UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO

RAQUEL NOGUEIRA RIBEIRO COIMBRA

ANÁLISE DO NEXO ÁGUA-ENERGIA APLICADO ÀS TERMELÉTRICAS COM ESTUDO DE CASO DO RIO MACAÉ

Macaé, 05 de agosto 2020.

RAQUEL NOGUEIRA RIBEIRO COIMBRA

ANÁLISE DO NEXO ÁGUA-ENERGIA APLICADO ÀS TERMELÉTRICAS COM ESTUDO DE CASO DO RIO MACAÉ

Monografia apresentada ao Laboratório de Meteorologia do Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para a conclusão do Curso de Pós- Graduação *Lato Sensu* em Clima, Água e Energia: uma Abordagem Técnica e Integrada.

Orientador: Prof. D.Sc. Rafael Malheiro da Silva do Amaral Ferreira

Macaé, 05 de agosto de 2020.

FICHA CATALOGRÁFICA PREPARADA PELA BIBLIOTECA DO CAMPUS MACAÉ

551.48098153

C679a Coimbra, Raquel Nogueira Ribeiro
2020 Análise do nexo água-energia aplicado às termelétricas com estudo de caso do Rio Macaé / Raquel Nogueira Ribeiro Coimbra. --- Macaé: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Laboratório de Meteorologia, 2020.
68 f. : il.
Monografia (Pós-Graduação *Lato Sensu* em Clima, Água e Energia: uma Abordagem Técnica e Integrada)
Orientador: Rafael Malheiro da Silva do Amaral Ferreira.
Bibliografia: f. 63-68

1. Recursos hídricos 2. Usina termelétrica 3. Capacidade hídrica 4. Rio Macaé I. Título.

RAQUEL NOGUEIRA RIBEIRO COIMBRA

ANÁLISE DO NEXO ÁGUA-ENERGIA APLICADO ÀS TERMELÉTRICAS COM ESTUDO DE CASO DO RIO MACAÉ

Monografia apresentada ao Laboratório de Meteorologia do Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para a conclusão do Curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Clima, Água e Energia: uma Abordagem Técnica e Integrada.

Aprovado em 05 de agosto de 2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof.ª Eliane Barbosa Santos, D.Sc., UENF

Prof.ª Beatriz Rohden Becker, M.Sc., UFRJ

Prof. Rafael Malheiro da S. Do Amaral Ferreira, D.Sc., UFRJ (Orientador)

A Deus.

Aos meus pais, marido e filho, responsáveis pela minha formação e incentivadores de meu progresso.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, ao Programa de Pós-Graduação em Água, clima e energia: uma abordagem técnica e integrada.

Aos colegas de curso, pelo espírito de camaradagem e convívio.

Aos Professores da UENF e UFRJ, pela dedicação, competência, apoio e todo conhecimento compartilhado.

Ao meu orientador pelo conhecimento e horas a mim dispensadas para que conseguisse concretizar o trabalho que aqui me propus estudar.

RESUMO

As diferentes regiões do mundo tem passado por inúmeras discussões, sejam elas em âmbito ambiental, politíco, dentre outros. Entretanto, a preocupação gerada pelo crescimento populacional, e, pelas ameaças causadas devido a alteração no clima é um debate em comum nas diversas escalas do globo. Dessa forma, é necessário repensar o planejamento e a gestão de recursos hidrícos. Além disso, a necessidade de fontes de energia elétrica ocasionado pelo aumento do consumo energético da população mundial, fez com que a partir dos anos 2000 houvesse um aumento de usinas térmicas participando da matriz energética, e, essas usinas são grandes consumidoras de água e o seu espaço vem sendo ampliado devido as dificuldades que às hidrelétricas tem passado nos últimos anos ocasionado pelo regime hidrológico. O objetivo deste trabalho é é avaliar as condições do Rio Macaé em satisfazer a futura demanda hídrica, através dos estudos hidrológicos das vazões mínimas de estiagem, entendendo o cenário de crescimento desta demanda em meio as instalações de novas termelétricas na região. Dentro dos próximos cinco anos, Macaé deverá abrigar oito usinas termelétricas que produzirão energia através do gás natural processado no Terminal Cabiúnas (TECAB). Com isto, será estudada a bacia hidrográfica e a disponibilidade hidrológica do Rio Macaé em relação as térmicas que captam suas águas, visando o entendimento sobre o nível de criticidade que pode revelar-se através de indicadores podendo desencadear a ocorrência de conflitos pelos usos dos recursos hídricos. Foram utilizados dados diários de uma determinada estação fluviométrica do Rio Macaé, a fim de obter a situação mais crítica de escassez, (Q7,10) e a sua curva de permanência. Os dados foram coletados de uma estação mais a montante do rio, por possuir uma série histórica mais completa e, por isso, foi realizada a técnica de regionalização das vazões mínimas a fim de transferir informações de um local para outro dentro de uma área de comportamento hidrológico semelhante, com o intuito de estimar as vazões para uma região mais a jusante de interesse para as atuais e futuras captações. Estes dados hidrológicos obtidos serviram como subsídios para uma análise preliminar se o Rio Macaé terá disponibilidade hídrica para atender o consumo de água das termelétricas atuais e em expansão atrelada a outros tipos de uso consuntivos água, assim, através desses dados pode se concluir que o Rio Macaé possuí disponibilidade hídrica para as 8 termelétricas da região por anos. Adicionalmente aos resultados hidrológicos obtidos, recomenda se uma abordagem mais holística para uma plena avaliação das possibilidades de atendimento dos recursos fluviais do Rio Macaé.

Palavras-chave: Recursos Hídricos. Usina Termelétrica. Capacidade Hídrica. Rio Macaé.

ABSTRACT

The different regions of the world have gone through countless discussions, whether in environmental, political, among others. However, the concern generated by population growth, and by the threats caused due to climate change, is a common debate at different scales around the globe. Thus, it is necessary to rethink the planning and management of water resources. In addition, the need for sources of electric energy caused by the increase in thermal in the energy consumption of the world population, has meant that, since the 2000s, there has been an increase in thermal plants participating in the energy matrix, and these plants are major consumers of water and the its space has been expanded due to the difficulties that hydroelectric plants have been experiencing in recent years caused by the hydrological regime. The objective of this work is to evaluate the conditions of the Macaé river to satisfy the future water demand, through hydrological studies of the minimum drought flows, understanding the scenario of growth of this demand in the middle as installations of new thermoelectric plants in the region. Within the next five years, Macaé is expected to house eight thermoelectric plants that will produce energy through natural gas processed at the Cabiúnas Terminal (TECAB). With this, the hydrographic basin and the hydrological availability of the Macaé River will be studied in relation to the thermals that capture its waters, the understanding of the level of criticality that can be revealed through indicators that may trigger the occurrence of conflicts over the use of water resources. Daily data from a specific Rio Macaé river station were used in order to obtain the most critical scarcity situation (Q7,10) and its permanence curve. The data were collected from a station further up the river, as it has a more complete historical series and, therefore, the technique of regionalization of minimum flows was performed in order to transfer information from one location to another within a behavior area. hydrological data, with the intention of estimating flows to a region further downstream of interest for current and future abstractions. These hydrological data obtained served as subsidies for a preliminary analysis of whether the Macaé River has water availability to meet the water consumption of the current and expanding thermal power plants linked to other types of consumptive water use, thus, through these data it can be concluded that the Rio Macaé river has water availability for the eight thermoelectric plants on the region for years. In addition to the hydrological results, a more holistic approach is recommended for a full assessment of the possibilities of serving the Rio Macaé river resources.

Keywords: Water resources. Thermoelectric power plant. Water capacity. Macaé River.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Usinas em Operação em 2018.....18
Figura 2. Previsão de entrada em operação de novas usinas.....19
Figura 3. Evolução da retirada de água no Brasil, por setor (1931-2030), em m³/s.....23
Figura 4. Uso consuntivo da água nas termelétricas x região brasileira.....25
Figura 5. Sistemas de Resfriamento a Água - Ciclo Aberto.....26
Figura 6. Sistemas de Resfriamento a Água - Ciclo Semi-Fechado.....27
Figura 7. Sistemas de Resfriamento a Àgua - Convecção Forçada.....28
Figura 8. Resumo dos sistemas de resfriamento.....28
Figura 9. Número de usuários por sub-bacias e finalidades de uso.....34
Figura 10. Distribuição dos volumes (m^3/ano), conforme sazonalidade por sub-bacia e por finalidade.....35
Figura 11. Distribuição das outorgas e das vazões anuais por finalidade de uso.....35
Figura 12. Postos fluviométricos disponíveis na região Hidrográfica Macaé e das Ostras.....36
Figura 13. Demandas Hídricas e Mananciais de Abastecimento Público por Sedes Municipais e Regiões Hidrográficas.....37
Figura 14. Comprometimentos da vazão Q7,10 nos trechos fluviais mais críticos no cenário desenvolvimento integrado/emergência e nas diferentes cenas.....38
Figura 15. Mapa de compartimentação da bacia hidrográfica do Rio Macaé.....42
Figura 16. Média anual de pluviosidade na bacia do Rio Macaé.....43
Figura 17. UTE's EDF Norte Fluminense e Mário Lago e a Estação Severina.....45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Água retirada para uso em todos os setores em relação ao total no Brasil x UF.....24
Tabela 2 - Vazões Mínimas Mensais em Galdinópolis (2000 - 2020).....46
Tabela 3 - Vazões Mínimas Mensais em Galdinópolis (1978 - 1958).....46
Tabela 4 - Vazões Mínimas Mensais em Galdinópolis (1957 - 1950).....47
Tabela 5. Vazões diárias mínimas no intervalo de 7 dias.....51
Tabela 6. Tabela de resultados de frequência acumulativa da série temporal das vazões.....53

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Curva de Permanência 54

Gráfico 2 - Distribuição de Gumbel.....55

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Quadro resumo da potência x vazão das UTEs em operação 57
Quadro 2 – Quadro resumo Município x vazão. 58
Quadro 3 – Quadro resumo Finalidade de uso da água x vazão. 58

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANA	Agência Nacional das Águas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CCEE	Câmara de Comércio de Energia Elétrica
CC	Ciclo Combinado
CEDAE	Companhia Estadual de Águas e Esgoto
CNARH	Cadastro Nacional de Usuários de Recurso Hidrícos
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
EDF	*Électricité de France* – Eletricidade Francesa
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FCA	Ficha de Caracterização de Atividade
GESEL	Grupo de Estudos do Setor Elétrico
GNL	Gás Natural Liquefeito
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IEMA	Instituto de Energia e Meio Ambiente
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
ONS	Operador Nacional do Sistema
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PRHI	Plano de Recursos Hídricos
SIN	Sistema Interligado Nacional
UTE	Usina Termelétrica

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....14
1.1 OBJETIVOS.....16

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....17
2.1 O ATUAL PARQUE TERMELÉTRICO BRASILEIRO 17
2.1.1 Breve panorama das UTEs em operação e a serem instaladas em Macaé/RJ.....20
2.2 PRINCIPAIS USOS DE ÁGUA NAS TERMELÉTRICAS.....23
2.2.1 Circuito Aberto (resfriamento através de reservatórios, lagos ou rios).....26
2.2.2 Ciclo Semi-Fechado – Convecção Natural.....27
2.2.3 Ciclo Semi-Fechado – Convecção Forçada.....27
2.3 FONTES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E SEUS ASPECTOS HIDROLÓGICOS..28
2.4 DISPONIBILIDADE HÍDRICA DO RIO MACAÉ.....33

3 MATERIAIS E MÉTODOS.....40
3.1 LOCAL DE ESTUDO - BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MACAÉ.....41
3.2 DETERMINAÇÃO DAS VAZÕES Q7,10 APÓS O ENTENDIMENTO DOS CENÁRIOS DE ESTIAGEM DO RIO MACAÉ.....44
3.3 REGIONALIZAÇÃO DAS VAZÕES MÍNIMAS.....48
3.4 CURVA DE PERMANÊNCIA.....49

4 RESULTADOS.....51
4.1 CURVA DE PERMANÊNCIA.....54
4.2 DETERMINAÇÃO DA VAZÃO Q7,10.....54
4.3 REGIONALIZAÇÃO DAS VAZÕES MÍNIMAS.....56
4.4 ANÁLISE DA OFERTA (RIO MACAÉ) X DEMANDA (TERMELÉTRICAS EM MACAÉ).....56

5 CONCLUSÃO.....60

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....63

1. INTRODUÇÃO

Para as próximas décadas, a relação entre oferta e demanda de água relacionada à geração de energia constitui-se uma preocupação mundial e, portanto, recursos energéticos e recursos hídricos devem ser considerados sob duas perspectivas importantes: a primeira aborda a utilização dos recursos hídricos para o suprimento e, a segunda, a utilização dos recursos energéticos para o suprimento de águas (para uso urbano e agrícola) (MOURA, 2010).

Dentre os múltiplos usos da água, instituídos pela Lei 9433/1997 (BRASIL, 1997), está aquele destinado à produção de energia, como nas usinas hidrelétricas e, também, nas usinas termelétricas, principalmente nos sistemas de resfriamento. Além disso, a água é necessária durante a produção, transporte e processamento de combustíveis fósseis e usada na irrigação de culturas para produção de biomassa de uso energético (ANA, 2020).

Ainda, segundo a Agência Nacional das Águas (ANA), a energia e a água são recursos essenciais nos aspectos que tangem as demandas e restrições crescentes em diversas regiões como resultado do aumento populacional, do progresso socioeconômico e das alterações climáticas no cenário atual (ANA, 2020). Existem a interdependência desses que tendem a se acentuar e intensificar nos anos seguintes, pois as necessidades referentes a energia no setor energético e as carências energéticas do setor de água estão se expandindo ao mesmo tempo.

A ANA divulgou no ano de 2019 um estudo que aponta um aumento, de aproximadamente 80%, no total de água retirado nas útimas duas décadas e que até 2030 essa demanda ainda aumente em 24 % (ANA, 2019). Este mesmo estudo indicou um aumento do uso da água para geração termelétrica a partir de 2012 ocasionada, principalmente, pela redução no volume de água disponível para as hidrelétricas. Na geração de energia elétrica, há a transformação dos recursos naturais em energia aproveitável e essa energia provém tanto de recursos renováveis (água, vento, irradiação) como dos não renováveis (fósseis).

Historicamente, a matriz elétrica brasileira é, em sua grande maioria, renovável, pois grande parte da energia gerada é oriunda das usinas hidrelétricas, cerca de 65%, segundo o último Relatório Síntese divulgado pelo Ministério de Minas e Energia divulgado em 2020, para o ano base 2019 (BEN, 2020). As usinas termoelétricas, neste mesmo Balanço, representaram 26,5 % da matriz energética nacional em 2019.

No entanto, acredita–se que esse cenário tende a mudar ainda mais visto que em momentos hidrológicos desfavoráveis, é necessário garantir a confiabilidade, e nesse sentido, as usinas térmicas (UTEs) ganham maior espaço, seja no período seco, com as usinas a fio d'água; para atendimento na ponta (nos períodos de maior consumo elétrico) e, também, para

fazer frente horária à introdução de fontes intermitentes. Além disso, após os apagões de 2009, 2012 e 2014, ocasionados principalmente pela escassez de chuvas, a matriz elétrica brasileira iniciou um processo de diversificação, de modo que a expansão da capacidade instalada por meio da construção de hidrelétricas deve ocorrer a taxas inferiores às ocorridas no passado (FGV ENERGIA, 2019).

No entanto, para atender o aumento da demanda, é importante a participação de outras fontes energéticas que tendem a continuarem crescendo nas próximas décadas. Assim, os abundantes estudos do setor indicam para uma tendência de continuação do crescimento da termoeletricidade como a primordial fonte adicional às demais no curto, médio e longo prazo no país. As fontes solar e eólica, embora causem menores impactos ambientais, não ofertam a estabilidade e segurança de fornecimento que o Sistema Interligado Nacional (SIN) exige para um funcionamento com eficiência (FGV ENERGIA, 2019).

De acordo com o Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA), no Brasil, a maior parte das usinas termelétricas em operação tem adotado sistemas de resfriamento que demandam grandes volumes de água (IEMA, 2016). Durante o seu processo de resfriamento, elas demandam, sozinhas, volumes tão grandes de água que poderiam abastecer municípios inteiros. No município de Macaé/RJ, atualmente, duas termelétricas em operação, a UTE Mário Lago e na *Électricité de France* (EDF) Norte Fluminese. Segundo informações do endereço eletrônico da Prefeitura Municipal de Macaé, dentro dos próximos cinco anos, o município deverá abrigar, ao total, nove usinas termelétricas que produzirão energia através do gás natural processado no Termin Cabiúnas (TECAB). A água a ser utilizadas nessas termelétricas (as já em operação e as que virão a ser instaladas) vem do Rio Macaé, que também abastece a cidade e parte da indústria de petróleo *offshore.* Existem dúvidas quanto à segurança hídrica deste manancial, para atender às demandas atuais e futuras, principalmente mantendo suas condições ambientais e, também, fornecendo água potável às pessoas (PREFEITURA DE MACÁE, 2019).

Considerando as informações expostas, o presente trabalho se propõe a apresentar e discutir conceitos e desafios da aplicabilidade do nexo água e energia, considerando a necessidade do estabelecimento de referenciais que corroborem para esse novo paradigma a situações e contingências concretas. Desse modo, espera-se contribuir com aspectos interpretativos do nexo aplicados ao contexto do Rio Macaé, identificando possibilidades e limitações metodológicas e alternativas na busca de sinergia e governança dentre setores convencionalmente isolados, realizando comparações de vazões de demanda x oferta de forma a considerar a ampliação descrita no Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro de 2014.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é avaliar o comprometimento do Rio Macaé em atender a futura demanda hídrica, através da determinação hidrológica das vazões mínimas de estiagem, considerando o cenário de crescimento desta demanda a partir da instalaçãoe de novas termelétricas na região.

O trabalho apresenta como objetivos específicos:

- Entender o panorama atual do Parque Termelétrico Brasileiro e suas características;
- Analisar a disponibilidade hídrica do Rio Macaé de forma a estimar as vazões mínimas extremas do Rio Macaé e seu comprometimento com o aumento de instalações de termelétricas na região;
- Utilizar métodos de hidrologia estatística, como a curva de permanência, o método de Gumbel para mínimos e a regionalização de vazões, para estimar os cenários mais críticos de vazão no Rio Macaé;
- Estimar o total da vazão demandada pelas termelétricas associadas a outros usos importantes do manancial;
- Realizar uma análise comparativaentre a oferta (Rio Macaé) e a demanda hídrica (Usinas Termelétricas a serem instaladas em Macaé);

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O ATUAL PARQUE TERMELÉTRICO BRASILEIRO

Em um estudo publicado pela Brasil Energia, no dia 13 de fevereiro de 2020, informações da Câmara de Comércio de Energia Elétrica (CCEE), foi relatado que as usinas termelétricas produziram cerca de 12.112 MW médios para o sistema elétrico nacional, em dezembro de 2019, o que perfaz a 19% de toda a energia gerada no país e equivale a um aumento de 73,4%, em relação a igual mês de 2018, quando foram gerados 6.985 MW médios. Sendo assim, consumo e geração aumentaram em 0,5% no período (GESEL, 2020).

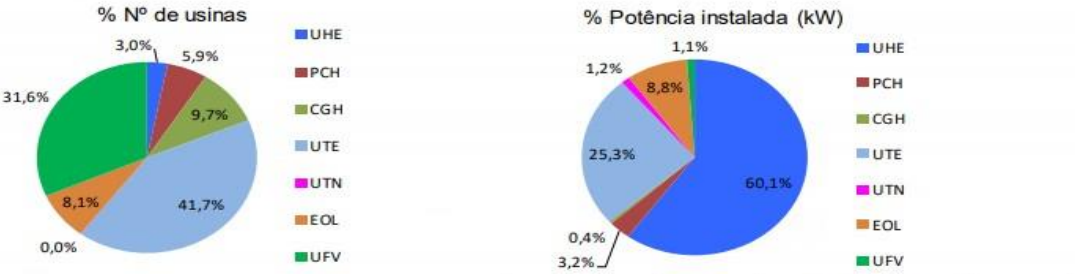
A expansão da oferta de energia elétrica, previsto pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), mostra que a hidroeletricidade continuará sendo a principal fonte de geração de energia, muito embora possa ser visto que a participação no total da potência instalada do SIN tendo sido reduzida. Essa situação, pode ser melhor compreendida, face à redução considerável dos volumes pluviométricos, principalmente, a que ocorreu no final de 2012 até 2015 que acarretou a depleção dos reservatórios das hidroelétricas, sendo necessária a utilização da matriz termelétrica brasileira para garantir a segurança energética, que é um dos pilares do atual modelo do setor elétrico (MME, 2018).

A matriz brasileira energética é bem diversificada, oferecendo opções de abastecimento para a população de modo que se possa atender as necessidades desde empresariais até a de apenas o uso simples de energia pelas pessoas de uma residência. Alguns projetos de geração se destacam no momento, como os intermitentes (biomassa, eólica, Pequena Central Hidrelétrica (PCH), Solar e Hidrelétrica a fio d'água), que são caracterizados por não possuirem gestão de armazenamento, ocasionando dessa forma uma enorme variabilidade e incerteza na disponibilidade dos recursos (MME, 2015).

De acordo com as informações do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), está se desativando cada vez mais termelétricas por diversos motivos, entre eles, o comumente esgotamento dos reservatórios. Em relação ao aspecto estrutural, a geração termelétrica é fundamental, já que remete um maior grau de segurança energética (MME, 2018).

O Relatório de Informações Gerenciais da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) mostrado na figura 1, do ano de 2018, mostra a distribuição do Brasil no que tange a potência instalada de geração de energia elétrica, sendo: solar,1,1%; nuclear, 1,2%; eólica, 8,8%; termelétrica, 25,3% e hidrelétrica, 60,1 %. Nesse mesmo ano, surgiram 3.001 empreendimentos

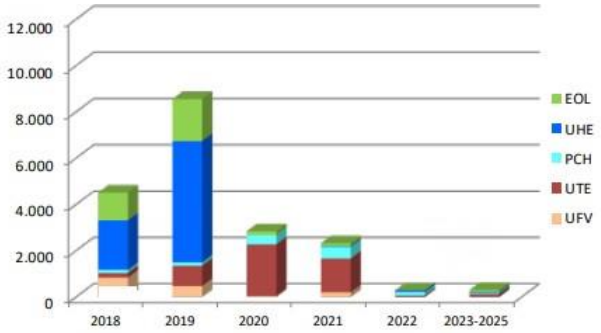
produzindo energia usando as termelétricas, com potência instalada de aproximadamente 41.337.216 KW (ANEEL, 2018).



Tipo	Quantidade	*% do total*	Potência instalada (kW) 1/	*% do total*
Usina Hidrelétrica de Energia – UHE	217	*3,0*	98.286.811	*60,1*
Pequena Central Hidrelétrica – PCH	427	*5,9*	5.157.380	*3,2*
Central Geradora Hidrelétrica – CGH 2/	696	*9,7*	695.138	*0,4*
Central Geradora Undi-elétrica - CGU	1	*0,0*	50	*0,0*
Usina Termelétrica de Energia – UTE	3001	*41,7*	41.337.216	*25,3*
Usina Termonuclear – UTN	2	*0,0*	1.990.000	*1,2*
Central Geradora Eolielétrica – EOL	585	*8,1*	14.390.293	*8,8*
Central Geradora Solar Fotovoltaica – UFV 3/	2273	*31,6*	1.797.580	*1,1*
Total	7.202	*100*	163.654.468	*100*

Figura 1. Usinas em Operação em 2018.
Fonte: Banco de Informações de Geração – ANEEL (2018).

Os dados apresentados na Figura 2 “referem-se à previsão de ampliação da capacidade de geração do Brasil, por ano, com base nas previsões de entrada em operação comercial de cada unidade geradora das usinas que ainda não se encontra em operação” (ANEEL, 2017). As usinas que servem de base para análise são aquelas que não iniciaram obras, ou estão em obras no momento, ou com obras paralisadas, que contenham, ou não, previsão de entrada em operação comercial. A previsão é que nos próximos anos, a entrada em operação de novas usinas termelétricas terá um aumento significativo diferentemente das hidrelétricas que terão uma redução (ANEEL, 2018). Existe uma perspetiva de produção de 1.000 MW por ano, a partir de 2026, para usinas termelétricas movidas a Gás Natural Nacional, com 50% de inflexibilidade e disponibilidade a partir de 2023 de usinas Termelétricas movidas a Gás Natural importado, com diferentes níveis de eficiência e inflexibilidade (MME, 2019).



Aumento projetado de capacidade instalada (MW)	2018	2019	2020	2021	2022	2023-2025	Sem previsão ***	Total
Usinas Eólicas - EOL	1.195,3	1.813,2	158,9	120,0	-	82,0	1.153,8	4.523,2
Usinas Hidrelétricas - UHE	2.136,3	5.235,9	-	32,0	71,2	35,2	960,2	8.470,8
Pequenas Centrais Hidrelétricas - PCH	141,4	148,6	401,6	503,2	147,4	49,9	610,9	2.003,0
Usinas Termelétricas - UTE	199,2	877,6	2.228,7	1.464,4	70,0	127,5	2.824,9	7.792,2
Usinas Solares Fotovoltáicas - UFV	835,1	476,0	48,3	200,0	-	-	70,0	1.629,4
Total	**4.507,3**	**8.551,3**	**2.837,5**	**2.319,6**	**288,6**	**294,5**	**5.619,7**	**24.418,5**
disto: sem restrição	4.396,2	6.374,2	1.601,8	47,8	70,0	-	-	12.489,9
com restrição (licença ambiental) *	111,1	2.177,2	1.235,7	2.271,8	218,6	294,5	32,0	6.340,9
grave restrição (ambientais e judiciais) **	-	-	-	-	-	-	5.587,7	5.587,7

*Existem impedimentos para entrada em operação (obras não iniciadas).
** As graves restrições para entrada em operação referem-se a: suspensão do processo de licenciamento ambiental, demandas judiciais, declara ção de inviabilidade ambiental do empreendimento, entre outras.
*** Usinas sem previsão são aquelas suspensas pelas restrições acima, que estejam com processo de revogação em análise ou que apresentam problemas impeditivos à sua implantação

Figura 2. Previsão de entrada em operação de novas usinas.
Fonte: Banco de Informações de Geração – ANEEL (2018).

De acordo com o ONS, em 2017, os maiores produtores de energia termelétrica no Brasil foram: Rio de Janeiro, São Paulo, Ceará, Maranhão, Pernambuco, Mato Grosso do Sul e Espirito Santo e as 70 maiores usinas, com potência igual ou superior a 100 MW, estavam localizadas em vários estados brasileiros, sendo a maioria situada nos estados do Rio de janeiro (8 usinas – 5.390MW); Bahia (8 usinas – 1.409MW); Maranhão (6 usinas – 1.543MW); São Paulo (6 usinas – 1.409MW) e Pernambuco (5 usinas – 1.394MW) (IEMA, 2016).

No relatório da conjuntura do segmento de geração termelétrica no Brasil elaborado pelo Grupo de Estudos do Setor Elétrico (GESEL), consta que em matéria publicada pela Brasil Energia, no dia 13 de fevereiro de 2020,

> segundo dados da Câmara de Comércio de Energia Elétrica (CCEE), as usinas termelétricas entregaram 12.112 MW médios para o sistema elétrico nacional, em dezembro de 2019, o que equivale a 19% de toda a energia gerada no país e representa um aumento de 73,4%, em relação a igual mês de 2018, quando foram gerados 6.985 MW médios. Ao todo, consumo e geração cresceram 0,5% no período (GESEL, 2020).

O Plano Decenal de Energia 2029 (PDE 2029) contempla o crescimento da geração

termelétrica, especialmente a gás. Esse movimento é justificado pelo emprego desta fonte na garantia de segurança do suprimento, compensando a intermitência de fontes renováveis alternativas. As usinas térmicas, incluindo novas usinas a carvão, devem passar de 14%, em 2019, para 18%, no final do período considerado (MME, 2019).

2.1.1 Breve panorama das UTEs em operação e a serem instaladas em Macaé/RJ.

A usina EDF Norte Fluminense é uma termelétrica de ciclo combinado (CC), com uma capacidade instalada de 827 MW, que utiliza o gás natural produzido na Bacia de Campos como combustível, operando com três turbinas a gás e uma a vapor. Esse sistema possibilita que os gases liberados pela combustão do gás natural, ao invés de serem lançados in natura e a altíssimas temperaturas na atmosfera, são canalizados e aproveitados para o aquecimento de caldeiras de uma turbina convencional a vapor, com capacidade de geração superior à das três turbinas a gás (EDF NORTE FLUMINENSE, 2020).

A termelétrica EDF Norte Fluminense , conta com três blocos de geração idênticos, em CC e configuração mono-eixo, cada bloco constituído de duas turbinas, sendo uma a gás e a outra a vapor, intermediadas por uma recuperadora de calor e acionando um gerador comum de 255 MW, totalizando 827 MW de potência instalada, utilizando como combustível gás natural (EDF NORTE FLUMINENSE, 2020). O decreto 27768/2001 outorga à UTE Norte Fluminense o direito de uso de recursos hídricos no Rio Macaé na vazão máxima de captação de 300 l/s (0,3 m^3/s), durante 24h/dia (JUSBRASIL, 2011).

Um exemplo de operação em ciclo simples, é a UTE Mario Lago, que detém vinte turbinas de combustão usando o gás natural, além de ter a capacidade instalada de 923MW. Essa usina se apropria de recursos hídricos do Rio Macaé situada a 1,5 Km a uma cota inferior da usina, sendo que existe um canal na parte posterior de 20 m de diferença de cota. A vazão de água é cerca de 172.800 litros/hora, sendo usada essa capacidade para processar também dentro da usina de forma a estimular as maquinas que operam na forma desmineralizada, acrescentando um equivalente a 309.600 litros/hora. O emprego dentro da organização ocorre de várias formas, se destacando: o uso como suprimento de água para resfriar as turbinas, o estoque para combater prováveis incêndios, água potável para consumo próprio e sua forma desmineralizada para o monitoramento do número de oxidação (ANEEL, 2017).

> A captação ocorre jusante do ponto de lançamentos dos seus efluentes líquidos, seguindo a orientação da legislação Estadual do Rio de Janeiro (art. 261, parágrafo 4º). Sua outorga a limita ter uma captação no valor de 86 L/s o

> que resulta em aproximadamente nos 309.600 Litros/hora, sendo despachados cerca de 12L/s, aproximadamente 43.200 litros/hora (Lopes, 2011).

e após o seu tratamento devolve apenas 86.000 litros ao Rio Macaé (SILVA, 2008).

> Com a água tratada produz-se a água potável que serve para ser usada nos lava-olhos de emergência, para lavagens e serviços gerais. Por ser uma usina de ciclo aberto a descarga dos gases de exaustão da máquina é expelida na atmosfera e monitorada através de equipamentos e enviados em tempo real à Instituto Estadual do Ambiente (INEA) (SILVA, 2008).

Com a descoberta dos campos de exploração de petróleo na área do Pré-Sal e a implantação de gasodutos *offshore* conectando os poços de produção de petróleo à costa, aumentou a disponibilidade do gás natural associado ao petróleo, principalmente nos pontos de chegada como Barra do Furado (Quissamã) e no Terminal Cabiúnas em Macaé (PESSANHA, 2017).

É prevista a contrução de 6 novas usinas termelétricas que utilizarão este gás como fonte de combustível para a geração de energia elétrica e estima-se como benefício, a contribuição para aumento da confiabilidade do sistema elétrico com expansão da base de geração termelétrica nacional. Há três unidades licenciadas na cidade: Jaci e Tupã e Nossa Senhora de Fátima, com capacidade instalada de 330MW e 1850MW, e 1.355,4MW respectivamente, que consolida a cidade como polo nacional de produção de energia, transformando o gás processado pelo Terminal Cabiúnas, da Petrobras, em combustível para o novo ciclo de desenvolvimento econômico (PESSANHA, 2017).

A UTE Jaci será composta por dezesseis moto-geradores a gás e uma turbina a vapor, e a UTE Tupã possuirá três turbinas a gás e uma turbina a vapor, ambas em CC (O DEBATE, 2019).

De acordo com a Ficha de Caracterização de Atividade (FCA), número 145775/2018, elaborado pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), as áreas ocupadas pelas usinas serão de aproximadamente 130.000 m² e 50.000 m² para as usinas Tupã e Jaci, respectivamente e conexão elétrica “se dará na SE Macaé Merchant, distante 15 km. O consumo de água previsto é de aproximadamente 1.850 m³/h para a usina Tupã e 180 m³/h para a usina Jaci, sendo a água captada do Rio Macaé, distante 10 km do sítio” (MMA, 2018).

A UTE Nossa Senhora de Fátima escolheu uma tecnologia da turbinas a gás, uma vez que ofereceu a melhor alternativa viável energeticamente, economicamente e ambientalmente

com relação à eficiência, área de ocupação e necessidade de tratamentos para emissões atmosféricas. As turbinas serão instaladas junto com Caldeiras de Recuperação de Calor, que aproveitam os gases de exaustão das Turbinas a gás para gerar vapor a alta pressão e temperatura, e reaproveitá-lo expandindo-o em Turbinas a Vapor, gerando mais energia, sem nenhum acréscimo de consumo de combustível. Para a escolha de implantação da UTE Nossa

Senhora de Fátima na localidade de Severina destacou-se a proximidade das duas usinas termelétricas existentes no município de Macaé: UTE Norte Fluminense e UTE Mário Lago assim como a proximidade do Rio Macaé. Outras vantagens também foram levantadas como por exemplo em relação a proximidade de infraestrutura de transmissão e ausência de vizinhança populacional (NATURAL ENERGIA, 2018).

Para o funcionamento da UTE Nossa Senhora de Fátima é necessária a utilização de água doce. Por esse motivo, a UTE irá captar, após a confluência do Rio Macaé com o Rio São Pedro, uma vazão de 1.110m^3/h. Um mecanismo de projeto, conhecido por reuso, permite que a usina reaproveite 100m^3/h (NATURAL ENERGIA, 2018).

O uso do sistema de resfriamento por Torre Úmida é solução mais vantajosa tecnicamente e economicamente para esta central de geração, tendo em vista o baixo consumo elétrico e pela proximidade ao Rio Macaé, local onde será captada a água bruta (NATURAL ENERGIA, 2018).

Ao avaliar o balanço de água do projeto comparando a operação com água salobra e água doce, o maior impacto observado se dá na água injetada nas torres de resfriamento. Foi avaliado também a eficiência do ciclo térmico, utilização de água salobra exige um aumento do vácuo dos condensadores, o que torna a turbina a vapor menos eficiente (NATURAL ENERGIA, 2018).

Atualmente, há uma usina já em processo de construção: Marlim Azul, com 565 MW de potência instalada. A futura operação da usina resultará em incremento significativo na capacidade geradora do Sistema Sudeste. Estima-se como benefício, a expansão de 1,8% na base de geração do sistema interligado da região sudeste e de 0,9% na base de geração nacional (AGENERSA, 2019).

A EBTE Engenharia menciona o desenvolvimento, em seu site, dos projetos de 3 Usinas Termelétricas (UTE I, II e III) a gás natural, totalizando 1.650 GW de capacidade instalada, com 565MW cada uma e outorga de água para captação de 1.600 m^3/h todas operarão com CC. A Marlim Azul Energia S.A. participou e comercializou energia a ser gerada pela futura Usina Termelétrica - UTE Vale Azul II (565MW) (AGENERSA, 2019).

A descrição dos Terminais de Regaseificação de gás natural liquefeito (GNL) no Brasil

– Quadro dos Relevantes Projetos, do Ministério de Minas e Energia, a UTE Marlim Azul usa o gás processado oriundo de campos *offshore* da Shell, porém devido à localização do projeto poderia também usar o terminal de GNL para paradas estimadas das plataformas ou para projetos novos do parque térmico. Outra circusntância que contribui para viabilizar o terminal de GNL é o fato de serem próximos com a térmica UTE Norte Fluminense (AGENERSA, 2019).

2.2 PRINCIPAIS USOS DE ÁGUA NAS TERMELÉTRICAS

O estudo da ANA (2019) traçou um panorama das demandas por recursos hídricos em todos os municípios brasileiros, entre 1931 e 2030, Figura 3, onde é possível observar a crescente demanda por água e o histórico de evolução, que se relaciona ao desenvolvimento econômico e ao processo de urbanização do país.

Ainda segundo a ANA (2019), no ano de 2019, o maior volume retirado de água correspondeu à irrigação, responsável por 49,8% do total; seguido do abastecimento urbano, com 24,3%; da indústria de transformação, com 9,7% e do abastecimento animal, com 8,4%. Em quinto lugar estão as termelétricas (4,5%), querepresentam mais que o abastecimento rural (1,6%) e a mineração (1,7%) juntos.

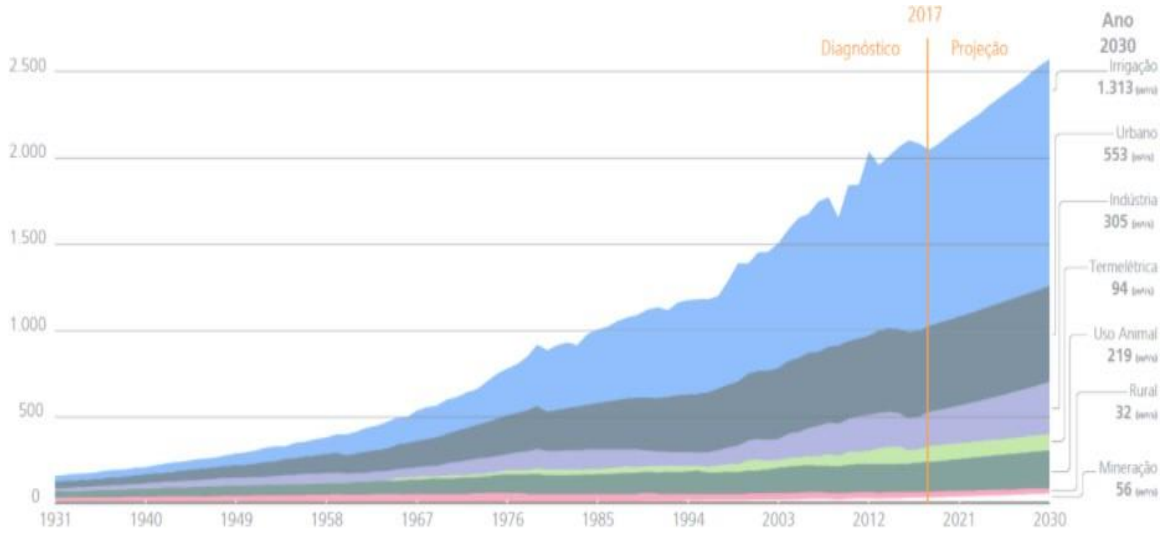


Figura 3. Evolução da retirada de água no Brasil, por setor (1931 -2030), em m³/s.
Fonte: ANA (2019).

De acordo com ANA (2019), em 2019, segundo o Painel de Usos Consuntivos de Água no Brasil (1931-2030, do total de 2.083,49 m^3/s retirados, as maiores parcelas, em todos os

setores, aconteceram no Rio Grande do Sul (20,8%), São Paulo (13,5%), Minas Gerais (12%), Bahia (8,7%), Goiás (4,8%) e em 6º lugar o Rio de Janeiro (4,2%), conforme Tabela 1.

Tabela 1. Água retirada para uso em todos os setores em relação ao total no Brasil x UF.

Colocação	UF	Água retirada para uso em todos os setores [m3/s].	Água retirada para uso em todos os setores em relação ao total no Brasil [%].
1º	RS	433,49	20,8
2º	SP	281,55	13,5
3º	MG	249,42	12,0
4º	BA	180,79	8,7
5º	GO	100,69	4,8
6º	RJ	87,04	4,2
7º	SC	83,92	4,0
8º	PE	74,18	3,6
9º	PR	61,78	3,0
10º	CE	60,44	2,9
11º	PA	58,1	2,8
12º	ES	52,32	2,5
13º	MA	45,79	2,2
14º	AM	26,9	1,3

Fonte: Adaptado dos Painel Indicativo de Usos Consuntivos de Água no Brasil (1931-2030) (ANA, 2019).

Em relação especificamente à retirada da água para uso em termelétricas, a região Sudeste lidera, com 35%, seguida pelo Sul (27%), Norte (23%) e Nordeste (12%). O Centro-Oeste apresenta menor relevância da atividade termelétrica. Ainda em 2019, as termelétricas retiraram um total de 92,88m^3/s, o que representou 4,46% da retirada total de água em relação ao outros setores da economia (ANA, 2019) é representado na Figura 4.

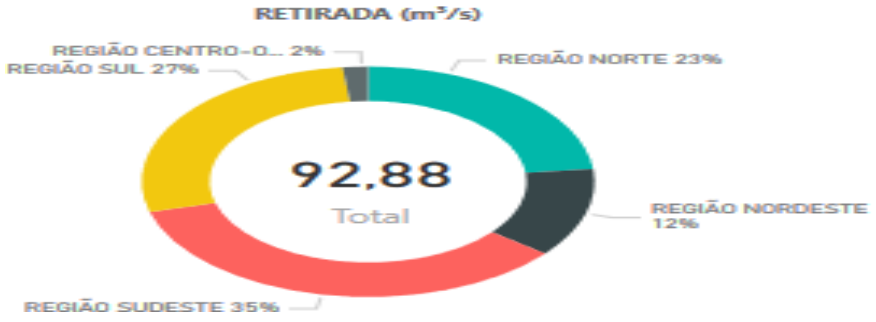


Figura 4. Uso consuntivo da água nas termelétricas x Região Brasileira.
Fonte: adaptado dos Painel Indicativo de Usos Consuntivos de Água no Brasil (1931 -2030) (ANA, 2019).

Em relação às vazões de retirada, por estados brasileiros no ano de 2019 para uso em termelétricas, Santa Catarina (22,4%) apresentou a maior retirada de água para resfriamento de usinas térmicas, seguidos do Amazonas (53,8%), Rio de Janeiro (13,7%) e São Paulo (3,8%) na 4º posição, o Pará (12,2%). Esses quatro estados concentraram 67,76% da demanda total que foi de 92,88 m³/s em 2019 (4,46% da retirada total) (ANA, 2019).

O consumo médio nas usinas termelétricas é baixo, equivalente a 3% da retirada, considerando que a maior parte das instalações que usam água tem sistemas de resfriamento de circulação aberta, onde quase toda a água retorna ao corpo hídrico. No entanto, existem usinas térmicas onde o consumo é superior a 70% da água retirada, normalmente relacionado aos sistemas de resfriamentos com torres úmidas (ANA, 2019). Os principais usos de água em usinas termelétricas ocorrem nos sistemas de resfriamento com ciclo vapor; àgua (desmineralizada) para reposição do sistema de ciclo vapor; injeção de vapor na turbina a gás; purganos trocadores de calor, além de outros usos (água de serviço e potável).

Para a implantação de novas centrais termelétricas, o local a ser escolhido, tende a ser geralmente situados em bacias hidrográficas densamente urbanizadas e industrializadas. A escolha do local de instalação de uma usina termelétrica é fundamental avaliar se a disponibilidade de recursos hídricos é compatível com a tecnologia da planta, para evitar conflitos pelo uso da água com os demais usuários do corpo hídrico onde ocorrerá a captação (MEDEIROS, 2019).

2.2.1 Circuito Aberto (resfriamento através de reservatórios, lagos ou rios)

A água assimilada atravessa o condensador da usina para fazer o resfriamento de forma direta dos produtos oriundos da combustão, retornando posteriormente. É caracterizada por uma captação muito robusta, porém com um menor consumo de água (IEMA, 2016).

O calor latente do vapor é dissipado para atmosfera pelo processo natural de convecção, evaporação e radiação. O resfriamento ocorre progressivamente. Alguns países, estabeleceram regulamentos e normas para otimizar o controle da qualidade da água, impossibilitando construções novas com sistemas de resfriamento aberto. A submissão da água é uma questão determinante para instalações desse tipo de sistema sendo essenciais áreas com maiores volumes de água ofertada (HANNA, 1975). Dessa forma sendo viável a utilização de sistemas de Resfriamento a Água – Ciclo Aberto. Sistemas abertos ou de passagem única (“*once-through”)*

são esses, na qual a água de resfriamento, depois que passar pelos equipamentos que produzem calor, não mais retornam a eles, sendo liberadas no local de início ou em outro lugar disperso, conforme o esquema da Figura 5.

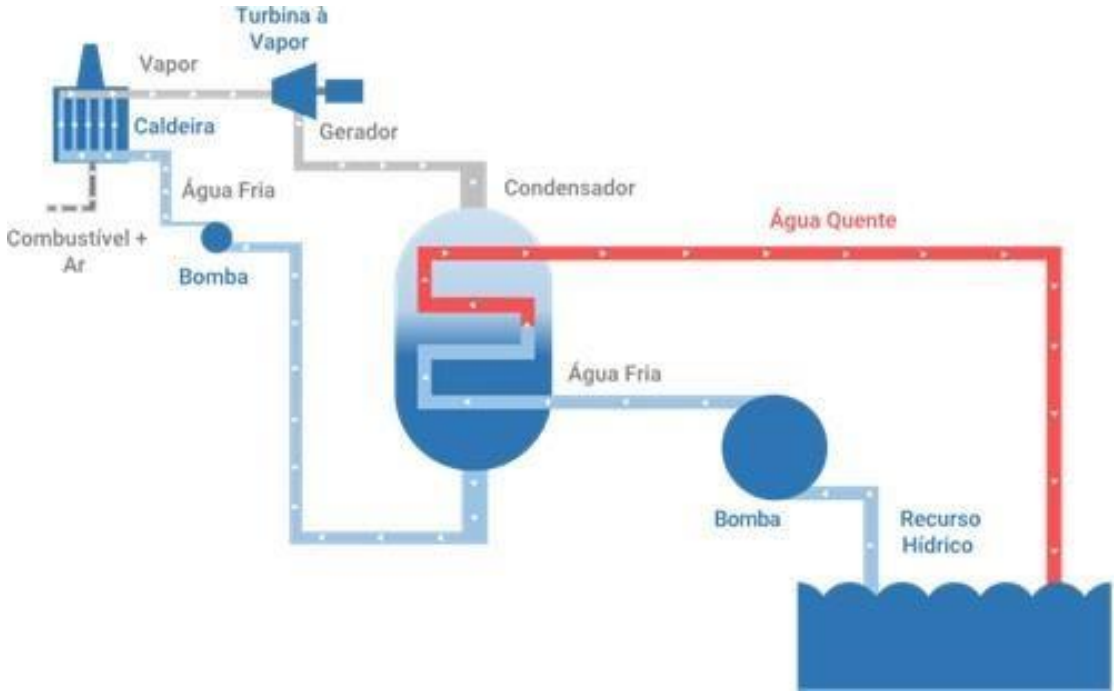


Figura 5. Sistemas de Resfriamento a Água – Ciclo Aberto.
Fonte: IEMA(2016).

2.2.2 Ciclo Semi-Fechado – Convecção Natural

Para que se possa resfriar os produtos da combustão é usada a água captada. Posteriormente, se passa por uma torre para ser também resfriada, por convecção natural de ar, e retornar a ser usada, sendo caracterizada por ter uma captação moderada e elevado consumo devido a evaporação nas torres (IEMA, 2016), sendo ilustrada na Figura 6.

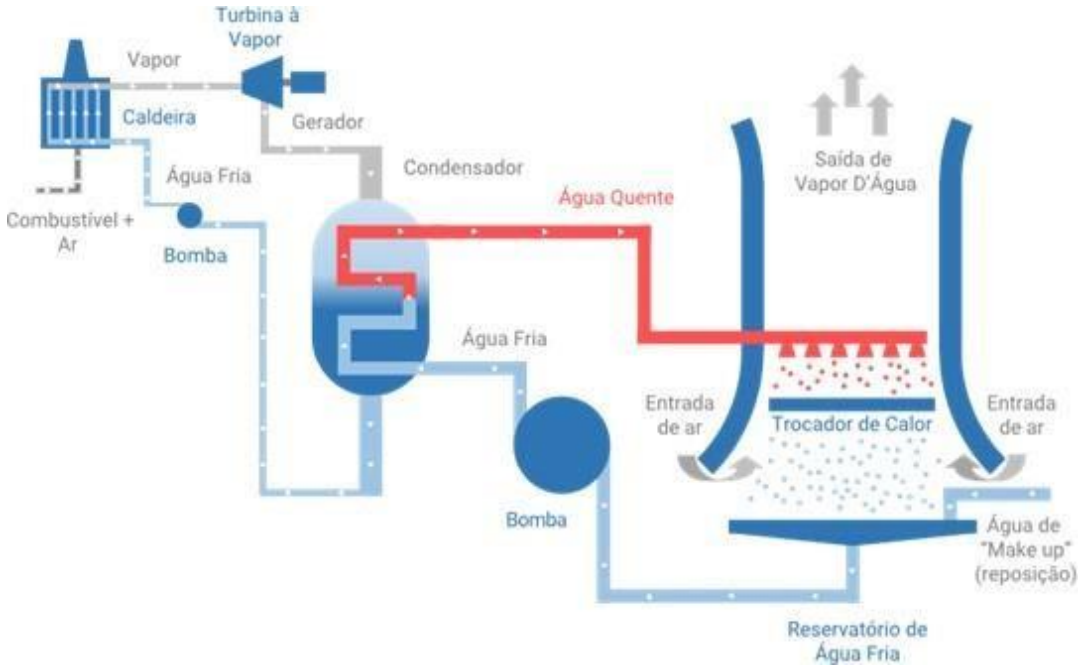


Figura 6. Sistemas de Resfriamento a Água – Ciclo Semi-Fechado.
Fonte: IEMA (2016).

2.2.3 Ciclo Semi-Fechado – Convecção Forçada

É bem parecido o modelo de funcionamento dos sistemas com torre úmida, na qual a água captada serve para resfriar os produtos da combustão, passando depois por uma torre para ser novamente resfriada e voltar a ser usada para resfriamento. A captação é moderada e existe um alto consumo devido a evaporação nas torres, assim as as torres são dotadas de ventiladores que facilitam o processo (IEMA, 2016).

Ao se buscar entender a convecção forçada (Figura 7), nota-se que essa pode ser vista como um tipo de transporte de calor no qual o movimento do fluido é estimulado por uma fonte externa (como uma bomba, ventilador, dispositivo de sucção, etc.). É encarada como um dos métodos mais importantes de transferência de calor útil, sendo dotado de quantidades expressivas de energia térmica (calor) que podem ser conduzidas de forma eficiente. Este mecanismo é comum de ser encontrado, em relação ao aquecimento central, ar condicionado, turbinas a vapor e em diversas outras máquinas (IEMA, 2016).

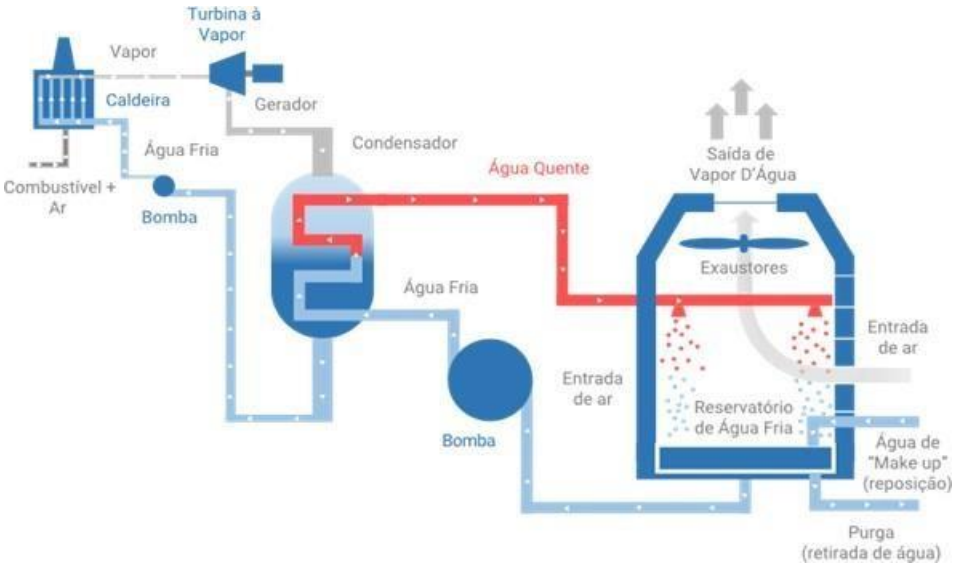


Figura 7. Sistemas de Resfriamento à Água – Convecção Forçada.
Fonte: IEMA (2016).

Na Figura 8 é apresentado um resumo dos sistemas de resfriamento, comparando os tipos a partir de diferentes critérios.

Sistema de resfriamento	Captação de água	Consumo de água	Custos iniciais	Redução na eficiência térmica	Impacto na captação de água
Sistema aberto	Alto	Baixo	Baixo	Caso de referência	Alto
Torre de resfriamento úmida natural	Moderado a baixo	Moderado	Alto	0,5% a 1,5%	Moderado
Torre de resfriamento úmida mecânica	Moderado a baixo	Moderado	Moderado	~ 2%	Moderado
Sistema seco direto	Nenhum	Nenhum	Muito alto	1,5% a 2%	Baixo
Sistema seco indireto	Nenhum	Nenhum	Muito alto	2% a 3%	Baixo

Figura 8. Resumo dos sistemas de resfriamento.
Fonte: IEAGHG (2011); TURNPENNY *et al.* (2010).

2.3 FONTES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E SEUS ASPECTOS HIDROLÓGICOS

Para suprir as necessidades hídricas recorrentes de abastecimento de uma cidade, é essencial que exista reservatórios ou fontes constantes para a captação. As obras de reservatórios para o fornecimento de água pode ficar caro para vários projetos de abastecimento urbano, todavia sao essenciais parao garantir o fornecimento contínuo mesmo em períodos

de seca. A grande questão, se deve ao fato que os reservatórios, geralmente, exigirem gastos com desapropriação de grandes áreas e a remoção dos moradores, podendo ocasionar perdas econômicas pela interrupção das atividades produtivas, além de exigir um processo de licenciamento ambiental que muitas vezes é demorado e complexo. A captação de água diretamente dos mananciais é muito mais barata, todavia o sistema fica vulnerável à disponibilidade natural da água (SOUZA, 2016).

Um outro fator importante a ser observado em sistemas de abastecimento de água é a segurança dos reservatórios. Por exemplo, uma seca severa ou um acidente similar ao que se abateu sobre o Rio Doce num reservatório, pode acabar inviabilizando o abastecimento de uma cidade inteira por um longo período, causando graves consequências (SOUZA, 2016).

De acordo com o Atlas dos Mananciais de Abastecimento do Estado do Rio de Janeiro, os mananciais, como rios, lagos, nascentes e aquíferos, são fontes de água que podem ser utilizadas se dimensionadas suas vazões e realizados procedimentos eficazes para atendimento das demandas para diferentes usos. Esses são de extrema relevância para a sociedade, possibilitando o abastecimento de água para as cidades, as áreas rurais e as atividades produtivas (INEA, 2018).

É necessário entender o regime de vazões do bioma Mata Atlântica na qual os rios são permanentes, possuindo condições diferentes em relação aos rios temporários, impactando de certa forma os processos biogeoquímicos dos ambientes. De maneira similar, os rios alimentados esssencialmente por águas pluviais apresentam características diferenciadas daqueles dotadas de fluxos de base, com decorrências sobre aqueles processos. As particularidades entre os regimes de chuvas que preservam os escoamentos nas bacias de dois rios podem ocasionar em potencialidades e características dissemelhantes para os processos ambientais conectados aos mesmos, assim facilitando ou dificultando as diversas maneiras de utlização (EMBRAPA, 2015).

Geralmente, para que se possa prever a vazão em condições de curto prazo, ou seja, de algumas horas a alguns dias, são usados modelos determinísticos, juntamente com a análise dos fenômenos climático hidrológicos. Quando se estuda um horizonte de longo prazo, as previsões hidrológicas são feitas através da estatística pautada em valores históricos, o que contribui para a previsão dos valores relacionados a intervalos probabilísticos, entretanto não sendo possível prever a data exata da ocorrência de um fenômeno. No cenário atual, com as novas alternativas de modelos climáticos e o uso de relações empíricas entre variáveis como a temperatura do mar, a precipitação e o escoamento, surgiu na literatura a previsão de médio prazo (até seis meses) por meio de associações que prezem aspectos determinísticos, conceituais ou empíricas

(EMBRAPA, 2015).

> A previsão hidrológica sazonal ou de longo prazo se refere à estimativa de variáveis hidrológicas com antecedência de pelo menos um mês, podendo chegar a 12 meses. Toda a previsão aumenta o erro com a antecedência, já que se baseia muito nas informações recentes conhecidas para a previsão do futuro (TUCCI, 2010).

As distribuições da variabilidade espaço-temporal de variáveis aleatórias que relacionam à quantidade e à qualidade da água, são caracterizadas por fenômenos hidrológicos, sendo também importante a necessidade do uso de teorias de probabilidades que abordem os fenômenos aleatórios. Em relação a teoria de probabilidades, existem duas faces de grande relevância para a hidrologia usada: a estatística matemática e o estudo de processos estocásticos. A estatística matemática é norteada na teoria de probabilidades que auxilia uma melhor anàlise de um grupo específico de investigações de um fenômeno casual, além da aquisição de implicações em relação a existência de ocorrer prováveis realizações do fenômeno em debate (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

Ao ser buscar uma previsão de uma variável hidrológica num sistema hídrico deve se levar em consideração a estimativa antecipada em um período de tempo desta variável. Nesse sentido, se tem muito atualmente alertas de inundações de uma cidade ou dados de vazão para operação de uma barragem. É dificultoso prever com grande antecedência, mas existe a possibilidade de estimar o risco de ocorrência de uma variável hidrológica. Assim, existe uma predição que é possível estimar a varaiável desconsiderando o tempo, porém com a probabilidade de ocorrência. Além disso, TUCCI (1991) diz que é possível prever quando ocorrerá uma inundação em termos estatísticos, assim, “se baseando na ocorrência das vazões no passado” permitindo “estabelecer as vazões máximas para os riscos escolhidos”, porém sem precisão.

Os modelos estocásticos contribuem para esta previsão que pode ser realizada se perfazendo de séries hidrológicas e suas interações estatísticas temporais do passado para prever o futuro. Nesse contexto, caso não exista correlação entre valores da série, a previsão sazonal é igual a média de um período longo mensal (TUCCI, 2010).

Deve se atentar que os fênomenos hidrológicos apresentam variabilidades espaciais e temporais, as quais não podem ser explicadas somente por relações determinísticas, pois apresentam componentes aleatórias muito relevantes. Desta forma, para a previsão de eventos de longo prazo, é freqüente a utilização tanto da estatística matemática quanto do estudo dos processos estocásticos.

A previsão de curto prazo ou em tempo real baseia-se na resposta da bacia hidrográfica, seguindo uma relação de causa e efeito. Para um determinado patamar de chuvas é esperado um aumento significativo da vazão do rio. Desta forma, modelos determinísticos podem ser utilizados, como modelos chuva-vazão, método do hidrograma unitário entre outros. A previsão de longo prazo é demandada para outros tipos de aplicação, como o dimensionamento de obras hidráulicas, a geração de energia hidrelétrica, o monitoramento de reservatórios de água entre outras. Nestes casos, é aconselhado o emprego de modelos estocásticos, os quais se baseiam na observação de dados ocorridos no passado para fazer a previsão do futuro, considerando um erro estatístico (TUCCI, 1987).

A estatística matemática tem como objetivo utilizar a teoria das probabilidades, a partir de um período limitado de observações de um fenômeno aleatório, e projetar suas prováveis ocorrências futuras (NAGHETTINI; PINTO, 2007). Neste sentido, não se trata de uma previsão e sim da probabilidade de ocorrer uma variável hidrológica dentro de um intervalo de tempo, o qual poderia ser a própria vida útil de uma estrutura hidráulica. Por exemplo, pode-se dizer que uma inundação em determinada área urbana tem 2% de chance de ocorrer a cada ano, isso significa, que a cada 50 anos é esperado que ao menos uma inundação aconteça. Neste caso podemos definir que o tempo de retorno dessa inundação é de 50 anos.

Para a previsão de vazões extremas, isto é, vazões de cheia ou de estiagem, uma das abordagens mais recomendadas e utilizadas em hidrologia é a aplicação de métodos probabilísticos. Quanto maior é a série história obtida dos dados fluviométricos, maior será confiabilidade da aplicação dos modelos probabilísticos, uma vez que as vazões extremas estão relacionadas a maiores tempos de retorno. As distribuições mais indicadas para a análise de vazões extremas são a Weibull, Normal, Log-Normal, Gumbel, Log-Pearson tipo III e Pearson tipo III. O estatístico Karl Pearson estabeleceu coeficientes para as funções densidades de probabilidade voltada para extremos, criando grandes famílias de distribuição, incluindo a Normal, a Gama e a Beta. Tais famílias de distribuições são conhecidas como Pearson Tipo I, Tipo II, até o Tipo VIII (WATANABE, 2013).

Melo *et al* (2019) realizaram um estudo acerca das melhores distribuições que se ajustavam no cálculo da vazão miníma observada em 7 dias consecutivos – Q7 – para a bacia hidrográfica do rio das Velhas (MG), resultando no melhor ajuste pela distribuição de Gumbel em 8 das 14 estações fluviométricas estudadas. Barbosa et al (2005) avaliaram o ajuste de distribuições para as vazões mínima diária anual e mínima média de 7 dias, concluindo que a tanto a Gumbel quanto a Log-Normal de três parâmetros mostram-se adequados, sendo a Log-normal a que conduz a ajustes de melhor qualidade.

No relatório da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), foi realizado um estudo de vazões médias, mínimas e máximas para a região hidrográfica , a qual inclui a bacia do Rio Macaé (CPRM, 2002). Adicionalmente, são apresentadas as curvas de permanência e as equações de regressão para o caso da vazão média, mínima e máxima. Estas equações de regressão podem ser utilizadas em modelos de regionalização de vazões para a bacia do Rio Macaé, conforme foi empregado neste trabalho.

É possível analisar, por exemplo, a previsão da vazão mensal de um rio no mês de outubro, através da média de todos os dados de vazões dos meses de outubros da série, tendo uma mutabilidade prevista pelo desvio padrão e outras estatísticas. Assim, cada mês de outubro terá a média e previsão constante se amostra for mantida. Em relação a previsão sazonal, por mais elaborado que seja o modelo, senão existir dados salvos da bacia (tempo de resposta) ou correlação entre os valores previstos, acaba se tornando apenas um prognóstico sazonal (TUCCI, 2010).

> Os modelos determinísticos se apoiam em dados referentes as condições climáticas para confeccionar esta previsão, todavia, possuem um alto grau de incerteza, tendo em vista que a atmosfera tem um tempo de residência próximo a 10 dias, ou seja, as condições que temos hoje se alteram totalmente em somente 10 dias. A memória determinística (não-linear) que tem a capacidade de permanecer encontra-se principalmente nas condições físicas do oceano, além da terra (TUCCI, 2010).

TUCCI (2010) explica as singularidades destes dois modelos principais:

- Empíricos: É modelo que tem como característica se basear na relação entre a variável do mar e a grandeza almejada, como por exemplo, a análise da vazão ou chuva de uma bacia. Sendo assim, essa relação pode ser apenas uma correlação, ou somente um indicador da forma como os períodos futuros estará relacionados com à média. No contexto recente, nota-se um aumento do uso desta técnica em vários lugares do mundo.
- Modelos determinísticos: Esses modelos se pautam em um estudo das alterações climáticas que se aproximam dos cenários vivenciado no globo terrestre. Os modelos regionais se apoiam nas primeiras condições, por exemplo, simulando um semestre que está por acontecer, sendo que no final do período as previsões podem estar bastante obsoletas. Estas previsões de chuva, temperatura e outras variáveis são empregadas nos protótipos hidrológicos para simular no futuro estas variáveis.

Para que se possa estimar o valor da vazão a ser regionalizada, também pode serem usadas as variáveis explicativas que são aquelas utilizadas na regionalização de vazão. As

características físicas e climáticas são variáveis comuns para estes fins, mas devem ser escolhidas variáveis que possam ser facilmente determinadas (TUCCI, 2012).

Geralmente, as expressões com um único parâmetro são preferíveis em estudos comparativos, pois é complexo e dificultoso em mutoso casos a interpretação da importância relativa de cada variável explicativa. O acréscimo de mais parâmetros, apesar de tudo, comumente ajusta melhor a equação aos dados de vazão e portanto são mais indicados em estudos mais detalhados (TALLAKSEN, 1995).

No geral, as variáveis explicativas mais comumente utilizadas em estudos de regionalização de vazões são a área de drenagem, altitude, inclinação de bacias ou canais, média anual ou diária de precipitação e temperatura (RAZAVI; COULIBALY, 2013).

2.4 DISPONIBILIDADE HÍDRICA DO RIO MACAÉ

A oferta hídrica de um local deve ser analisada utilizando a vazão intríseca dos rios, que seria a vazão apreciada caso não ocorressem o uso da água para irrigação e outros fins e, muito menos houvesse procedimentos em reservatórios e transposições interbacias. Segundo a Carta das Águas (NUPEM, 2015) este estudo contábil é denominado de balanço hídrico que foca entender os cenários atuais e futuros, abordando a quantidade de água que o Rio Macaé poderá distribuir para o consumo das populações dos sete municípios precedentemente discutidos, da mesma maneira que as atividades econômicas de exploração petrolífera e gás da Bacia de Campos, usinas termoelétricas, agricultura e pecuária. Especificamente em alguns afluentes do Rio Macaé, como aqueles que possuem uma drenagem inicial para o Rio São Pedro, ocorre um gasto maior que a disponibilidade de água no rio, gerando balanços hídricos negativos (NUPEM, 2015).

Dois balanços hídricos foram realizados até o momento, um pela Fundação Getúlio Vargas e o outro pelo Comitê de Bacias do Rio Macaé e Ostras (NUPEM, 2015). Ambos mostraram que ainda existe água suficiente no Rio Macaé para atender a demanda atual. Porém, esses estudos estão ancorados em dados de vazão que precisam ser constantemente atualizados, com o objetivo de corrigir erros de estimativa de oferta hídrica.

O Relatório do Diagnóstico da Demanda Hídrica apresentado no Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica Macaé e das Ostras – RD-05 (CBHRMO, 2012) mostra que em relação ao número de usuários a bacia do Rio Macaé mantém o maior número de usuário com 113 registros (54%), seguida da bacia da Lagoa de Imboassica com 73 usuários (35%) e da bacia do Rio das Ostras com 24 usuários (11%) (CBHRMO, 2012).

As demandas instaladas no Rio Macaé são prioritariamente, para a finalidade de abastecimento humano, industriais , irrigação (seguidas de abastecimento humano , aquicultura e criação animal e termelétrica (CBHRMO, 2012), como observado na Figura 9.

Sub-bacia	Abastecimento	Aquicultura	Criação Animal	Indústria	Irrigação	Mineração	Termoelétrica	Total	Participação
Bacia da Lagoa de Imboacica	26	-	-	43	4	-	-	73	35%
Bacia do Rio das Ostras	10	-	-	13	1	-	-	24	11%
Bacia do Rio Macaé	41	9	8	29	21	1	4	113	54%
Sub-bacia do Alto Rio Macaé	6	3	1	1	17	1	-	29	14%
Sub-bacia do Baixo Rio Macaé	22	3	1	25	3	-	4	58	28%
Sub-bacia do Médio Rio Macaé	6	3	-	-	1	-	-	10	5%
Sub-bacia do Rio Sana	1	-	1	-	-	-	-	2	1%
Sub-bacia do Rio São Pedro	6	-	5	3	-	-	-	14	7%
Total	77	9	8	85	26	1	4	210	100%
Participação	37%	4%	4%	40%	12%	0,5%	2%	100%	

Figura 9. Número de usuários por sub-bacias e finalidades de uso.
Fonte: CBHRMO (2012).

Nota-se na bacia da Lagoa de Imboassica a presença de muitos usuários utilizando um pequeno volume de água. A distribuição dos usuários entre as sub-bacias do Rio Macaé apresenta predomínio da sub-bacia do Baixo Rio Macaé, com 58 usuários, totalizando 28% do número de usuários cadastrados (CBHRMO, 2012).

Em 2012, os dados do Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hidrícos (CNARH) estudados apresentaram uma divisão relevante em relação aos seu usos, que são sazonais ou não sazonais, sendo os últimos os que carecem de melhores cuidados para compreensão. Sendo assim, os usos não sazonais, possuem um abastecimento que perfaz 70% do volume solicitado, acompanhado do setor da aquicultura com 16%. As bacias do estudo – Rio Macaé, rio das Ostras e Lagoa de Imboassica – a do Macaé é encarregada por quase todo o volume relatado no CNARH, com 99,6% da quantidade volumétrica anual não sazonal e 100% do volume sazonal anual. As bacias da lagoa de Imboassica e do rio das Ostras constituem apenas 0,2% do volume total e do volume não sazonal (CBHRMO, 2012). Na Figura 10, pode ser vista as distribuições volumétricas anuais por (m^3/ano), se apoaindo nas questões da sazonalidade por sub-bacia e por finalidade.

Sub-bacia	Volume não-sazonal (m³/ano)								
	Abastecimento	Aquicultura	Criação Animal	Indústria	Irrigação	Mineração	Outros	Termoelétrica	Total
Bacia da Lagoa de Imboacica	100.066	-	-	99.319	79.392	-	34.149	-	312.926
Bacia do Rio das Ostras	125.022	-	-	183.271	480	-	1.332	-	310.105
Bacia do Rio Macaé	108.384.056	24.793.122	421.980	8.186.139	26.501	105.600	267.967	12.210.276	154.395.640
Sub-bacia do Alto Rio Macaé	549.038	24.724.325	132	32.940	23.009	105.600	-	-	25.435.044
Sub-bacia do Baixo Rio Macaé	72.140.727	48.330	11.088	8.153.199	3.491	-	137.460	12.210.276	92.704.571
Sub-bacia do Médio Rio Macaé	1.648.692	20.467	-	-	-	-	-	-	1.669.159
Sub-bacia do Rio Sana	31.622	-	21.960	-	-	-	-	-	53.582
Sub-bacia do Rio São Pedro	34.013.976	-	388.800	-	-	-	130.507	-	34.533.283
Total	108.609.145	24.793.122	421.980	8.468.728	106.373	105.600	303.448	12.210.276	155.018.671
Sub-bacia	**Volume sazonal (m³/ano)**								
	Abastecimento	Aquicultura	Criação Animal	Indústria	Irrigação	Mineração	Outros	Termoelétrica	Total
Bacia da Lagoa de Imboacica	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bacia do Rio das Ostras	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bacia do Rio Macaé	-	-	-	2.864	122.300	-	-	-	125.164
Sub-bacia do Alto Rio Macaé	-	-	-	-	85.200	-	-	-	85.200
Sub-bacia do Baixo Rio Macaé	-	-	-	2.864	-	-	-	-	2.864
Sub-bacia do Médio Rio Macaé	-	-	-	-	37.100	-	-	-	37.100
Sub-bacia do Rio Sana	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sub-bacia do Rio São Pedro	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	-	-	-	2.864	122.300	-	-	-	125.164
	Volume Total Cadastrado (m³/ano)								
	Abastecimento	Aquicultura	Criação Animal	Indústria	Irrigação	Mineração	Outros	Termoelétrica	Total
Volume Total	108.609.145	24.793.122	421.980	8.471.592	228.673	105.600	303.448	12.210.276	155.143.835
Participação	70%	16%	0,3%	5,5%	0,1%	0,1%	0,2%	7,9%	100%

Figura 10. Distribuição dos volumes (m^3/ano), conforme sazonalidade por sub-bacia e por finalidade. Fonte: CBHRMO (2012).

Na Figura 11, os usos outorgados predominantes na Região Hídrica VIII são o abastecimento populacional e o uso da água pelas termoelétricas, representados quase que em sua totalidade pelas captações da Companhia Estadual de Águas e Esgoto (CEDAE) e da UTE Norte Fluminense. Dessa forma, somadas as vazões das outorgas e das certidões ambientais tem-se o abastecimento como o setor com o maior volume anual outorgado, com 68,7% de participação e seguido das termoelétrica (30,85%) (CBHRMO, 2012).

Finalidade	Subterrânea		Superficial		Total			
	Usuários	Vazão Anual (m³/ano)	Usuários	Vazão Anual (m³/ano)	Usuários	% com relação a número de usuários	Vazão Anual (m³/ano)	% com relação a vazão anual
Abastecimento	19	175.985	1	26.562.816	20	35%	26.738.801	68,7%
Criação de Animais	1	11.405			1	2%	11.405	0,03%
Indústria	12	54.796	10	87.120	22	39%	141.916	0,4%
Irrigação	4	5.566			4	7%	5.566	0,01%
Não Informada	7	Não Informada	1	Não Informada	8	14%	Não Informada	
Termoelétrica			2	12.006.144	2	4%	12.006.144	30,9%
Total	43	247.752	14	38.656.080	57	100%	38.903.832	100,0%

Figura 11. Distribuição das outorgas e das vazões anuais por finalidade de uso. Fonte: Banco de dados de outorgado dos SEORH consistido, de outubro de 2013.

O Relatório do Diagnóstico das Disponibilidades Hídricas da Região Hidrográfica Macaé e das Ostras (RD-04) de 2013, engloba diversos estudos hidrológicos , e da qualidade das águas superficiais, somado a estudos hidrogeológicos, catálogos de águas subterrâneas e verificação de sua qualidade (CBHMACAE, 2013).

O Plano de Recursos Hídricos avalia a disponibilidade hídrica de uma região se baseando na vazão intrínseca dos rios, que remete a vazão observada caso não houvesse as distribuição de água para usos como a da irrigação e outras finalidades e, não obstante existesse a operação de reservatórios e transposição entre as bacias (CBHMACAE, 2013).

Nesse contexto, é crucial medir a vazão do Rio Macaé para estimar o volume de água que estará disponível para o consumo doméstico, industrial, agrícola e demais fins. Este balanço hídrico, foca em saber atualmente e em outros horizontes, a quantidade de água que o Rio Macaé poderá fornecer para o dispêndio das populações dos sete municípios inclusos em sua bacia hidrográfica, em paralelo as atividades econômicas de exploração *offshore* e gás da Bacia de Campos, usinas termoelétricas, agricultura e pecuária (CBHMACAE, 2013).

A bacia do Rio Macaé é profusamente inspecionada por estações inseridas no Sistema de Alerta de Cheias, do INEA. Entretanto, a maior parte destas estações ainda possui histórico de observação muito curto. As estações fluviométricas, Figura 12, ao longo do Rio Macaé são: Macaé de Cima, Galdinópolis, Barra do Sana, Ponte do Baião, São Romão, Fazenda Airis e Severina (CBHMACAE, 2013).

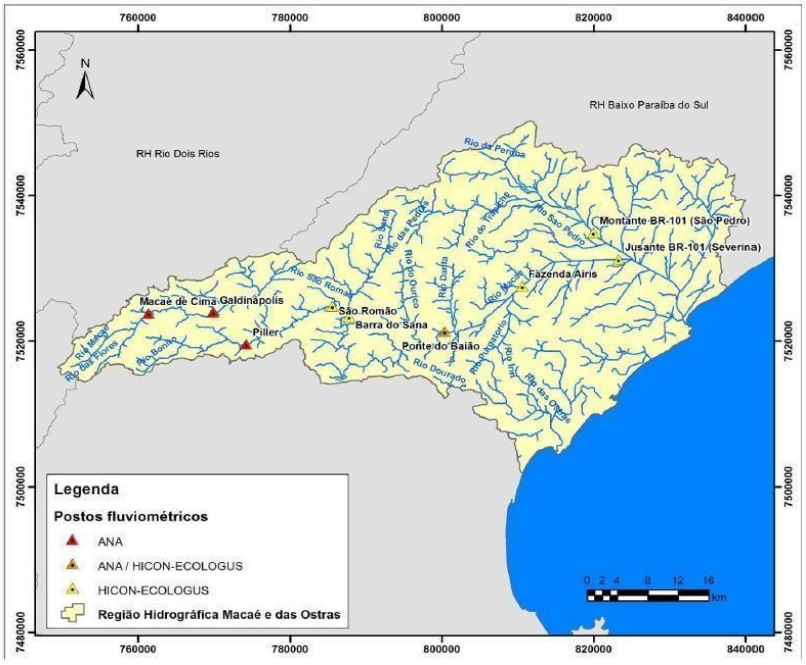


Figura 12 . Postos fluviométricos disponíveis na região hidrográfica de Macaé e das Ostras.
Fonte: Contato de Gestão nº 01/2012 – Indicador 2 Região Hidrográfica de Macaé e das Ostras.

De acordo com o Plano de Recursos Hídricos (PRHI) da Região Hidrográfica Macaé e das Ostras: relatório síntese, 2014 – INEA, com o objetivo de orientar e subsidiar as ações

necessárias para garantir água em quantidade e qualidade adequadas para as demandas atuais e futuras da sociedade e dos ecossistemas do estado do Rio de Janeiro, demonstra que o Rio Macaé já apresenta déficit hídrico no principal trecho onde há captações para abastecimento urbano, termelétricas, uso industrial, abastecimento das plataformas de petróleo *offshore*, além de ter muitos pontos de captação concentrados em um pequeno trecho, o que causa um fenômeno considerado de alta criticidade hidráulica, reduzindo ainda mais a disponibilidade de água para as captações ali localizadas. Embora a porção serrana da região apresente considerável cobertura florestal, as atividades humanas, atreladas a uma baixa eficiência das estruturas de tratamento de efluentes domésticos, comprometem a qualidade das águas da região (CBHMACAE, 2014).

Os efeitos das atividades humanas associados com as modificações estruturais na bacia configuram-se em ameaça à segurança hídrica da região, que vem apresentando um aumento na demanda hídrica e um decréscimo na sua capacidade de ofertar água em quantidade e qualidade necessárias aos usos atuais e pretendidos (CBHMACAE, 2014).

A Figura 13 apresenta a projeção de demanda em 2030 e os mananciais utilizados e alternativos, com as vazões aduzidas e vazões necessárias de ampliação.

RH	Sedes Municipais	Demanda (2010) l/s	Demanda (2030) l/s	Mananciais utilizados e vazão aduzida dos atuais sistemas	Necessidade de ampliação	Mananciais alternativos
VIII	Rio das Ostras	345,05	609,03	Rio Macaé - 370 l/s	Imediata - 250 l/s	Rio Macaé
	Macaé	691,22	1.175,73	Rio Macaé - 600 l/s Nascentes do Atalaia e do Mato Roçado - 10 l/s	Imediata - 600 l/s	Rio Macaé

Figura 13 – Demandas Hídricas e Mananciais de Abastecimento Público por Sedes Municipais e Regiões Hidrográficas.
Fonte: CBHMACAE (2014).

Este aumento de disponibilidade hídrica é relevante para atendimento das demandas hídricas atuais e de cenários futuros, constituindo uma das alternativas para suprimento do trecho da Severina do Rio Macaé (montante da BR 101), que concentra grandes usuários, e já apresenta criticidade (CBHMACAE, 2014).

O Relatório de Elaboração do Plano de Recursos Hídricos de 2014 mostra que os balanços hídricos na Região Hidrográfica Macaé e das Ostras apresentou que não há comprometimentos significativos das disponibilidades de água para suprimento às demandas. Com exceção notável ocorre na região Severina localizada a montante da confluência (CBHMACAE, 2014).

Em 2012 este trecho já concentrava várias captações para abastecimento público (CEDAE), industrial (Petrobras) e para termelétricas, com comprometimento da vazão observada em sete dias consecutivos com dez anos de recorrência – Q7,10 na faixa de 60% a 80%, o que já restringiria a emissão de outorgas de direitos de uso de água (CBHMACAE, 2015).

O Balanço Hídrico Quantitativo do Rio Macaé estimou o uso da água nas Cenas 2017 a 2032. Nessas cenas do cenário considerou-se uma maior dinâmica econômica e, por isto, maior uso de água, onde podemos observar o agravamento das condições de balanço hídrico nos trechos que já foram apontados em 2012. Em 2022 o trecho do Rio Macaé denominado Severina atinge comprometimento na faixa de 80% a 100% da Q7,10 (CBHMACAE, 2015).

Em 2027, espera-se que o trecho da Severina esteja com um comprometimento superior a 100% da Q7,10, junto com o córrego Boa Vista, no alto Macaé, e com o trecho já indicado do rio das Ostras e do rio Imboassica. – Finalmente, para este cenário, na cena mais distante do ano 2032, a novidade é que o trecho final do Rio Macaé, incluindo o trecho da Severina, estaria com o comprometimento de suas disponibilidades em mais que 100%, sem a transposição do rio Macabu para o rio São Pedro. Com esta transposição, a situação deste trecho final ficaria na faixa de 60% a 80% da Q7,10. Na Figura 14, pode-se entender os comprometimentos da vazão Q7,10 nas cenas que remetem de 2012 à 2032 (CBHMACAE, 2015).

Curso de água	Trecho	Cenas				
		2012	2017	2022	2027	2032
		Percentuais de comprometimento da $Q_{7,10}$				
Rio das Ostras	Captação I5	60 a 80	80 a 100	> 100	> 100	> 100
	Trecho final	40 a 60	40 a 60	60 a 80	60 a 80	80 a 100
Rio Macaé	Da ponte do Baião até foz do rio Dantas	20 a 40	20 a 40	40 a 60	40 a 60	80 a 100
	Da foz do rio Dantas até foz do rio Purgatório	20 a 40	20 a 40	40 a 60	40 a 60	60 a 80
	Trecho médio da foz do rio Purgatório até a Severina	20 a 40	20 a 40	20 a 40	40 a 60	60 a 80
	Severina	60 a 80	60 a 80	80 a 100	> 100	>100
	Entre a afluência do rio São Pedro até foz, sem transposição do rio Macabu	40 a 60	40 a 60	60 a 80	80 a 100	>100
	Entre a afluência do rio São Pedro até foz, com transposição do rio Macabu	20 a 40	20 a 40	40 a 60	40 a 60	60 a 80
Rio Imboacica	Todo trecho	> 100	> 100	> 100	> 100	> 100
Bacia Alto Macaé	Córr. Sibéria	60 a 80	60 a 80	80 a 100	80 a 100	80 a 100
	Córr. Boa Vista	>100	>100	>100	>100	>100

Figura 14. Comprometimentos da vazão Q7,10 nos trechos fluviais mais critícos no cenário de desenvolvimento integrado/emergência e nas diferentes cenas.
Fonte: CBHMACAE (2016).

O comprometimento de vazão tem a situação agravada pelo grande número de captações de capacidade volumétrica considerável em um trecho menor, assim essa questão poderá acirrar o suprimento, pois há efeitos hidrodinâmicos (cones de depleção), não podendo esquecer dos hidrológicos que o modelo infere. Além disso, este trecho corre em planície e é região que ocorre depósitos de sedimentos, que enfrenta as práticas agropastoris que degradam o solo no trecho medial da bacia do Rio Macaé. Outra situação é o assoreamento presente que tem a capacidade de atrapalhar também o fornecimento das demandas (CBHMACAE, 2016).

Cabe enfatizar que o Relatório do Balanço Hídrico da Região Hidrográfica Macaé e das Ostras RD-06, de 2013 afirma que além da criticidade hidrológica existe neste trecho uma criticidade hidráulica: em uma pequena extensão fluvial são captados 1 m^3/s para abastecimento público, 1,31 m^3/s para abastecimento industrial e quase 0,4 m^3/s para arrefecimento das termelétricas resultando na retirada de 2,7 m^3/s. Mesmo considerando que o uso das termelétricas é não – consuntivo, retornando na maior parte para o trecho, esta retirada compromete mais da metade da vazão remanescente do Rio Macaé nesta região, considerando os usos a montante. A conjugação desses dois fatores, hidrológico e hidráulico, determinaram os problemas de abastecimento que já se prenunciam neste trecho (CBHMACAE, 2016).

Sendo assim, é preciso mais mecanismos para minimizar ou evitar problemas em relação ao abastecimento. De acordo com Tucci (2001) e Sousa (2009) que dissertam a respeito do método de "regionalizar" vazões que refere a um grande número de instrumentos que se apropriam da melhor forma possível das informações hidrológicas existentes, afim de, suprir a carência dessas informações, focando em obter variáveis hidrológicas que permitam estimar as vazões em regiões onde os dados fluviométricos sejam fracos de conteúdo ou até mesmo inexistentes. Para isso, a regionalização usa a transferência espacial de informações de um local com dados encontrados a outro onde as características físicas e climáticas sejam semelhantes.

> A ocorrência de fenômenos de déficit hídrico depende da variabilidade temporal da precipitação pluvial e, consequentemente, da vazão. Assim, o conhecimento dessa variabilidade se torna necessária para a previsão da quantidade hídrica disponível que pode estar abaixo do volume necessário para determinado uso, sendo fundamental para a gestão dos recursos hídricos (GASQUES *et al*, 2018).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho buscou avaliar as relações entre a demanda hídrica futura em consequência da instalação de novas usinas termelétricas e o atendimento ao abastecimento de água proporcionado pelo Rio Macaé, através da determinação hidrológica das vazões mínimas de estiagem, assim se pautando no cenário atual de crescimento desta demanda, analisando as condições para a instalação de novas termelétricas na região.

O processo de retomada, recuperação da economia e geração de emprego de Macaé promete grandes transformações, tendo como marco fundamental a construção de mais termelétricas na cidade a partir de 2021, porém ainda é necessário ter discussões claras sobre a real capacidade da Bacia Hidrográfica do rio Macáe, já que as vazões estimadas direcionarão os projetos, dimensionamentos e cenários para otimizar as usinas.

A justificativa deste trabalho remete a importância de entender, além dos aspectos ambientais, sociais e econômicos na Operação da Usinas Termoelétricas, a questão de água captada, no âmbito quantitativo, sem alterar a cota de captação pré-determinada pelo INEA. Utilizando de ferramentas proporcionadas pela hidrologia estatística, pretendeu se estimar as vazões de estiagem e, assim analisar as condições mais críticas de abastecimento considerando usuários atuais e futuros da Bacia Hidrográfica.

Foram utilizados modelos hidrológicos, sabido que os modelos hidrológicos apresentam a possibilidade de prever ou estimar, a resposta do sistema (uma bacia hidrográfica, uma seção de rio, um trecho do solo, um aqüífero, uma lagoa, etc) a diferentes contextos, tais como a existência de eventos extremos (precipitações de grande intensidade com elevado tempo de retorno), alterações do modo de usar o solo, contudo a enfâse deste trabalho foi utilizar métodos estátistico para encontrar vazões críticas em períodos de estiagem em meio aos cenários de planejamento e desenvolvimento regional. Para que pudesse ter sido realizado uma abordagem pertinente, foi fundamental o emprego de algumas ferramentas como:

a) Curva de Permanência: As vazões de permanência Q90 e Q95, que representam a probabilidade de 90% e 95%, respectivamente, das vazões serem igualadas ou superadas no tempo, essas vazões locais foram encontradas a partir da curva de permanência e costumam ser utilizadas para o planejamento dos recursos hídricos da bacia hidrográfica, determinando as vazões possíveis de outorga do Rio Macaé e seu remanescente ecológico.
b) Cálculos das Q7 anuais: Foram utilizadas todas as séries históricas de 1951 até

2019 através da manipulação de dados, utilizou-se dessas séries históricas de uma estação fluviométrica disponível no Rio Macaé e foram encontrados as vazões no qual se encontram os mínimos das médias móveis de sete dias de duração.

c) Método de Gumbel: Para obtenção da estiagem com o tempo de recorrência de 10 anos, considerada como referência no planejamento de recursos hídricos, foi utilizado o método de Gumbel com as vazões mínimas de 7 dias. Os valores de Q7,10 foram estimados por meio da distribuição de Gumbel para mínimos. A vazão média mínima anual de 7 dias consecutivos e período de retorno de 10 anos, a Q7,10, é um parâmetro hidrológico normalmente usado em estudos de planejamento e gestão da utilização dos recursos hídricos.

d) Regionalização de vazões: O trecho urbano de captação do rio Macáe não dispunha de estação fluviométrica com extensão de série de dados medidos, portanto a análise hidrológica foi realizada em uma estação mais montate e, através da técnica de regionalização de vazões, o comportamento encontrado foi transposto para o trecho do rio de interesse.

Um aspecto essencial, se permeou em relacionar as estimativas dos consumos de termelétricas através de dados reais e/ou parametrizações via potência declarada da usina futura em asssociação a outros usos do rio na região, seja para abastecimentos urbanos para as cidades de Macáe, Rio das Ostras que englobam atividades principais que são as empresariais, agropecuárias e industriais. Posteriormente, foi avaliado o possível atendimento do consumo nas situações mais críticas, usando um quadro de resumo das finalidades de uso da água x vazão, após os resultados obtidos pelos modelos.

3.1 LOCAL DE ESTUDO – BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MACAÉ

O Rio Macaé nasce a 1.560 metros de altitude, próximo ao Pico do Tinguá em Nova Friburgo/RJ e, após cerca de 136 Km, desagua na cidade que deu origem ao seu nome. Seus principais afluentes são: rio Bonito, Purgatório, Teimoso, Sana, Atalaia, São Pedro e Jurumirim. A bacia do Rio Macaé é uma das principais bacias hidrográficas do estado do Rio de Janeiro, com área de drenagem de 1.765 km^2. Abrange os municípios de Macaé, Nova Friburgo, Casimiro de Abreu, Conceição de Macabu, Rio das Ostras e Carapebus. Sua vazão média, próximo à foz, é de 30 m^3/s (COSTA, 2008).

O local de estudo deste trabalho será o baixo curso da bacia do Rio Macaé, na parte mais plana da bacia (Figura 15).

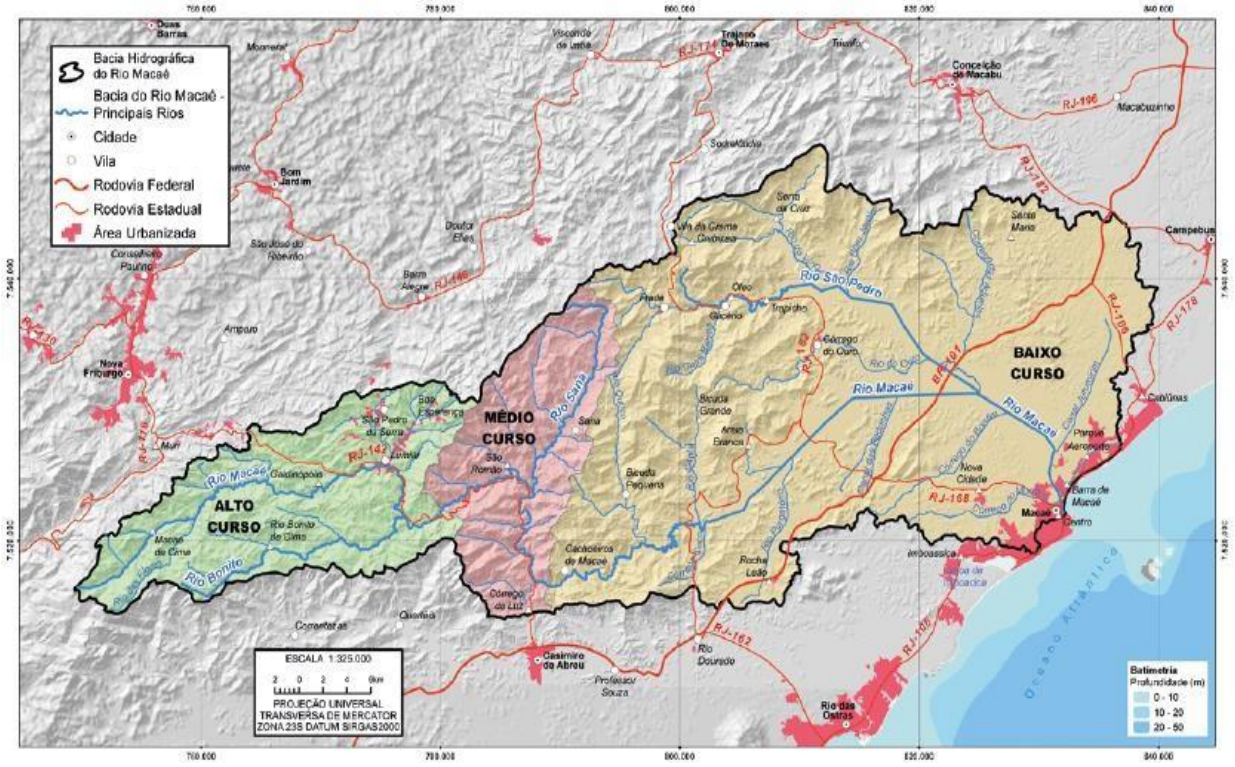


Figura 15. Mapa de compartimentação da bacia hidrográfica do Rio Macaé.
Fonte: Freitas (2015).

O Rio Macaé possui seus cursos superior e médio articulados de forma tortuosa, sobre leito repleto de rochas, de forma irregular, com extensão de cerca de 72 km e apresentando um desnível de aproximadamente 1.350 m até englobar as partes mais baixas. Em relação ao curso inferior do Rio Macaé, que passou por obras de correção e ampliação de calha, esse tem leito arenoso, com margens próximas ao nível médio das águas. O trecho restaurado no baixo curso se prolonga por uma distância próxima de 40 km, todavia as suas curvas e meandros originais são raras, drenando as áreas sujeitas a alagamento, que em tempos passados propiciaram a origem da localidade Brejo da Severina que desagua diretamente no mar (FREITAS, 2015).

Os diversos tipos de relevo da bacia do Rio Macaé é uma característica que contribue para ter os vários "climas'' com volumes de chuva heterogêneos, se encontrando as maiores concentrações situadas nas áreas com topografia mais elevada, rodeada de serras. (FREITAS, 2015). A Figura 16 mostra a média anual de chuvas na bacia do rio Macáe.

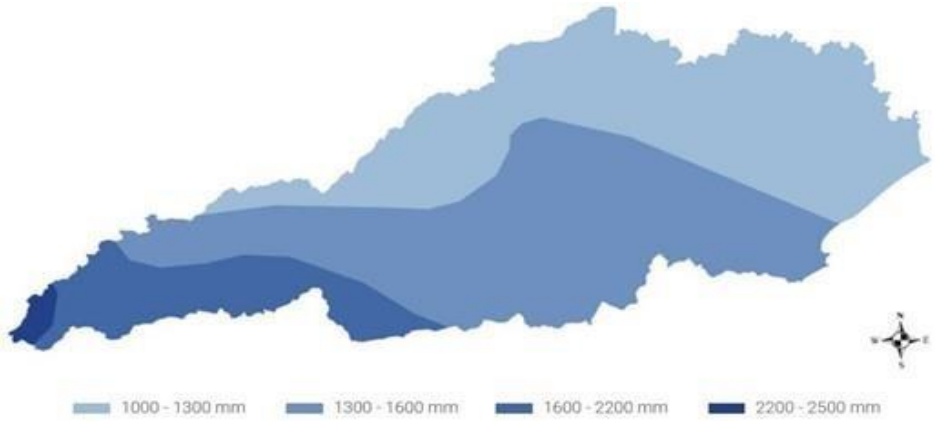


Figura 16. Média de pluviosidade anual na bacia do Rio Macaé.
Fonte: Relatório de Impacto Ambiental Usina Termoelétrica Nossa Senhora de Fátima.

No período de verão, dezembro a fevereiro, a quantidade de chuva é bastante elevada, apresentando valores médios mensais da ordem de 240 mm (FREITAS, 2015).

O Rio Macaé, tem uma importância fundamental como manancial de abastecimento, pois interfere no desenvolvimento socioeconômico do Estado do Rio de Janeiro. Na parte baixa do Rio Macaé, em um estiramento fluvial de somente 1,5 km de extensão, nas proximidades da BR-101 se encontram vários canais de água de grandes volumes. Grande parcela do consumo de água superficial na bacia do Rio Macaé está inserida na sub-bacia do baixo Rio Macaé. Esse fato têm relação implícita com a grande concentração populacional nesta fração da bacia (FREITAS, 2015).

Claramente, os núcleos municipais de rio das Ostras e Macaé e parte da sede municipal de Casimiro de Abreu, se localizam nessa área que engloba 95% da população urbana da bacia (FSMA, 2008).

O rio Macáe vem sendo depletado em todos os âmbitos, seja na qualidade da água ou no esgotamento das matas ciliares. Seu histórico de deterioração se iniciou no apogeu da produção cafeira e canavieira e perpetuou até a década de 70, com a reparação dos rios, pecuária, captação de água para irrigação, incremento da densidade populacional e truticultura (criação de trutas). Após esse período, para intensificar a problemática da situação, ocorreu um crescimento urbano desenfreado, aumento do turismo e captação de água para abastecimento urbano e industrial (FREITAS, 2015).

A bacia do estudo comporta mais de um canal de transposição, de uma maneira, diferenciada das demais bacias hidrográficas, pois o Rio Macaé obtém águas de regiões que não fazem parte de sua bacia (FREITAS, 2015).

A transposição do rio Macabu para o rio São Pedro, afluente do Rio Macaé, além de aumentar a oferta de água para o abastecimento da cidade de Macaé, ainda possibilita a geração de energia elétrica a partir da queda da água que desce em direção ao rio São Pedro por meio de uma adutora. Isto é feito com o objetivo de auxiliar no abastecimento d a cidade de Macaé (FREITAS, 2015).

3.2 DETERMINAÇÃO DAS VAZÕES Q7,10 APÓS O ENTENDIMENTO DOS CENÁRIOS DE ESTIAGEM DO RIO MACAÉ

O foco deste trabalho é verificar a vazão mínima extrema do Rio Macaé e seu comprometimento com o aumento de instalações de termelétricas na região. Para a determinação das vazões mínimas foram utilizadas para o cenário de estiagem do rio Macáe: a curva de permanência que englobam a Q90 ou Q95 e a determinação da Q7,10 através do método de Gumbel. Antes, foi realizado o cálcudo da Q7 que se trata da manipulação da séria histórica, já que produz uma nova séria de dados com as vazões mínimas de 7 dias, se assemelhando quase a um processo estocástico.

A partir dos valores encontrados, os mesmos serão comparados com os cenários projetados no último Relatório de Balanço Hídrico da Região Hidrográfica Macaé e das Ostras (RD-06 de 2013) elaborado pelo INEA (CBHMACAE, 2013).

A distribuição a ser usada é também conhecida como método de eventos extremos e foi desenvolvido por Emil Julius Gumbel. O potencial de aplicabilidade da distribuição Gumbel deve-se ao fato dessa distribuição modelar tanto a distribuição do máximo quanto a distribuição do mínimo de uma variável aleatória, embora a forma assintótica limite dessas distribuições sejam diferentes.

É aplicada a métodos extremos, em séries diárias e mensais. “Quando for de interesse estudar os valores mínimos prováveis de um fenômeno, a série deverá conter os valores mínimos de cada ano, ordenados de forma crescente; este é o caso das vazões mínimas” (CBHMACAE, 2013).

A distribuição de Gumbel para valores mínimos consiste em representar a parte inferior de uma determinada distribuição de dados e trata dos valores mínimos menos frequentes.

A ideia inicial era a utilização dos dados fluviométricos da estação 59139000 – Severina (montante da BR 101), que concentra o uso de água por contas das termelétricas EDF Norte Fluminense e Mário Lago. Este trecho possui uma área de drenagem de 952 km^2 de acordo com informação coletada Estudo Hidrológico de vazões máximas na bacia do Rio Macaé (Figura

17).

Porém, pelo fato da estação Severina não possuir dados fluviométricos tão densos, com uma reduzida série histórica, a que melhor atende aos objetivos deste trabalho é a estação Galdinópolis, localizada a montante da estação Severina, com dados mais completos e série hidrológica dos anos de 1951 até 2019. Dessa forma, a calibração do modelo baseou-se na estação fluviométrica 59125000 – Galdinópolis, com área de drenagem de 101 km² com características geológicas diferentes nos trechos do médio e baixo curso do rio Macáe. Da nascente à estação de Galdinópolis, o fundo do Rio Macaé é predominantemente rochoso, com calhas notadamente bem encaixadas e declividades da ordem de 10 $m.km^{-1}$, enquanto o baixo curso é uma grande área de planície com canais secundários, fundo predominantemente arenoso e declividade inferior a 1 $m.km^{-1}$ (BARBOZA, 2013).

Figura 17. UTE's EDF Norte Fluminense e Mário Lago e a Estação Severina.
Fonte: Hidroweb e Google maps.

A estação Galdinópolis está situada na cabeceira do Rio Macaé pouco a montante da confluência do rio Bonito e possui a série mais longa de dados diários consistidos (período compreendido entre os anos 1950 a 2020). Os dados coletados foram totalizados em 69 anos com 12 meses completos em cada ano, durante o período de 1951 a 2019, equivalente a 816 meses. Os anos restantes que complementam a série histórica foram retirados por apresentarem séries incompletas ou inconsistentes.

O conhecimento de vazões mínimas é muito importante para a fixação de vazões de captação direta de um rio visando o abastecimento de água para populações e indústrias, a determinação das áreas irrigáveis para cultivo de produtos agrícolas do tempo de seca e outras finalidades (BARBOZA, 2013).

Na planilha de vazões, fornecida pelo Sistema HIDRO - Telemetria, foi possível obter as séries de vazões diárias, que foram convertidas em séries de vazões mínimas mensais, cujos valores são apresentados nas Tabelas 2 e 3 e 4.

Tabela 2 – Vazões Mínimas Mensais em Galdinópolis no período de 2000 à 2020.

	2020	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012	2011	2010	2009	2008	2007	2006	2005	2004	2003	2002	2001	2000
Dez		2,812	2,718	1,874	4,914	2,157	2,226	4,145	2,137	2,725	3,74	5,357	3,74	1,942	4,117	3,256	3,36	3,464	1,942	1,616	3,256
Nov		1,259	2,812	1,084	1,58	1,452	1,557	1,798	1,331	1,596	1,836	3,633	1,755	1,24	1,942	2,662	1,942	1,776	1,312	1,033	1,616
Out		1,141	1,385		1,644	1,207	1,557	1,716	1,331	1,519	1,444	1,919	1,675	1,033	1,616	1,538	1,859	1,461	1,033	1,033	1,616
Set		1,199	1,385		1,58	1,452	1,716	1,405	1,48	1,519	1,675	1,919	1,675	1,24	1,538	1,859	1,776	1,312	1,386	1,033	1,942
Ago		1,516	1,654		1,388	1,717	2,226	1,965	1,798	1,836	1,836	2,003	1,836	1,538	1,695	2,028	2,474	1,386	1,312	1,17	1,58
Jul		1,799	1,762	2,336	1,649	2,157	2,592	2,499	2,05	2,176	2,444	2,537	2,176	2,028	2,028	2,474	2,568	1,538	1,695	1,538	1,58
Jun		2,233	2,447	2,447	2,08	1,56	2,592	2,687	2,499	2,725	2,918	3,017	2,821	2,662	2,758	2,954	2,758	1,695	2,114	1,776	1,805
Mai		2,718	3,413	3,105	2,477	2,644	3,387	3,387	2,98	3,423	3,319	3,527	3,633	3,256	3,57	3,786	3,895	2,292	2,662	2,292	2,369
Abr		3,155	4,745	3,737	2,996	3,087	3,181	4,033	3,387	4,18	4,637	4,521	5,357	3,256	3,677	5,053	5,053	2,855	2,954	2,862	3,356
Mar		3,104	6,323	4,195	4,071	2,644	2,226	3,387	3,491	4,873	4,873	4,637	5,481	3,895	3,36	7,133	4,576	3,36	3,677	3,053	3,843
Fev		2,672	4,314	3,105	3,465	1,859	2,315	3,491	4,372	3,527	3,116	6,776	5,986	5,298	3,57	7,552	5,547	3,895	4,576	3,154	4,457
Jan	3,737	3,205	3,205	3,519	2,157	1,787	2,881	2,05	4,292	4,873	4,068	4,873	3,116	5,298	3,786	5,547	6,059	5,801	2,855	3,895	4,353
	1999	1998	1997	1996	1995	1994	1993	1992	1991	1990	1989	1988	1987	1986	1985	1984	1983	1982	1981	1980	1979
Dez	2,893	2,714	2,121	3,168	2,448	2,355	1,221	5,263	2,088	2,176	2,002	2,825	1,753	1,672	2,264	2,539	4,256	2,216	2,725	5,109	2,638
Nov	1,366	2,539	1,436	1,58	2,176	1,44	1,221	2,446	1,672	2,264	1,672	2,088	1,151	1,221	1,593	1,182	3,752	1,745	1,384	1,897	1,897
Out	1,162	2,202	1,097	1,58	1,593	1,292	1,292	2,088	1,918	1,672	1,834	1,365	1,292	1,292	1,292	1,054	3,271	1,82	1,384	1,248	1,525
Set	1,162	1,436	1,296	1,436	1,151	1,365	1,292	1,221	1,753	1,672	1,672	1,292	1,44	1,292	1,44	1,315	1,897	1,745	1,384	1,182	1,729
Ago	1,436	1,507	1,436	1,436	1,221	1,753	1,365	1,221	1,672	1,753	1,918	1,593	1,593	1,516	1,516	1,454	1,897	1,975	1,67	1,315	1,805
Jul	1,882	1,882	1,729	1,729	1,593	2,264	1,834	1,365	2,264	2,088	2,446	2,264	1,918	1,753	2,002	1,597	2,551	1,975	1,975	1,315	2,121
Jun	2,285	2,369	2,202	2,121	1,918	2,923	2,355	1,516	2,923	2,264	3,123	2,729	2,825	2,002	2,539	2,054	3,365	2,638	2,298	1,67	2,285
Mai	2,714	2,626	2,714	2,539	2,176	4,084	3,123	1,834	3,328	3,023	3,753	3,432	3,225	2,729	3,328	2,813	3,461	3,752	3,365	1,897	3,075
Abr	3,744	3,452	3,168	3,262	2,446	6,024	3,432	2,088	4,425	3,123	4,542	3,225	3,862	3,328	4,897	4,256	4,256	6,614	4,154	2,551	5,102
Mar	2,803	4,045	4,249	3,753	3,023	2,825	3,328	2,355	4,196	2,002	4,425	3,753	3,753	3,753	6,419	2,725	3,365	8,111	4,36	2,638	8,103
Fev	3,168	3,262	3,549	3,753	4,31	2,633	3,023	3,432	6,155	1,918	4,084	2,633	4,196	3,753	7,238	2,725	3,951	3,365	4,999	5,219	8,406
Jan	3,843	2,539	5,889	3,753	3,023	3,645	4,196	3,972	2,923	2,176	4,659	2,446	3,753	3,753	5,894	3,752	5,442	6,249	5,442	5,219	2,984

Fonte: SNIRH (2020).

Tabela 3 – Vazões Mínimas Mensais em Galdinópolis no período de 1978 à 1958.

	1978	1977	1976	1975	1974	1973	1972	1971	1970	1969	1968	1967	1966	1965	1964	1963	1962	1961	1960	1959	1958
Dez	2,121	3,744	2,984	2,369	1,507	3,168	3,426	6,121	2,091	3,531	1,963	1,963	3,384	3,701	3,384	0,771	2,319	1,8	2,788	2,984	3,084
Nov	1,366	1,366	2,626	2,04	1,229	2,893	2,356	3,531	2,091	2,539	1,556	1,479	2,59	2,313	2,313	0,893	2,229	1,189	1,719	2,41	1,8
Out	1,097	1,162	1,58	1,436	1,162	1,654	1,677	2,266	1,298	1,227	1,714	1,403	1,635	1,714	1,556	0,771	1,483	1,26	1,483	1,26	1,407
Set	1,162	1,162	1,507	1,229	1,033	1,507	1,298	2,178	1,022	1,227	1,796	1,796	1,403	1,556	1,556	0,831	1,483	1,483	1,8	1,58	1,56
Ago	1,58	1,296	1,507	1,436	1,229	1,654	1,598	1,298	1,022	1,521	1,879	2,048	1,796	1,714	1,879	1,087	1,56	1,883	1,968	1,8	1,639
Jul	1,729	1,507	1,58	1,882	1,58	1,805	1,757		1,227	1,838	1,963	2,404	2,048	2,135	2,496	1,369	1,968	2,319	2,141	1,8	2,141
Jun	1,961	2,04	1,805	2,369	2,202	2,447	2,091		1,298	2,178	2,224	2,685	2,496	2,685	2,313	1,675	2,319	3,084	2,319	2,229	2,788
Mai	2,714	2,454	2,285	2,714	2,714	3,323	3,02		1,521	2,824	2,878	3,488	3,594	3,28	2,878	2,003	2,885	3,819	3,084	2,691	3,186
Abr	3,168	2,893	2,626	2,984	3,452	3,531	3,852		1,838	3,744	4,835	5,197	4,6	4,03	4,141	2,264	3,392	4,967	4,152	3,392	2,788
Mar	3,452	2,539	2,893	3,075	2,803	4,072	4,997	3,426	2,178	3,637	7,288	6,341	2,878	4,835	4,03	3,288	4,379	6,357	7,03	3,288	2,596
Fev	4,884	3,075	3,452	3,843	3,168	5,24	3,531	1,598	2,728	3,637	3,488	6,876	3,488	7,994	3,809	3,497	6,758	8,305	4,967	2,141	2,885
Jan	5,776	4,045	2,714	4,884	4,249	4,297	4,184	1,757	3,637	2,356	7,709	6,473	6,341	6,21	2,003	3,288	2,41	5,333	3,497	3,392	3,497

Fonte: SNIRH (2020).

Tabela 4 – Vazões Mínimas Mensais em Galdinópolis no período de 1957 à 1950.

	1957	1956	1955	1954	1953	1952	1951	1950
Dez	2,229	2,141	1,968	1,051	2,503	3,084	1,051	2,054
Nov	1,407	1,56	0,971	1,119	1,333	2,141	0,795	1,407
Out	1,407	1,333	0,625	1,26	1,26	1,883	1,189	1,26
Set	1,483	1,407	0,625	1,333	1,407	1,968	1,26	1,333
Ago	1,407	1,719	0,791	1,407	1,56	2,141	1,56	
Jul	2,054	1,8	1,033	1,719	1,8	2,229	2,054	
Jun	2,41	2,141	1,366	2,054	2,319	2,41	2,41	
Mai	3,084	2,503	1,507	2,691	3,186	2,984	3,084	
Abr	3,288	2,319	1,507	2,229	3,186	4,04	4,847	
Mar	2,984	2,319	1,162	1,8	2,984	5,21	5,583	
Fev	3,186	2,319	1,654	2,054	3,084	6,758	3,392	
Jan	2,229	2,984	1,883	2,319	2,984	3,392	2,229	

Fonte: SNIRH (2020).

Obtida a série de vazões diárias no ponto estratégico da bacia, foi determinada as vazões mínimas a cada 7 dias e depois a menor série de 7 dias para cada ano. Após determinação destas séries, realizou-se um ajuste estatístico da distribuição de frequências de vazões mínimas pela distribuição de Gumbel e calcularam-se as vazões mínimas de referência para o ponto da estação Galdinópolis.

A distribuição de Gumbel para valores mínimos consiste em representar a parte inferior de uma determinada distribuição de dados e trata dos valores mínimos menos frequentes com a finalidade de se obter a vazão mínima com duração de 7 dias para o período de recorrência de 10 anos (Q7,10).

Com isto realizou-se o método de Gumbel com o interesse de estudar os valores mínimos prováveis de vazão no Rio Macaé, ou seja, foi feito o ajuste de pontos de raridade do evento com frequência de 10 em 10 anos (Q7,10) (PINTO *et al*, 1976). Gumbel (1958) demonstrou que:

$$P = 1 - e^{-e^{-b}} \quad \text{, sendo} \quad b = \frac{1}{0{,}7797\sigma}(X - \overline{X} + 0{,}45\sigma),$$

onde P é a probabilidade de a mínima vazão medida, de dada duração, ser maior ou igual a x. A média e o desvio padrão desta amostra são calculadas por:

$$\overline{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i}{n}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (X_i - \overline{X})^2}{n-1}}.$$

Período de retorno ou recorrência, Tr, de uma variável X, define-se como o número de anos que deve, em média, decorrer para que o valor dessa variável ocorra ou seja superado.

$$T_r = \frac{1}{P}$$

3.3 REGIONALIZAÇÃO DAS VAZÕES MÍNIMAS

A fim de uma estimativa das vazões mínimas a partir da curva de permanência, diversas metodologias têm sido desenvolvidas. Dentre as alternativas disponíveis, a regionalização de vazões vem sendo amplamente utilizada.

Quando se aborda a regionalização de vazões naturais usando o método tradicional de geração de regiões hidrologicamente homogêneas e regressões regionais nota se que essaS regressões regionais apresentam limitações relevantes quando os dados hidrométricos disponíveis são escassos, em uma dada bacia (CHAVES, 2002). Comumente, este é o caso de diversas bacias hidrográficas brasileiras, na qual a precisão deste tipo de regionalização acaba sendo seriamente comprometida, se tal método for usado.

> No entanto, os dados necessários para a estimativa de vazões nem sempre estão disponíveis. Diante da ausência desses dados e da dificuldade em prever a variabilidade, utiliza- se da técnica de regionalização, a qual visa transferir as informações hidrológicas de uma região com dados para outra com ausência de dados. Esta técnica vem sendo adotada como forma de suprir a carência de informações hidrológicas a partir da transferência de variáveis, funções ou parâmetros de um local a outro inserido em uma área com comportamento hidrológico semelhante (GASQUES et al, 2018).

Para a elaboração da equação de regionalização de vazões máximas, esse estudo analisou a série de vazões da estação fluviométrica Galdinópolis com dados disponíveis no sistema

SNIRH da ANA, uma vez que a estação Severina, mais próxima de onde é captada a água para as termelétricas, não possui uma completa série de dados para ser feito o estudo.

Esta estação possui área de drenagem de apenas 100km² com características diferentes do médio e baixo curso do Rio Macaé aonde fica a estação Severina que abrange quase 1000km² da bacia do Rio Macaé e estão distantes uma da outra cerca de 100 km.

Como o rio na região de Severina recebe maior contribuição em relação à região de Galdinópolis , aproximadamente quase 9 vezes, poderia ser constatada que a estiagem não seria tão severa neste ponto ou que a análise somente na estação muito à montante não é tão representativa (CBHMACAE, 2014).

Partindo desta afirmativa, este estudo propõe uma ferramenta além da Q7,10 para nalisar a região de Galdinópolis a fim de transpor esta estiagem estatística mais para a estação à jusante.

Da nascente à estação de Galdinópolis, o fundo do Rio Macaé é predominantemente rochoso, com calhas notadamente bem encaixadas e declividades da ordem de 10 $m.km^{-1}$, enquanto o baixo curso é uma grande área de planície com canais secundários, fundo predominantemente arenoso e declividade inferior a 1 $m.km^{-1}$ (BARBOZA, 2014).

A fim de realizar a transposição de vazões na região da estação Galdinóplis para outro ponto ao longo do rio (Estação Severina), será utilizado o modelo descrito no Relatório-síntese do trabalho de Regionalização de Vazões da Sub-bacia 59 da CRPMR levando-se em consideração as estatísticas resultantes.

3.4 CURVA DE PERMANÊNCIA

Pode-se inferir que a curva de permanência é nos dias atuais o instrumento mais empregado para se designar as disponibilidades hídricas em uma bacia, essencialmente em prol da sua expressão em relação aos períodos que existem estiagens (CRUZ, 2001).

A curva de permanência é considerado como o fluxo de um rio que ocorre em épocas mais secas, podendo ser definida a partir da curva de permanência das vazões (SOUSA, 2009). Bellettini (2019) diz que “as vazões mínimas servem de referência, pois possuem a condição de alta garantia no manancial. Então, devido a essa condição, são realizados os estudos de uso da água para que, quando as vazões mínimas ocorram, os usos prioritários sejam mantidos.”

Não é válido afirmar que a permanência reflete à probabilidade das vazões em um ano aleatório, porém pode ser compreendida como uma “comprovação” ou probabilidade de acontecimentos das vazões num panorama de planejamento, embora a estatística utilize das vazões interdependentes.

Para este estudo, a curva de permanência foi obtida relacionando a vazão mínima da série histórica com a probabilidade da mesma ser excedida ou superada. Os valores foram agrupados em classes, e o número de valores que se situam em cada classe, registrado (frequência). Acumulando-se as frequências e lançando-as em um gráfico de correspondência obtém-se a Curva de Permanência das vazões, Tabela 6, que nada mais é que a curva acumulativa de frequência da série temporal das vazões observando-se os limites inferiores de cada classe. O somatório das frequências é expresso em termos de percentagem de tempo.

4. RESULTADOS

Na Tabela 5, são mostradas as vazões diárias mínimas obtidas no intervalo de 7 dias utilizando o método de Gumbel e o cálculo de Tr.

Tabela 5 – Vazões diárias mínimas no intervalo de 7 dias.

Qmin,7dias	Ano	b	e^(-b)	P	TR	Qmin7/Qmin,med
1,141	2019	-0,4083	0,6656	0,4850	2,1	0,9
1,385	2018	0,7988	2,2174	0,8904	1,1	1,0
1,084	2017	-0,6903	0,5025	0,3941	2,5	0,8
1,388	2016	0,8136	2,2504	0,8939	1,1	1,0
1,207	2015	-0,0818	0,9217	0,6010	1,7	0,9
1,557	2014	1,6496	5,1789	0,9943	1,0	1,2
1,405	2013	0,8977	2,4472	0,9128	1,1	1,0
1,331	2012	0,5316	1,6989	0,8162	1,2	1,0
1,519	2011	1,4616	4,2938	0,9862	1,0	1,1
1,444	2010	1,0906	2,9662	0,9480	1,1	1,1
1,919	2009	3,4404	30,8741	1,0000	1,0	1,4
1,675	2008	2,2334	9,2678	0,9999	1,0	1,2
1,033	2007	-0,9426	0,3907	0,3226	3,1	0,8
1,538	2006	1,5556	4,7157	0,9909	1,0	1,1
1,538	2005	1,5556	4,7157	0,9909	1,0	1,1
1,776	2004	2,7330	15,2513	1,0000	1,0	1,3
1,312	2003	0,4376	1,5470	0,7861	1,3	1,0
1,033	2002	-0,9426	0,3907	0,3226	3,1	0,8
1,033	2001	-0,9426	0,3907	0,3226	3,1	0,8
1,58	2000	1,7634	5,8010	0,9969	1,0	1,2
1,162	1999	-0,3044	0,7382	0,5210	1,9	0,9
1,436	1998	1,0510	2,8515	0,9417	1,1	1,1
1,097	1997	-0,6260	0,5358	0,4138	2,4	0,8
1,436	1996	1,0510	2,8515	0,9417	1,1	1,1
1,151	1995	-0,3588	0,6993	0,5020	2,0	0,9
1,292	1994	0,3387	1,4017	0,7528	1,3	1,0
1,221	1993	-0,0125	0,9876	0,6264	1,6	0,9
1,221	1992	-0,0125	0,9876	0,6264	1,6	0,9

1,672	1991	2,2185	9,1317	0,9999	1,0	1,2
1,672	1990	2,2185	9,1317	0,9999	1,0	1,2
1,672	1989	2,2185	9,1317	0,9999	1,0	1,2
1,292	1988	0,3387	1,4017	0,7528	1,3	1,0
1,151	1987	-0,3588	0,6993	0,5020	2,0	0,9
1,221	1986	-0,0125	0,9876	0,6264	1,6	0,9
1,292	1985	0,3387	1,4017	0,7528	1,3	1,0
1,054	1984	-0,8387	0,4334	0,3508	2,9	0,8
1,897	1983	3,3316	27,6996	1,0000	1,0	1,4
1,745	1982	2,5796	13,0891	1,0000	1,0	1,3
1,384	1981	0,7938	2,2064	0,8892	1,1	1,0
1,182	1980	-0,2055	0,8148	0,5562	1,8	0,9
1,525	1979	1,4913	4,4228	0,9878	1,0	1,1
1,097	1978	-0,6260	0,5358	0,4138	2,4	0,8
1,162	1977	-0,3044	0,7382	0,5210	1,9	0,9
1,507	1976	1,4023	4,0471	0,9823	1,0	1,1
1,229	1975	0,0270	1,0273	0,6409	1,6	0,9
1,033	1974	-0,9426	0,3907	0,3226	3,1	0,8
1,507	1973	1,4023	4,0471	0,9823	1,0	1,1
1,298	1972	0,3684	1,4438	0,7629	1,3	1,0
1,298	1971	0,3684	1,4438	0,7629	1,3	1,0
1,022	1970	-0,9970	0,3701	0,3086	3,2	0,8
1,227	1969	0,0171	1,0172	0,6373	1,6	0,9
1,556	1968	1,6447	5,1534	0,9941	1,0	1,2
1,403	1967	0,8878	2,4232	0,9107	1,1	1,0
1,403	1966	0,8878	2,4232	0,9107	1,1	1,0
1,556	1965	1,6447	5,1534	0,9941	1,0	1,2
1,556	1964	1,6447	5,1534	0,9941	1,0	1,2
0,771	1963	-2,2387	0,1073	0,1015	9,9	0,6
1,483	1962	1,2836	3,5953	0,9722	1,0	1,1
1,189	1961	-0,1708	0,8434	0,5686	1,8	0,9
1,483	1960	1,2836	3,5953	0,9722	1,0	1,1
1,26	1959	0,1804	1,1970	0,6968	1,4	0,9
1,407	1958	0,9076	2,4715	0,9149	1,1	1,0
1,407	1957	0,9076	2,4715	0,9149	1,1	1,0
1,333	1956	0,5415	1,7158	0,8192	1,2	1,0
0,625	1955	-2,9609	0,0522	0,0507	19,7	0,5
1,051	1954	-0,8535	0,4270	0,3467	2,9	0,8
1,26	1953	0,1804	1,1970	0,6968	1,4	0,9
1,883	1952	3,2623	25,8516	1,0000	1,0	1,4
0,795	1951	-2,1199	0,1208	0,1135	8,8	0,6

Fonte: Autora (2020).

Q média = 1,340 m³/s

Desvio padrão = 0,259 m³/s

Na tabela 5 , foi encontrado o Qmin7/Qmin7, med, ou seja, a vazão de estiagem de 7 dias de cada ano dividida pela média da série. Assim, foi comparado a estiagem de cada ano

com uma média histórica. Este adimensional será útil para a aplicação do método de regionalização de vazões.

A tabela 6, a seguir mostra a frequência acumulativa da série temporal das vazões para a estação de Galdinópolis.

Tabela 6 – Tabela de resultados de frequência acumulativa da série temporal das vazões para a estação de Galdinópolis.

Classes	Frequência Registros	Frequência (%)	Freq. Acu (%)
0	305		100,00%
1,00 – 1,50 m³/s	946	5,40%	94,60%
1,50 – 2,00 m³/s	2755	15,23%	79,38%
2,00 – 2,50 m³/s	4426	14,06%	65,31%
2,50 – 3,00 m³/s	5725	10,93%	54,38%
3,00 – 4,00 m³/s	8094	19,94%	34,44%
4,00 –5,00 m³/s	9613	12,79%	21,66%
5,00 – 6,00 m³/s	10496	7,43%	14,22%
6,00 – 7,00 m³/s	11063	4,77%	9,45%
7,00 – 8,00 m³/s	11391	2,76%	6,69%
8,00 – 9,00 m³/s	11588	1,66%	5,03%
9,00 – 10,00 m³/s	11721	1,12%	3,91%
10,00 – 15,00 m³/s	12007	2,41%	1,51%
15,00 – 20,00 m³/s	12095	0,74%	0,77%
20,00 – 25,00 m³/s	12123	0,24%	0,53%
25,00 – 30,00 m³/s	12146	0,19%	0,34%
30,00 – 40,00 m³/s	12167	0,18%	0,16%
40,00 – 100,00 m³/s	12186	0,16%	0,00%

Fonte: Autora (2020).

4.1 CURVA DE PERMANÊNCIA

Utilizando os dados de vazão da estação fluviométrica de Galdinópolis que pertence a Agência Nacional de Águas (ANA) foi obtido a curva de permanência do Gráfico 1, podendo observar que em 20% do tempo tem-se que a vazão de 3 a 4m^3/s foi igualada ou ultrapassada durante o tempo de observação enquanto vazões acima de 15m^3/s tem a frequência quase nula, assim é possível estimar o percentual de tempo em que uma determinada vazão abstraída poderá ocorrer. Os dados coletados foram do período correspondente em 69 anos com 12 meses completos em cada ano, se perfazendo a 816 meses.

Com isto, é possível identificar não só a potencialidade natural das vazões mínimas da hidrografia em estudo, como também o grau de permanência de qualquer valor de vazão medida na estação Galdinópolis. Vale ressaltar que a curva de permanência serve também para encontrar as vazões críticas de estiagem Q90 e Q95. Por inspeção do gráfico, é visto que essa vazões possuem os valores de 1,7 m³/s e 1,4 m³/s respectivamente.

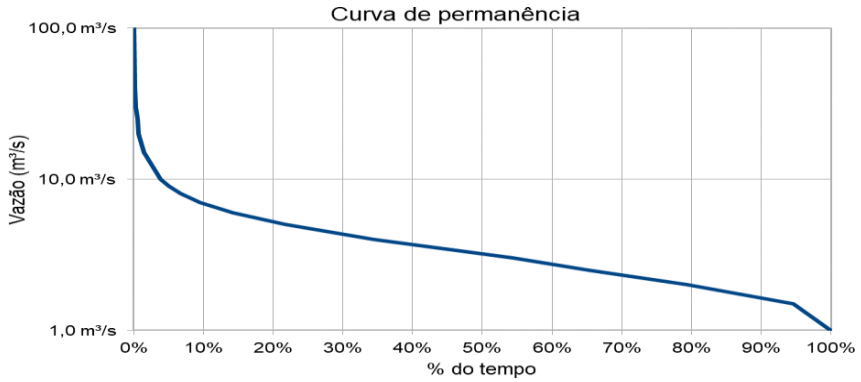


Gráfico 1 – Curva de permanência da estação de Galdinópolis do período de 1951-2019.
Fonte: Autora (2020).

4.2 DETERMINAÇÃO DA VAZÃO Q7,10.

Do total de 69 anos de dados de vazão na estação Galdinópolis, durante 41 anos a vazão Qmin7, encontrada usando o método de Gumbel, foi igual ou acima da média. A Tabela 5 mostra as vazões diárias mínimas no intervalo de 7 dias, sendo possível obter a mínima vazão durante o período em análise.

A partir dos cálculos e distribuição de frequência traçou-se um diagrama que representa os parâmetros mínimos de Gumbel para a série de dados, ou seja, o tempo de retorno para cada vazão mínima por ano, podendo ser visto no Gráfico 2.

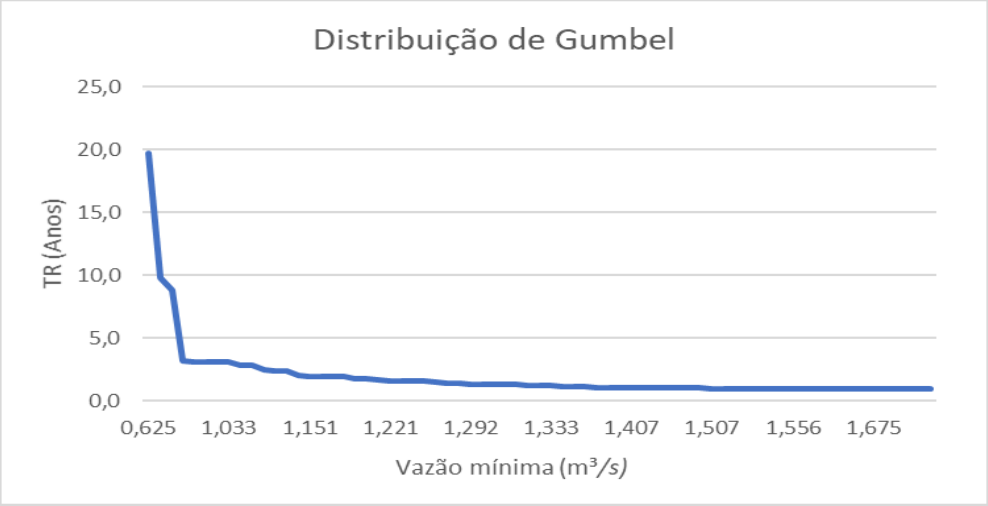


Gráfico 2 – Distribuição de Gumbel.
Fonte: Autora (2020).

É possível observar que a maior estiagem se deu no ano de 1955 (0,625 m³/s) com um tempo de recorrência de 19,7 anos e esta vazão significou 50% da vazão média histórica (Qmin7/Qmin/med).

A fim de estimar a vazão mínima de 7 dias de duração e 10 anos de tempo de recorrência, utilizando o método de Gumbel, sendo encontrado:

B	p	TR
-2,2585	0,0996	10,0

* Tr – Período de retorno de uma variável
* P - Probabilidade de a mínima vazão medida
* B - Parâmetro de forma

A Q7,10 encontrada foi 0,767 m³/s para a estação Galdinópolis. A Q7,10 demonstra a vazão mínima de 7 dias tão rara que possuí uma recorrência de 10 anos. A estação está muito a montante em relação de onde é a tomada de água pelas UTE's, por esta razão as vazões são bem pequenas e abrange apenas 100km^2 da bacia diferentemente da estação Severina que abrange quase 1000km^2 da bacia do Rio Macaé. Assim, utilizando a razão entre a vazão Q7, 10 e média histórica para Galdinópolis, que de 60% se torna possível fazer a transposição dessa relação para a estação de Severino.

4.3 REGIONALIZAÇÃO DAS VAZÕES MÍNIMAS

De acordo com a CPRM (2002), a equação de regionalização foi desenvolvida para achar apenas a média. Para a bacia do Rio Macaé o modelo sugerido é:

$$Q_{mín,d\text{-média}} = 0{,}0118\ A^{1{,}0168}\ d^{0{,}0860}$$

Onde,

- $Q_{mín,d\text{-média}}$ é a média das vazões mínimas anuais de cada duração em m^3/s d é a duração em dias.
- A é a área de drenagem em km^2 (Área de Severina = 952 km^2).

Logo, ao substituir em $Q_{mín,d\text{-média}} = 0{,}0118\ A^{1{,}0168}\ d^{0{,}0860}$ obtendo assim

$$Q_{mín,7\ dias\text{-média}} = 14{,}90\ m^3/s$$

Assim, ao comparar esta estiagem com a média histórica, verificou-se que a Q7,10 da estação Galdinópolis apresentou o resultado de 60% do valor da vazão média. Foi utilizado a mesma porcentagem para encontrar o valor a vazão Q7,10 para Severina, obtendo:

$$Q7{,}10\ Severina = 60\%\ de\ Q_{mín,7\ dias\text{-média}}\quad Q7{,}10\ Severina = 0{,}6 \times 14{,}90 = 8{,}94\ m^3/s$$

4.4 ANÁLISE DA OFERTA (RIO MACAÉ) X DEMANDA (TERMELÉTRICAS EM MACAÉ)

No ano de 2013, o Relatório do Balanço Hídrico da Região Hidrográfica Macaé e das Ostras RD-06 divulgado pelo INEA, afirmava que o trecho do Rio Macaé antes da foz do rio São Pedro, conhecido com Severina, concentrava várias captações para abastecimento público (CEDAE), industrial (Petrobras) e para termelétricas, com comprometimento da Q7,10 na faixa de 60% a 80%, o que pode restringir a emissão de outorgas de direitos de uso de água.

Com esta afirmativa, foi elaborado este estudo considerando dados da potência x vazão das UTEs em operação, da finalidade e da vazão da água para os municíos de Macaé e Rio das Ostras, do ano de 2019, afim de se estimar se a oferta de água pelo Rio Macaé atenderá a demanda de água pelas termelétricas que serão instaladas no município considerando também outros tipos de uso consuntivos de água com a preocupação de comprometimento que pode ser agravada pela concentração de várias captações de grande volume em um pequeno trecho, algo que poderá agravar o suprimento.

Foi levado em consideração as outras categorias de usos da água (abastecimento humano (urbano e rural), o abastecimento animal, a indústria e irrigação), além do uso para a termoeletricidade. O Quadro 1 resume a potência instalada e o uso consuntivo da água em termelétricas através da vazão outorgada das UTEs em operação totalizando 2,6 m^3/s de água demandada considerando a entrada das novas térmicas.

Para se estimar o futuro consumo das UTEs planejadas foi realizada uma parametrização na qual tomou se a potêncial nominal e a tecnologia de refrigeração para inferir o provável consumo dessas usinas.

Quadro 1 – Quadro resumo da potência x vazão das UTEs em operação.

Termelétricas	**Pot. Instalada (MW)**	**Q outorga (m^3/s)***
Mario Lago	923	0,09
EDF-NF	823	0,20
N.S. de Fatima	1355	0,30
Marlim Azul	565	0,44
Jaci	330	0,05
Tupã	1850	0,51
UTE Nova A	565	0,44
UTE Nova B	565	0,44
TOTAL		2,47

Fonte: Autora (2020).

Obs: ***** Vazão outorga calculada pelas UTEs em operação.
* UTE Nova A e B são as termelétricas planejadas.

Quanto ao abastecimento humano e rural, mostrado no Quadro 2, dados sobre a captação dos mananciais de abastecimento público dos municípios de Macaé e Rio das Ostras que retiram água do Rio Macaé. Esses dados foram obtidos no Plano Estadual de

Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro em preveem uma necessidade de ampliação, totalizando 1,82m^3/s.

Quadro 2 – Quadro resumo Município x vazão.

Município	l/s (Atual)	m^3/s (Atual)	l/s (Ampliação)	m^3/s (Ampliação)
Rio das Ostras	370	0,37	250	0,25
Macaé	600	0,60	600	0,60
Total	970	0,97	850	0,85

Fonte: Autora (2020).

De acordo com os usos outorgados predominantes na Região Hídrica do Rio Macaé conforme mostrado no Quadro 1, é possível relacionar a finalidade e os usuários que serão vistos no Quadro 3:

Quadro 3 – Quadro resumo Finalidade de uso da água x vazão.

Finalidade	Usuários	Q outorga (m^3/s)
Abastecimento	20	1,82
Criação de animais	1	0,0004
Indústria	22	0,005
Irrigação	4	0,0002
Termelétrica	8	0,40
Total	55	2,23

Fonte: Autora (2020).

Porém, será utilizado o valor para abastecimento de 1,82 m^3/s considerando a ampliação descrita no Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro de 2014, conforme o Quadro 3.

Por fim, foi contabilizado o total da vazão demandada pelas termelétricas e outros usos:

$$Q_{demandada\ estimada} = 2{,}47\ m^3/s + 2{,}23\ m^3/s = 4{,}70\ m^3/s$$

Tem-se que a Q7,10 em Severina encontrada foi 8,94 m^3/s, ou seja, através da ferramenta de regionalização de vazões foi possível estimar a vazão mínima de sete dias de

duração com período de retorno de dez anos neste trecho do Rio Macaé.

A vazão de demanda total com a entrada das novas termelétricas chegaria a quase 50% da vazão crítica do Rio Macaé não havendo comprometimento do fornecimento de água de acordo com o estudo hidrológico estatístico realizado. Entretando, uma análise mais abrangente, envolvendo todo o diagnóstico da bacia hidrográfica, sua conservação e manutenção, é necessária para conclusões definitivas.

Na estação fluviométrica Galdinópolis, que abrange apenas 100 km^2 da bacia diferentemente da estação Severina que abrange quase 1000 km^2 da bacia do Rio Macaé, a curva de permanência mostrada no gráfico 1, demonstrou que em 13% do tempo a vazão de 4 a 5m^3/s foi igualada ou ultrapassada durante o tempo de observação mesmo recebendo menor contribuição de água.

Apesar deste trabalho não evidenciar altos níveis de criticidade hídrica quantitativa no Rio Macaé é importante avaliar qual o impacto destas usinas no uso da água nas regiões onde se localizam, principalmente considerando o potencial de conflitos com outros usos d'água.

A geração termelétrica se mostra uma importante fonte de demanda por água, particularmente em função do sistema de resfriamento adotado, sendo fundamental, uma circulação adequada, para que ocorra um volume de captação suficiente ao correspondente ao abastecimento público de pequenas e médias cidades (ECOD, 2016).

Existe uma constatação de que no mercado existem tecnologias de resfriamento que demandam menos água como o ar. Os sistemas híbridos, alternativas crescentes em países como a África do Sul, China, Japão e EUA, não tem sido usados no Brasil, em função de custos maiores comparativamente aos sistemas de resfriamento a água (IEMA, 2016).

Ao se avaliar o perfil das grandes térmicas em operação no Brasil, existem preocupações com possíveis problemas futuros, como o fato da maioria das térmicas usarem sistemas de resfriamento de circulação semifechada em torres úmidas, sendo que muitas dessas térmicas localizam-se em bacias hidrográficas a apresentarem altos níveis de criticidade hídrica quantitativa, propícios a impactos em relação ao uso da água nas regiões onde se localizam, pois iráo impactar nas outras finalidades da água (IEMA, 2016).

A direta relação entre geração termoelétrica e uso de água levanta uma última questão sobre a necessidade de maior integração entre o planejamento do setor elétrico e a política ambiental e de recursos hídricos. Com a perspectiva de expansão do parque termoelétrico não somente no município de Macaé, mas em todo o Brasil, aumenta também o risco de agravamento de conflitos pelo uso da água, o que não se mostra desejável nem do ponto de vista do setor elétrico, muito menos da gestão de recursos hídricos.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como tema principal o atendimento da demanda hídrica das novas termelétricas pelo Rio Macaé, caracterizado por possuir um grande potencial referente a água – energia, todavia ainda carece de maiores informações e análises sobre a disponibilidade hídrica, uma vez que as termelétricas que demandam água para o seu sistema de resfriamento estão em constante crescimento na região.

Para fins de comparação de vazões de demanda x oferta, foi estimado através de levantamento de dados técnicos, que a demanda hídrica para abastecimento é de 1,82 m^3/s, considerando a ampliação descrita no Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro de 2014 e a vazão de outorga com a expansão das termelétricas é de 2,6 m^3/s totalizado juntamente com os outros usos a vazão de 4,43 m^3/s.

A curva de permanência para a estação Galdinópolis forneceu como Q90 e Q95 as vazões de 1,7 e 1,4 m^3/s, respectivamente. No trecho onde ocorre a captação de água, próximo a estação Severina, como a área de drenagem aumenta significtivamente de 101km^2 para 952km^2 e, considerando a região hidrologicamente semelhante, é esperado que a permanência de vazões acima de 10 m^3/s tenha permanência muito alta.

Em relação à estiagem de 7 dias com tempo de retorno de 10 anos (Q7,10), os valores encontrados foram 0,767 m^3/s e 8,94 m^3/s para as estações Galdinópolis e Severina (BR-101) respectivamente. Uma avaliação preliminar deste resultado aponta para a possibilidade do Rio Macaé dispor de água suficiente para o uso atual e futuro do município, incluindo a demanda das novas usinas termelétricas. Pode-se entender que com esta estiagem na BR-101 há possibilidades de haver água suficiente para atender a demanda atual e futura de Macaé, incluindo as 8 termelétricas, desde que não haja aumento na demanda.

A vazão Q7,10 de 8,94 m^3/s encontrada para a estação de Severina,, assim como a Q95, são valores importantes para outorgas de captação da água do rio, afim de que a retirada não seja maior que a disponibilidade hídrica do rio principalmente em situação de estiagem. Deve-se reforçar que a análise aqui apresentada foi elaborada sob a ótica da engenharia hidrológica, portanto não considera a complexidade que envolve o comportamento da bacia hidrográfica, isto é, as alterações no uso e cobertura do solo, a dinâmica fluvial, a vazão sólida e o assoreamento, a conservação das matas ciliares, o recarregamento das águas subterrêneas e as mudanças climáticas locais.

Para que se possa obter um resultado satisfatório em relação as questões da bacia hidrográfica citada, é fundamentala conservação ambiental para que o rio supra as necessidades hídricas demandadas pelos diferentes usos de forma a preservar sua nascente. Sendo assim, é de suma importância o enriquecimento da mata que cerca as nascentes e as margens do rio principal, tendo em vista que a vegetação funciona como uma barreira viva de proteção. Além disso, são essenciais algumas medidas como preservar a vegetação já existente, eliminar o desmatamento das encostas e o uso inadequado dos solos, descartar o lixo de maneira correta, assim evitando a poluição. O acúmulo de materiais nas encostas pode alterar a dinâmica fluvial.

Recomenda-se o desenvolvimento de trabalhos futuros, - afim de contornar algumas limitações encontradas ao longo da realização do presente estudo. Por conta da grande dificuldade em obter séries históricas completas, optou-se por utilizar dados de uma estação fluviométrica distante 100 km da localidade onde geralmente ocorrem as captações de água . Existe uma lacuna de dados nas estações fluviométricas mais a jusante, restrigindo a aplicação destes em estudos hidrológicos.. Por esta razão é de suma importância para fins de pesquisas acadêmicas e projetos de engenharia que as estações estejam operantes e fornecendo informações para abastecer as plataformas do Sistema Nacional de Informações, no caso deste estudo, e a Hidroweb, da ANA e o Sistema HIDRO – Telemetria.

Para a determinação da Q7,10, pode se recomendar o emprego de outras distribuições estatísticas além de Gumbel, como a Log-Normal, a Weibull ou a Log-Pearson tipo III. Adicionalmente, testes para verificar a aderência estatística da distribuição, incluindo estimação de parâmetros e teste de hipóteses são desejáveis nesta etapa. No modelo de regionalização de vazões pode ser explorado o uso de mais variáveis (parâmetros) além da área de drenagem e da duração da estiagem, conforme o modelo usado nesse trabalho.

Nesse contexto, os modelos de regionalização desenvolvidos são ferramentas promissoras para auxiliar na solução da escassez de dados de vazão na região em estudo, podendo dar suporte ao planejamento e à gestão dos recursos hídricos da região, bem como, de outras regiões que sofram com a falta de monitoramento hidrológico (COSTA, 2012).

Apesar dos resultados satisfatórios, deve-se considerar a consulta a outros levantamentos bibliográficos, que forneçam mais informações sobre o comportamento da bacia hidrográfica do Rio Macaé, como dados pluviométricos, uso e cobertura do solo, monitoramento hidrossedimentológico do rio principal e afluentes, captação de águas subterrâneas entre outros. Tais informações podem gerar subsídios para um modelo hidrológico do tipo chuva-vazão, o que se configura como uma abordagem alternativa ao estudo de vazões mínimas de um rio.

A disponibilização de dados técnicos oficiais das usinas termelétricas também

apresentou lacunas para que se obtivesse melhor detalhamento e precisão no seu verdadeiro consumo de água.

Os resultados alcançados neste trabalho apresentam-se como promissores para futuras análises entre a oferta e demanda em relação ao Rio Macaé, tanto do ponto de vista dos empreendedores, como dos órgãos reguladores e da sociedade como um todo. Entretanto, é essencial ter consciência coletiva, considerando a água como um recurso natural insubstituível, respeitando o acesso e o uso não só pelas gerações atuais, mas também aquelas futuras, valorizando-a e evitando seu uso em excesso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Política Nacional de Recursos Hídricos.** 2020. Disponível em : <https://www.ana.gov.br/aguas-no-brasil/sistema-de-gerenciamento-de-recursos-hidricos >. Acesso em 30 de agosto de 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil) (ANEEL**). Banco de Informações de Geração: BIG.** Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br >. Acesso em: 03 abr. 2020.

AGENERSA. **Marlin Azul Energia.** 2019 . Disponível em : < http://www.agenersa.rj.gov.br/documentos/consultapublica/leidogas/aposap/marlimazul.pdf >. Acesso em 16 de setembro de 2020

ALMEIDA, André França de. **Análise energética dos ciclos Rankine e combinado com gaseificação integrada operados a carvão mineral.**. Dissertação de Mestrado – Programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 117p. 2011.

ANA. **Estudo da ANA aponta perspectiva de aumento do uso de água no Brasil até 2030**. 2019. Disponível em : <https://www.ana.gov.br/noticias/estudo-da-ana-aponta-perspectiva-de-aumento-do-uso-de-agua-no-brasil-ate-2030>. Acesso em 18 de setembro de 2020.

ANA. **Manual de Usos Consultivos da água no Brasil.** Disponível em: http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de- conteudos/central-de publicacoes/ana_manual_de_usos_consuntivos_da_agua_no_brasil.pdf>. Acesso em 15 de abril de 2020.

ANEEL. **BIG - Banco de informações de geração**. 2017.

ANEEL . **Informações Gerenciais**. 2018. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/documents/656877/14854008/Boletim+de+Informa%C3%A7%C3%B5es+Gerenciais+-+4%C2%BA+trimestre+de+2018/36e91555-141ª-637d-97b1-9f6946cc61b3?version=1.2>. Acesso em 16 de setembro de 2020.

BARBOSA, S. E. da S. et al. **Geração de modelos de regionalização de vazões máximas, médias de longo período e mínimas de sete dias para a bacia do rio do Carmo, Minas Gerais.** *Eng. Sanit. Ambient.* [online]. 2005, vol.10, n.1, pp.64-71. ISSN 1809-4457. http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522005000100008.

BARBOZA, Arthur Prado **Estudo Hidrológico de Vazões Máximas na Bacia do Rio Macaé.** UFRJ/Escola Politécnica. Projeto de Graduação - UFRJ / POLI / Curso de Engenharia Ambiental, 97 p. 2014.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. **Lei n. 9.433:** Política Nacional de Recursos Hídricos. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, 1997. 72p.

BUSTAMANTE, J. G.; RATTNER, A. S.; GARIMELLA, S**.** ***Reducing the performance penalty of air-cooled condensers in power plants. Applied Thermal Engineering.***

105, p. 362–371, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S13594 31115005219?via%3Dihub> Acesso em: 20 jan 2020.

CBHMACAE. **Relatório do balanço hídrico da região hidrográfica macaé e das ostras rd-06 versão final revisada.** Outubro/2013. Disponível em: <http://cbhmacae.eco.br/wp-content/uploads/2019/03/RD-06-Relat%C3%B3rio-deBalan%C3%A7o- H%C3%ADdrico.pdf > Acesso em: 10 de setembro de 2020.

CBHMACAE. **Elaboração do plano de recursos hídricos da região hidrográfica macaé/ostras prh-macaé/ostras relatório de elaboração do plano de recursos hídricos (rprh) versão revisada.** 2014. Disponível em: <http://cbhmacae.eco.br/wp-content/uploads/2018/12/EG0143-R-PRH-RPRH-01-02.pdf >. Acesso em: 10 agosto de 2020.

CBHMACAE. **Relatório de Situação da Bacia. Contrato de Gestão Nº 01/2012 - Indicador 2 Região Hidrográfica VIII - Macaé e das Ostras.** Ano IV 2015/2016.Disponível em: < http://cbhmacae.eco.br/site/wp-content/uploads/2015/06/Relat%C3%B3rio-de-Situa%C3%A7%C3%A3o_Ano-IV-RHVIII_REV_01.pdf >. Acesso em: 10 setembro de 2020.

CBHMACAE. **Relatório de Situação da Bacia. Contrato de Gestão Nº 01/2012 - Indicador 2 Região Hidrográfica VIII - Macaé e das Ostras.** Ano IV 2015/2016Disponível em: < http://cbhmacae.eco.br/site/wp-content/uploads/2016/07/Relat%C3%B3rio-de-Situa%C3%A7%C3%A3o_Ano-IV-RHVIII_REV_01.pdf >. Acesso em: 10 setembro de 2020.

CBHRMO. **Relatório de Situação da Bacia.** 2012. Disponível em: <http://cbhmacae.eco.br/site/wpcontent/uploads/2015/06/Relatorio_de_Situacao_Ano_I_RHV III.pdf >. Acesso em 16 de setembro de 2020.

CHAVES, H; ROSA, J. W; VADAS, R. G; OLIVEIRA, R. T. **Regionalização de Vazões Mínimas em Bacias Através de Interpolação em Sistemas de Informação Geográfica**. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v. 7*. P. 43-51. 2002.

COSTA, A.S et. al. **Regionalização de Curvas de Permanência de Vazãode Regiões Hidrográficas do Estado do Pará**. Revista Brasileira de Meteorologia. v. 27. n. 4. p. 413-422. Sociedade Brasileira de Meteorologia. 2012.

COSTA, R.N; FARIAS, M. F. **Monitoramento do Rio Macaé com base na participação das Escolas Públicas, uma ação para a sustentabilidade.** 2008 . Revista Visões 4ª Edição, Nº4, Volume 1 - Jan/Jun 2008. Disponível em: <https://www.fsma.edu.br/visoes/edicoes-anteriores/docs/4/4ed_Monitoramento_do_Rio_Macae_Rafael_Maria.pdf > Acesso em 24 de agosto de 2020.

CPRM. **Relatório-síntese do trabalho de Regionalização de Vazões da Sub-bacia 59**. Serviço Geológico do Brasil. São Paulo, Brasil. 2002.

CRUZ, J. C. **Disponibilidade hídrica paraoutorga: avaliação de aspectos técnicos e conceituais.**Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e SaneamentoAmbiental) - Universidade Federal do Rio Grandedo Sul. Porto Alegre: UFRGS, 2001.

ECOD. Termoelétricas chegam a consumir volume de água que abasteceria cidades de até 200 mil habitantes, revela instito. 2016. Disponível em:

<http://www.ecodesenvolvimento.org/posts/2016/posts/novembro/termoeletricas-chegam-a-consumir-volume-de-agua#ixzz6fuBB2NfP>. Acessado em -4 de dezembro de 2020.

EDF NORTE FLUMINENSE. **Nossos negócios ED Norte Fluminense.** 2020. Disponível em: <http://edfnortefluminense.com.br/nossos-negocios/edf-norte-fluminense/> . Acesso em 17 de setembro de 2020.

EMBRAPA. **Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica.** 2015. Lucilia Maria Parron Junior Ruiz Garcia Edilson Batista de Oliveira George Gardner Brown Rachel Bardy Prado Editores Técnicos. Disponível em : <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/130632/1/Cap12.pdf2015) > . Acesso em 17 de setembro de 2020.

FERREIRA, Renan Francisco *et al.* **Estudo de método para avaliar a viabilidade do desenvolvimento de térmicas a gás em ciclo combinado.** Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2017. Disponível em http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10022026.pdf . Acesso em:04 abri. 2020.

FGV ENERGIA. **A eficiência de uso da água na geração elétrica.** Autor André Vieira. 2019. Caderno Opinião. Disponível em: : <https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/coluna_opiniao_maio_-_a_eficiencia_de_uso_da_agua.pdf >. Acesso em 24 de agosto de 2020

FREITAS, Leonardo Esteves de. **Atlas Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Macaé.** 1a ed. Rio de Janeiro: Editora Nova Tríade do Brasil Ltda. Bibliografia. ISBN 978-85-63297-05-1 1. Rio Macaé. 2. Atlas brasileiros. 3. Bacia hidrográfica 4. Macaé (RJ). Disponível em: <http://www.macae.rj.gov.br/midia/conteudo/arquivos/1460067952.pdf >. Acesso em 24 de agosto de 2020.

Gasques, A. C. F., Neves, G. L., Santos, J. D. dos, Mauad, F. F., & Okawa, C. M. P. (2018). **Regionalização de Vazões Mínimas: Breve Revisão Teórica** [Regionalization of minimum flows: brief theoretical review]. *REEC - Revista Eletrônica De Engenharia Civil*, *14*(2). https://doi.org/10.5216/reec.v14i2.47105.

GESEL. **Relatório da conjuntura do segmento de geração termelétrica no Brasil**. 2020. Disponível em : < http://ute.gesel.ie.ufrj.br/wp-content/uploads/2020/04/Ga%CC%81s-e-Termo-fevereiro-2020.pdf >. Acesso em 16 de setembro de 2020.

GIL, A.C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa.** 5ª ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GUMBEL, E. J. ***Statistics of Extremes***. Columbia University Press. New York. 1958.

HANNA, S. R., PELL, J., **"*Cooling Tower Environment* – 1974",** Proceedings of symposium held at the University of Maryland Adult Education Center March 4 –6, 1974, Ed. ERDA – Symposium Series, USA. 1975.

IEAGHG. ***Evaluation and Analysis of Water Usage of Power Plants with CO_2 Capture.*** Cheltenham, 2011. Disponível em: <www.ieaghg.org>. Acesso em: 20 jan 2020.

IEMA. **Termoeletricidade em foco: uso de água em termoelétricas.** 2016. Disponível

em:<https://web.archive.org/web/20180401075849/http://www.energiaeambiente.org.br/wp-content/uploads/2016/11/IEMA-AGUA_vFinal.pdf >. Acesso em 17 de setembro de 2020.

INEA. **Atlas dos mananciais de abastecimento público do estado do rio de janeiro. Subsídios ao planejamento e ordenamento territorial.** Coordenação Geral Silvia Marie Ikemoto Coordenação Executiva Patrícia Rosa Martines Napoleão Rio de Janeiro | Dezembro de 2018. Disponível em: < http://www.inea.rj.gov.br/wp- content/uploads/2019/01/Livro_Atlas-dos-Mananciais-de-Abastecimento-do-Estado-do-Rio- de-Janeiro.pdf > Acesso em 17 de setembro de 2020.

IRENA – INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. ***Renewable energy in the water, energy and food nexus. International Renewable Energy Agency.*** 2015.

JUSBRASIL. **Decreto 27767/01 | Decreto nº 27.767 de 03 de janeiro de 2001.** Disponível em: <https://gov-rj.jusbrasil.com.br/legislacao/226573/decreto-27767-01>. Acesso em 17 de setembro de 2020.

LOPES, B. N. **Utilização do sistema de gestão ambiental para as mitigações dos impactos ambientais da usina termelétrica Mário Lago no Município de Macaé-RJ**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense. Campus – Campos – Centro, Campos dos Goytacazes, RJ, 2011.

LORA, E. E. S.; NASCIMENTO, M. A. R. **Geração termelétrica: planejamento, projeto e operação.** Rio de Janeiro: Interciência, 2004. v. 1.

MATOS, A. S. T**. Autora do registro fotográfico dos sistemas de efluentes da UTE.** Mário Lago. Macaé, RJ, 126 pg. 2008.

MEDEIROS, Alexandre Mollica. **Bases Metodológicas para a Incorporação para a Variável Ambiental no Planejamento da Expansão Termelétrica no Brasil.** COPPE/ UFRJ. Rio de Janeiro. 2003.

MELO, Larissa Silva; BORGES JÚNIOR, João Carlos Ferreira; Ana Paula Coelho Madeira Silva. ***Flow distribution and trends in the Das Velhas River Basin.*** Rev. Ambient. Água vol. 14 n. 3, e2289 – Taubaté. 2019.

MMA. IBAMA – **Ficha de Caracterização de Atividade nº 145775/2018**. 2018. Disponível em: <https://servicos.ibama.gov.br/siga/empreendedor/arquivo-shp/download-pdf-fca/id/79580>. Acessado em 04 de dezembro de 2020.

MME. MME AP045/2018 - **Conta de Desenvolvimento Energético Maio/2018**. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/36148/917621/participacao_pdf_0.8620149739811337.pdf/e5343976-962b-f1f1-9ea3-b6184cbb026d >. Acesso em 31 de agosto de 2020.

MME. **Expansão da matriz energética nos próximos dez anos se dará com predominância de renováveis.** 2015. <http://www.mme.gov.br/web/guest/todas-as-noticias/-/asset_publisher/pdAS9IcdBICN/content/expansao-da-matriz-energetica-nos-proximos-dez-anos-se-dara-com-predominancia-de-

renovaveis?inheritRedirect=false&redirect=http%3A%2F%2Fwww.mme.gov.br%2Fweb%2Fguest%2Ftodas-as-noticias%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_pdAS9IcdBICN%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-1%26p_p_col_count%3D1%26_101_INSTANCE_pdAS9IcdBICN_cur%3D48%26_101_INSTANCE_pdAS9IcdBICN_keywords%3D%26_101_INSTANCE_pdAS9IcdBICN_advancedSearch%3Dfalse%26_101_INSTANCE_pdAS9IcdBICN_delta%3D30%26p_r_p_564233524_resetCur%3Dfalse%26_101_INSTANCE_pdAS9IcdBICN_andOperator%3Dtrue>. Acessado em 10 de setembro de 2020.

MME. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2029.** 2019. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=a18d104e-4a3f-31a8-f2cf-382e654dbd20&groupId=36189> Acesso em 16 de setembro de 2020.

MOURA, gustavo Nikolaus Pinto de. **A relação entre água e energia: gestão energética nos sistemas de abastecimento de água das companhias de saneamento básico do Brasil**. Rio de Janeiro: ufrj/coppe, 2010.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia Estatística.** 1a ed. Belo Horizonte: CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Superintendência Regional de Belo Horizonte, 2007.

NATURAL ENERGIA. **Estudo de Impacto Ambiental - EIA Usina Termoelétrica Nossa Senhora de Fátima**. 2018. Disponível em : < http://naturalenergia.com.br/wp-content/uploads/2018/05/EIA-Volume1.pdf >. Acesso em : 17 de setembro de 2020.

NUPEM. **Carta das águas de Macaé contribuição do NUPEM/UFRJ para a governança dos recursos hídricos do município de macaé.** 2015. Disponível em : <http://www.macae.ufrj.br/nupem/images/stories/Carta_%C3%A1guas_19-03.pdf >. Acesso em 16 de setembro de 2020.

O DEBATE. **Termelétricas consolidam Macaé como novo polo nacional de energia.** 2019. Disponível em: < https://www.odebateon.com.br/termeletricas-consolidam-macae-como-novo-polo-nacional-de-energia/>. Acesso em 17 de setembro de2020.

PESSANHA, Roberto Moraes. **A relação transescalar e multidimensional "Petróleo-Porto" como produtora de novas territorialidades**. 560 f. 2017.

PINTO, N.L.S. *et al*. **Hidrologia Básica.** São Paulo: Edgard Blucher, 1976.

PREFEITURA DE MACÁE. **Termelétricas consolidam Macaé como novo polo de energia.** 2019. Disponível em: <http://www.macae.rj.gov.br/noticias/leitura/noticia/termeletricas-consolidam-macae-como-novo-polo-de-energia>. Acesso em 20 de setembro de 2020.

PRUSKI, F. F.; NUNES, A. A.; REGO, F. S.; SOUZA, M. F. **Extrapolação de equações de regionalização de vazões minimas: Alternativas para atenuar os riscos.** Water Sources and Irrigation Management – V. 1 – n o 1 – Campina Grande, PB, UFRB/INS, 51-59 p. 2012.

RAZAVI T, Coulibaly P. ***Classification of Ontario basins based on physical attributes and streamflow series.*** *Journal of Hydrology* 18(8):958-975. 2013.

SILVA, Waldemir Ferreira da. **Proposição de medidas de gestão, eco-eficiência e sustentabilidade em usinas termoelétricas. Estudo de caso da ute mario lago, Macaé, rj.** 2008.

SNIRH. **Sistema HIDRO – Telemetria.** 2020. Disponível em: < http://www.snirh.gov.br/hidrotelemetria/Mapa.aspx > . Acesso em 18 de setembro de 2020.

SNIS. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento.** 2020. Disponível em: http://www.snis.gov.br/ component/content/article?id=109. Acesso em 30 set 2020.

SOUZA, F, J. de.**A Rede de Abastecimento de Água**. Água Vida & Cia – Fernando José de Sousa. 2016. Disponível em: <https://ferdinandodesousa.com/2016/07/>. Acessado em 04 de dezembro de 2020.

SOUSA, H.T. **Sistema computacional para Regionalização de Vazões – SisCoRV 1.0.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Programade Pós Graduação em Engenharia Agrícola.Viçosa: UFV, 2009.

STUCHI, Gabriel Augusto Domingos *et al.* **Geração termelétrica: principais componentes e tipos de centrais termelétricas.** 2015. 147p. Trabalho de conclusão de curso – Curso de graduação em engenharia elétrica com ênfase em sistemas de energia e automação, Escola de Engenharia de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. Disponível em: <http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180500/tce-14032016-175537/?&lang=br>. Acesso em: 04 abr. 2020.

TALLAKSEN, L. M. ***A review of baseflow recession analysis***. Journal of Hydrology, 165, p. 349-370, 1995.

TUCCI, C. E. M. **Regionalização de Vazões no Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: IPH/UFRGS, 1991.

TUCCI, C. E. M. **Modelos Determinísticos. In: Modelos para Gerenciamento de Recursos Hídiricos.** São Paulo, Ed. Nobel/ABRH. 1987

TUCCI, C. E. M. Hidrologia, Sem categoria. **Previsão hidrológica sazonal.** 2010. Disponível em : <http://rhama.com.br/blog/index.php/sem-categoria/previsao-hidrologica-sazonal/> . Acesso em 20 de setembro de 2020.

TUCCI, C. E. M. **Secas no Rio Grande do Sul.** 2012. Blog do Tucci. Publicação online. Disponível em: http://rhama.net/wordpress/?p=293. Acesso em: 23 de setembro de 2020.

TURNPENNY. A. W. H *et al.* ***Cooling Water Options for the New Generation of Nuclear Power Stations in the UK.*** Bristol: Environment Agency, 2010. Disponível em: <http://publications.environment- agency.gov.uk>. Acesso em: 04 abr. 2020.

WATANABE, F. **Análise do Método de Gumbel para cálculo de vazões de dimensionamento de vertedouros.** São Carlos. 2013).