RENOVA. **Relatório Anual de Atividades.** 2019. Disponível em: https://www.fundacaorenova.org/wp-content/uploads/2020/01/pmorld01200cifanual_200117.pdf. Acesso em: 20 mar. 2023.

FUNDAÇÃO RENOVA. **Relatório Anual de Atividades.** 2020. Disponível em:

[https://www.fundacaorenova.org/wp-](https://www.fundacaorenova.org/wp-content/uploads/2021/01/relatorio_anual_de_atividades_2021ref.2020.pdf)

[content/uploads/2021/01/relatorio_anual_de_atividades_2021ref.2020.pdf](https://www.fundacaorenova.org/wp-content/uploads/2021/01/relatorio_anual_de_atividades_2021ref.2020.pdf). Acesso em: 20 mar. 2023.

FUNDAÇÃO RENOVA. **Relatório Anual de Atividades.** 2021. Disponível em:

[https://www.fundacaorenova.org/wp-content/uploads/2022/02/doc.-01-relatorio-anual-de-atividades-](https://www.fundacaorenova.org/wp-content/uploads/2022/02/doc.-01-relatorio-anual-de-atividades-2022-ref.-2021.pdf)

[2022-ref.-2021.pdf](https://www.fundacaorenova.org/wp-content/uploads/2022/02/doc.-01-relatorio-anual-de-atividades-2022-ref.-2021.pdf). Acesso em: 20 mar. 2023.

FUNDAÇÃO RENOVA. **Relatório Anual de Atividades.** 2022. Disponível em:

<https://www.fundacaorenova.org/relatorios-anuais/>. Acesso em: 20 mar. 2023.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Pedologia.** Coleção Manuais Técnicos em Geociências. Vol. 4. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2007.

JACOMINE, P. K. T. et al. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Boletim Técnico n. 60. **Levantamento exploratório – Reconhecimento de Solos do Norte de Minas Gerais (Área de Atuação da SUDENE).** Recife: EMBRAPA, 1979.

MARCHIORO, E. **Modelagem hidrossedimentológica na bacia do córrego Santa Maria: Subsídios à aplicação de práticas de conservação de água e solo no noroeste fluminense.** 2008. 189 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

MOTTA, P. E. F.; BARUQUI, A. M.; SANTOS, H. G. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento – 44. **Levantamento de Reconhecimento de Média Intensidade dos Solos da Região do Alto Paraíba, Minas Gerais.** Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2004.

NEITSCH, S. L. **Soil and Water Assessment Tool – Theoretical Documentation.** Temple, Texas: Texas Water Resources Institute, 2005.

PANOSO, L. A. (Coord.). Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Boletim Técnico n. 76. **Levantamento Semidetalhado de Solos de Solos da Área do Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Leite, Coronel Pacheco, MG.** Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1980.

PANOSO, L. A. (Coord.). Boletim Técnico n. 45. **Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Espírito Santo.** Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1978.

RRDM, Rede Rio Doce Mar. Relatório Anual do PMBA/Fest-RRDM – Ambiente Dulcícola. RT-39B, **Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática,** Fundação Espírito-santense de Tecnologia. 613 pag. 2022.