



Universidade Federal
do Rio de Janeiro

Escola Politécnica

PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DE UMA CENTRAL GERADORA HIDRELÉTRICA NA ALDEIA GUARANI ARAPONGA – PARATI/ RJ

Luiza de Carvalho

Orientadora:
Heloisa Teixeira Firmo

Rio de Janeiro
2017

PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DE UMA CENTRAL GERADORA HIDRELÉTRICA NA ALDEIA GUARANI ARAPONGA – PARATI/ RJ

Luiza de Carvalho

Projeto de Graduação de Curso submetido ao corpo docente do Departamento de Recursos Hídricos e Meio Ambiente da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Engenheiro Ambiental.

Data da defesa: 06 de setembro de 2017

Examinado por:

Orientadora: Prof^a. Heloisa Teixeira Firmo, D.Sc., UFRJ

Prof. Luís Guilherme Barbosa Rolim, Dr.-Ing UFRJ

Prof. Jorge Henrique Alves Prodanoff, D.Sc., UFRJ

Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Setembro de 2017

Carvalho, Luiza

Proposta de implantação de uma Central Geradora Hidrelétrica (CGH) na Aldeia Guarani Araponga – Parati/ RJ / Luiza Carvalho. – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2017.

X, 109 p.:il.; 29,7 cm.

Orientador: Heloisa Teixeira Firmo

Projeto de Graduação – UFRJ / Escola Politécnica / Curso de Engenharia Ambiental, 2017.

Referências Bibliográficas: p. 104

1. Central Geradora Hidrelétrica. 2. Comunidade Indígena. 3. Sistema Isolado. 4. Coanda Effect Screen.

I. Firmo, Heloisa Teixeira; II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Ambiental. III. Título.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica / UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Ambiental.

Proposta de implantação de uma central geradora hidrelétrica na Aldeia Guarani Araponga – Parati/RJ

Luiza de Carvalho

Setembro, 2017

Orientadora: Heloisa Teixeira Firmo

Curso: Engenharia Ambiental

A Aldeia Guarani Mbya Araponga, localizada dentro de uma área de proteção ambiental em Parati/RJ, é uma comunidade indígena tradicional e isolada, composta por aproximadamente 30 índios. Atualmente enfrentam dificuldades devido à falta de energia elétrica para o desenvolvimento de atividades cotidianas, além de ficarem limitados ao acesso à serviços básicos essenciais, como saúde. Desde 2010, contam com um conjunto de placas fotovoltaicas instalado através do programa PRODEEM. Sua capacidade, porém, é inferior a demanda local, além da manutenção deste sistema exigir conhecimentos básicos não dominados pela comunidade. O presente trabalho tem como objetivo estudar a implantação de uma central geradora hidrelétrica na queda d'água identificada próxima a aldeia, a fim de atender a demanda local de energia elétrica. Nesse contexto, portanto, será analisado o aproveitamento do potencial hidráulico presente no local, propondo um possível arranjo para o sistema.

Palavras-chave: Central Geradora Hidrelétrica, Comunidade Indígena, Sistema isolado, Coanda Effect Screen.

Proposal for implementation of a micro-hydro power plant in the Mbya Araponga Guarani Village - Parati/RJ

Luiza de Carvalho

September, 2017

Advisor: Heloisa Teixeira Firmo

Course: Environmental Engineering

The Mbya Araponga Guarani Village is a traditional and isolated indigenous community located within an environmental protection area in Paraty / RJ, with approximately 30 indigenous people. Currently, they face difficulties to perform their daily activities due to lack of access to essential basic needs such as electricity and health services. Since 2010, they have been using a set of photovoltaic panels installed through the PRODEEM (Energy Development Program in States and Cities); however its capacity is lower than local demand. In addition, the maintenance of this system requires basic knowledge that is unfamiliar to the community. This work aims to study the implementation of a micro-hydro power plant in an identified waterfall located near the village in order to meet local demand for electric energy. In this context, the utilization of the hydraulic potential present in the site will be analyzed in order to propose a possible hydroelectric system set up.

Key-Words: Micro-Hydro Power Plant, Indigenous Community, Isolated System, *Coanda Effect Screen.*

“Não há dúvidas de que uma sociedade que consegue solucionar a sua demanda de eletricidade abre um grande espaço para o seu desenvolvimento social, tecnológico e de inovação. Aproveitando, assim, a cadeia de benefícios que a energia pode gerar”

- Energia que Queremos

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Área de proteção delimitada do Parque Nacional da Serra da Bocaina. – Fonte: site Criativesse - Adaptada.	19
Figura 2 - Delimitação da Terra Indígena Araponga - Fonte: Elaboração própria a partir do Google Earth.....	20
Figura 3 - Estrutura Institucional do SEB Fonte: Site NOS - Adaptado	27
Figura 4 - Interligação do SIN e principais Bacias Hidrográficas brasileiras.	31
Figura 5 - Configuração do SIN. Ano 2015.....	32
Figura 6 - Esquema simplificado de um aproveitamento hidrelétrico.....	38
Figura 7 - Etapas do Planejamento de um Aproveitamento Hidrelétrico.....	39
Figura 8 - Arranjo de uma CGH com derivação.....	45
Figura 9 - a) b) e c)	48
Figura 10 - Design usual e parâmetros necessários para dimensionamento da Coanda Effect Screen.	49
Figura 11 - Efeito da ogiva e placa de aceleração no escoamento do fluido.	49
Figura 12 - Eficiência da inclinação das grades.	50
Figura 13 - Bomba funcionando como bomba e como turbina.	54
Figura 14 - Localização e hidrografia da Bacia Araponga.	69
Figura 15 - Localização e hidrografia da Bacia Araponga.	70
Figura 16 - Divisão hidrográfica nacional.	75
Figura 17 - Divisão hidrográfica estadual.	76
Figura 18 - Queda Sítio 1 em época de cheia.	86
Figura 19 - Queda Sítio 2 em época de cheia e época de seca.	87
Figura 20 - Turbina Pelton – Alterima.....	92
Figura 21 - a) Local sugerido para instalação da casa de força e canteiro de obras e b) Arranjo proposto e impacto visual do sistema de geração.	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados demográficos da população indígena no Brasil (1500-2010).	16
Tabela 2 - (a) Municípios com as maiores populações indígenas do país, por situação do domicílio – RJ (2010); (b) Municípios com as maiores proporções de população indígena do país, por situação do domicílio – RJ (2010).....	18
Tabela 3 - Variação da capacidade instalada (MW) por fonte de geração.	30
Tabela 4 - Capacidade Instalada de Geração de Energia (dez/2016).....	33
Tabela 5 - Estágios do Potencial Hidrelétrico Brasileiro por Bacia Hidrográfica– Ano Base 2016.	35
Tabela 6 - Potencial Hidrelétrico Brasileiro em cada Estágio por Estado (MW) – (Dez/2016).....	36
Tabela 7 - Quantidade e potência de empreendimentos em operação por fonte de geração.....	37
Tabela 8 - Classificação de aproveitamentos hidrelétricos quanto a potência instalada.	39
Tabela 9 - Critérios para determinação do eixo e tipo da barragem.....	46
Tabela 10 - Tipos de turbina e critérios de seleção.....	53
Tabela 11 - Rotação do Gerador a 60 Hz.	56
Tabela 12 - Emissão de gases de efeito estufa a partir de centrais elétricas.	57
Tabela 13 - Índices de Tarifa Social para Consumidores de Baixa Renda.....	62
Tabela 14 - Divisão Hidrográfica Estadual – Rio de Janeiro.	76
Tabela 15 - Cálculo da vazão média de longo termo.	79
Tabela 16 - Cálculo da vazão máxima de cheia.	79
Tabela 17 - Cálculo da vazão mínima.	79
Tabela 18 - Vazão correspondente à 95% de permanência em (m ³ /s).	80
Tabela 19 - Vazão correspondente à 50% de permanência em (m ³ /s).	80
Tabela 20 - Vazões Sub-bacia Araponga pelo Método de Regionalização.....	81
Tabela 21 - Relação de pontos de consumo na Aldeia Araponga.....	83
Tabela 22 - Potência de eletrodomésticos.....	83
Tabela 23 - Desníveis dos sítios estudados.	85
Tabela 24 - Perdas de Carga Localizadas.....	98

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Variação da população indígena no Brasil (1500-2010).	17
Gráfico 2 - Projeção da participação das matrizes energéticas. (Base de dados: BIG/17)	29
Gráfico 3 - Potência Instalada (MW) oriunda de Centrais Geradoras (2012-2017).	44
Gráfico 4 - Custo aproximado de aquisição de um conjunto de geração.....	55
Gráfico 5 - Precipitações Médias Mensais - Patrimônio (Jan/72 a Jan/05).....	67
Gráfico 6 - Distribuição Acumulada Pluviométrica - Patrimônio (Jan/72 a Jan/05)	67
Gráfico 7 - Curva IDF Bacia Araponga.....	74
Gráfico 8 - Projeção da variação diária de consumo energético.	85

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. Objetivo	13
1.2. Metodologia	13
1.3. Estrutura do Trabalho	14
2. COMUNIDADES INDÍGENAS NO BRASIL	15
2.1. População indígena Guarani no Brasil	17
2.2. Aldeia Guarani Mbya Araponga	18
2.3. Órgãos e Fundações de Proteção ao Índio.....	21
2.4. Legislação Indigenista Brasileira.....	23
3. SETOR ENERGÉTICO BRASILEIRO.....	26
3.1. Cenário atual	26
3.2. Potencial hidrelétrico brasileiro e sua participação na matriz energética nacional ...	34
4. APROVEITAMENTOS HIDRELÉTRICOS	37
4.1. Definição	37
4.2. Vantagens das UHEs.....	39
4.3. Desvantagens e impactos associados às UHEs.....	41
4.4. Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCH.....	42
4.5. Centrais Geradoras Hidrelétricas – CGH	43
4.5.1. Definição.....	43
4.5.2. Arranjo, Operação e Principais Componentes	44
4.5.3. Vantagens e Impactos das CGHs	56
4.5.4. Custos Básicos	57
4.5.5. Programas e Incentivos	59
4.5.6. Legislações.....	63
5. ESTUDO DE CASO	66
5.1. Área de Estudo	66
5.1.1. Levantamento de dados Topográficos e Hidrológicos	66
5.1.2. Caracterização da Bacia.....	68
5.2. Métodos Utilizados	74
5.2.1. Estimativas de Vazões	74
5.2.2. Estimativa de Demanda	81
5.2.3. Medição da Queda	85
5.2.4. Estimativa da Potência Disponível	87

6	RESULTADO DO ESTUDO	91
6.1.	Escolha do Local	91
6.2.	Escolha do Conjunto Gerador	91
6.3.	Dimensionamento do Sistema	93
6.3.1.	Arranjo Proposto	93
6.3.2.	Sistema de Captação	95
6.3.3.	Sistema de Adução	97
6.4.	Impactos ambientais e sociais da implantação da CGH Araponga	99
7	CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS.....	100
7.1.	Conclusões.....	100
7.2.	Trabalhos Futuros.....	102
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103
	APÊNDICE A	104
	APÊNDICE B	106
	ANEXO I	112

1. INTRODUÇÃO

A energia elétrica transforma a vida das pessoas. Não se trata apenas de conforto, mas também do acesso aos direitos considerados básicos. Diante da total ausência ou do funcionamento precário de sistemas de energia elétrica, frequentemente carentes de manutenção, muitas comunidades enfrentam problemas devidos à falta de saneamento básico e serviços de saúde, além da evidente restrição ao uso de equipamentos fundamentais, como geladeira e luz elétrica.

Embora alguns programas do governo de exclusão elétrica no país, como o Programa para o Desenvolvimento de Energia nos Estados e Municípios (PRODEEM), tenham se mostrado ineficientes, como observado em alguns municípios de Pernambuco atendidos pelo programa (Núcleo de Apoio a Projetos de Energias Renováveis – Heitor Costa, UFPE), outros, no entanto, tem se mostrado bem-sucedidos. O programa Luz para Todos, por exemplo, têm beneficiado diversas comunidades, facilitando serviços de saúde e de educação, melhorando a qualidade de vida e promovendo o desenvolvimento dessas famílias (MME, 2003).

Em locais onde esses programas não atenderam ou não foram bem-sucedidos, no entanto, muitas famílias continuam desassistidas de energia elétrica, como é o caso da Aldeia Guarani Mbya Araponga em Paraty/RJ.

Cada país adota matrizes de geração de energia diferentes, adequando-se à disponibilidade de recursos em seu território. No Brasil, devido às condições geográficas e hidrológicas favoráveis, destaca-se o enorme potencial energético dos rios, sendo, portanto, a energia hidrelétrica sua fonte principal. O potencial hidráulico em território brasileiro é avaliado em aproximadamente 248 mil MW (Megawatts) (Eletrobrás Sipot, 2016), sendo apenas 39% aproveitado, o que corresponde à aproximadamente 65% da potência gerada no país (MME, 2016). Possuindo duas das dez maiores usinas hidrelétricas em todo mundo, o Brasil está em terceiro no ranking de maior produtor de energia hidrelétrica, ficando atrás apenas da China e dos Estados Unidos (World Energy Resources Hydropower, 2016).

Com o fortalecimento e surgimento de novas leis e normas ambientais que dificultam a implantação de grandes aproveitamentos, como a Lei nº 9.985/00 (SNUC) que determina o pagamento de indenizações e compensação ambiental, aliado às necessidades de geração, a implantação de sistemas isolados e com capacidade reduzida vêm aumentando em número nas últimas décadas.

Esses empreendimentos têm despertado maior interesse dos governantes e ambientalistas devido, principalmente, aos menores custos e impactos relacionados. Dentre estes empreendimentos, estão as Centrais Hidrelétricas de pequeno porte, ou seja, empreendimentos com até 50 MW de potência, que despertam interesse não só pelo menor tempo de construção e menores impactos ambientais e sociais associados, mas também pela proximidade do consumidor e por não necessitar de reservatório, reduzindo os custos com transmissão e implantação.

Segundo o Banco de Informações de Geração (BIG), existem hoje no Brasil 615 Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH), cujas capacidades instaladas se limitam a 5MW (BIG,2017). Diante de estudos que vêm sendo realizados para o aproveitamento de pequenos potenciais hidráulicos e de leis que facilitam sua implantação, como a Lei nº 13.360, as CGHs se apresentam como uma alternativa limpa, de baixo custo e menores impactos associados, devendo ser considerada a sua implantação, a fim de atender pequenas demandas isoladas, como é o caso da Aldeia Guarani Mbya Araponga.

1.1. Objetivo

O objetivo desse trabalho consiste no estudo de viabilidade técnica da implantação de uma Central Geradora Hidrelétrica na Aldeia Guarani Mbya Araponga, em Paraty, onde residem aproximadamente 30 índios. Pretende-se, portanto, a partir de um levantamento das características da bacia hidrográfica e das tecnologias presentes no mercado, analisar o aproveitamento do potencial hidráulico identificado na queda d'água no local para geração de energia.

A comunidade indígena dispõe atualmente de um sistema precário e insuficiente de abastecimento de energia, composto por duas placas fotovoltaicas, ficando com acesso restrito a serviços básicos, como saúde. Este trabalho pretende, neste sentido, apontar uma alternativa para o abastecimento dessa comunidade isolada.

1.2. Metodologia

Partindo da premissa de que este trabalho tem como objetivo uma versão preliminar do estudo de viabilidade técnica para a implantação da CGH Araponga, os capítulos que

se seguem visam contextualizar a demanda energética dessa comunidade indígena, as características geomorfológicas e hidrológicas do local e as tecnologias disponíveis no mercado que melhor aproveitem a queda d'água no local.

Para cumprir tal objetivo, foi necessário o levantamento de bases dados geológicos e hidrológicos da região através de sites relacionados. Foram realizadas também visitas ao local para conhecimento da cultura e dos hábitos da comunidade, a fim de estimar a potência demandada pela mesma. Durante as visitas foram utilizadas ferramentas, como altímetro e GPS, para coleta de dados topográficos.

Diante da escassez de dados hidrológicos do corpo hídrico, objeto do estudo, foi necessária a utilização de métodos de estimativa para determinar variáveis necessárias ao projeto, como a vazão.

Além disso, como suporte à análise da bacia, recorreu-se ao *software* de georreferenciamento ArcGIS e ao Google Earth para criação de mapas.

Em posse dos dados necessários foram levantadas, então, as tecnologias disponíveis no mercado e os possíveis arranjos para aproveitamentos hidrelétricos de pequeno porte, selecionando, por fim, o que melhor atendia as necessidades da comunidade local.

1.3. Estrutura do Trabalho

Nos itens anteriores foram apresentados uma introdução e o objetivo do trabalho, assim como a metodologia aplicada para desenvolver o estudo, que busca atender a demanda de energia elétrica da comunidade com a implantação da CGH Araponga.

O capítulo que se segue abordará a questão indígena no Brasil, citando as diferentes tribos presentes no território nacional, suas distribuições e comportamentos migratórios, além de órgãos, fundações e leis de proteção à comunidade indígena no país. Será dado um foco à Aldeia Guarani Araponga, descrevendo não só seus hábitos e cultura, mas também a região em que vivem.

O capítulo 3 está dividido em dois subitens. O Primeiro aborda o setor energético brasileiro, com esclarecimentos sobre o funcionamento deste no que diz respeito à geração e transmissão da energia gerada no país. O segundo foca no potencial hidrelétrico disponível no país e como é aproveitado.

Ao longo do capítulo 4 são encontradas informações gerais sobre aproveitamentos hidrelétricos, como seu princípio básico de funcionamento, vantagens e impactos relacionados, e como são classificados de acordo com sua capacidade de geração, focando na descrição de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) e Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGHs). No subitem sobre CGHs, são abordados os possíveis arranjos e suas subclassificações, detalhando as estruturas e equipamentos necessários para sua implantação. Será dada também uma noção geral sobre custos atrelados a estes empreendimentos, concluindo o capítulo com citações de programas de incentivo à redução da exclusão elétrica de comunidades isoladas e leis brasileiras relacionadas ao aproveitamento de recursos hídricos com finalidade de geração de energia.

O capítulo 5 inicia o estudo da implantação da CGH Araponga, caracterizando a bacia hidrográfica em relação a sua geomorfologia, hidrografia e topografia. São também citados os materiais e *softwares* de suporte, além dos métodos de estimativa e os cálculos das variáveis necessárias para desenvolver o projeto, como a energia demandada, a vazão de projeto e o potencial hidráulico disponível no local.

Os resultados do estudo, ou seja, escolha do local de implantação, tecnologia e arranjo selecionados, assim como seus dimensionamentos são apresentados no capítulo 6, acompanhando plantas, cortes e detalhamentos no Apêndice B.

O presente trabalho apresenta em seu último capítulo uma conclusão sobre o estudo desenvolvido, discorrendo sobre sua viabilidade técnica e impacto na comunidade, além de serem feitas sugestões para futuros estudos que poderão ser desenvolvidos neste projeto e na região.

2. COMUNIDADES INDÍGENAS NO BRASIL

Desde a chegada dos portugueses ao Brasil em 1500 até a década de 1970 assistiu-se um acentuado decréscimo da população indígena, principalmente dos que habitavam o litoral do país. Essa população, em sua grande maioria, enfrentou uma acelerada e complexa transformação social, se adaptando a novas condições de vida em busca da sua sobrevivência física e cultural. Durante esse período, sofreram abusos e enfrentaram problemas, como a exploração sexual, invasões e degradações territoriais, exploração da mão de obra, além da contração de doenças, como as epidemias de varíola entre 1562 e 1563 que dizimaram mais de 60 mil índios nessa época.

O levantamento de etnias no Brasil é realizado por autodeclaração. Segundo dados do Censo Demográfico do IBGE, 817.963 mil pessoas se declaram indígenas no Brasil, dos quais 502.783 habitam zonas rurais e 315.180 compõem a população urbana brasileira (IBGE, 2010).

Dentre os quase 818 mil indígenas, foram identificadas 305 etnias e reconhecidas 274 línguas, sendo a língua portuguesa falada por 82,5% da população.

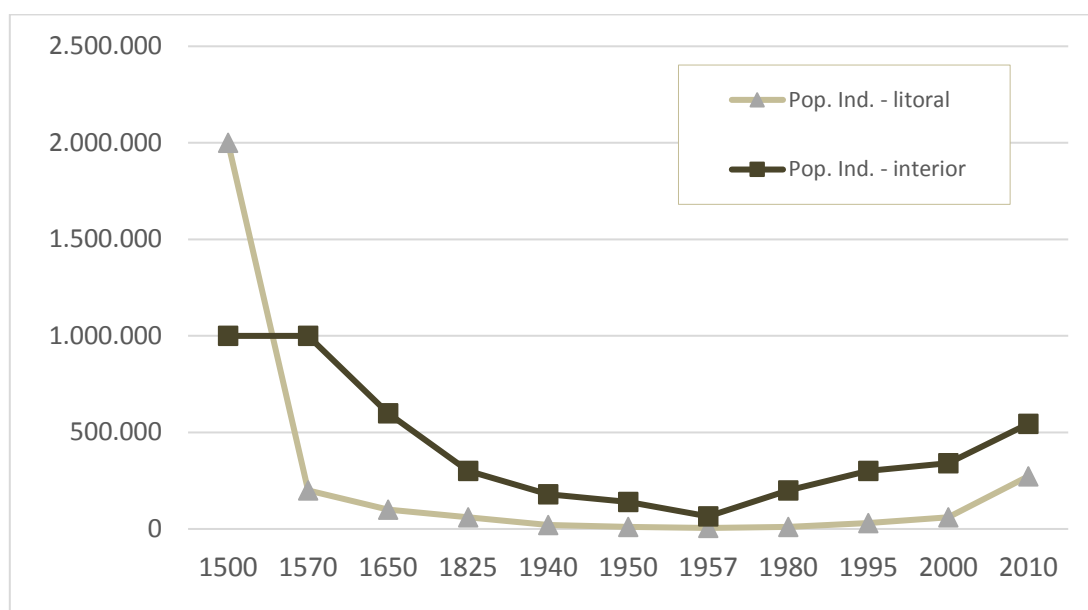
A Tabela 1 e o Gráfico 1 abaixo ilustram a variação populacional indígena de 1500 até 2010, discriminando os que habitam o litoral e os que habitam o interior do Brasil. Observa-se um decréscimo acentuado até a década de 60, período no qual essas populações voltaram a crescer.

Tabela 1 - Dados demográficos da população indígena no Brasil (1500-2010).

ano	pop ind/litoral	pop ind / interior	total	% pop total
1500	2.000.000	1.000.000	3.000.000	100,00
1570	200.000	1.000.000	1.200.000	95,00
1650	100.000	600.000	700.000	73,00
1825	60.000	300.000	360.000	9,00
1940	20.000	180.000	200.000	0,40
1950	10.000	140.000	150.000	0,37
1957	5.000	65.000	70.000	0,10
1980	10.000	200.000	210.000	0,19
1995	30.000	300.000	330.000	0,20
2000	60.000	340.000	400.000	0,20
2010	272.654	545.308	817.962	0,26

Fonte: Azevedo, Marta Maria. 2013

Gráfico 1- Variação da população indígena no Brasil (1500-2010).



Fonte: Elaboração própria a partir de (Azevedo, Marta Maria. 2013)

Observa-se por esses dados que a população indígena presente no interior do país iniciou esse contato mais tardiamente, o que descreve o processo de ocupação do Brasil que se iniciou pelo litoral.

Em relação ao território que ocupam hoje, há diferentes classificações. De acordo com o Estatuto do Índio, Lei nº 6.001 de 1973, nos termos da legislação vigente (CF/88,—, Decreto n.º1775/96), essas terras podem ser classificadas nas seguintes modalidades: Terras Indígenas Tradicionalmente Ocupadas; Reservas Indígenas; Terras Dominais e Terras Interditadas. Segundo a FUNAI, existem 505 terras indígenas no Brasil, que cobrem uma extensão de 117 milhões de hectares e representam 13,7% do território nacional.

2.1. População indígena Guarani no Brasil

Ocupando tradicionalmente territórios que se estendem pela Argentina, Bolívia, Uruguai, Paraguai e Brasil, o povo Guarani foi um dos primeiros contatos registrados pelos europeus na América do Sul.

No Brasil, essa população está espalhada principalmente pelas regiões Sul (Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná), Sudeste (Rio de Janeiro, São Paulo e Espírito Santo) e Centro-Oeste (Mato Grosso do Sul), representando uma das maiores populações indígenas do país.

O povo Guarani que habita o Brasil pode ser dividido em três subgrupos: Kaiowá, M'byá e Ñandeva, totalizando uma população de 67.523 indígenas. Os subgrupos possuem diferenças relacionadas a algumas especificidades em seus dialetos e a alguns eventos culturais e crenças cosmológicas, não constituindo, portanto, uma unidade sócio-política.

O município de Parati é caracterizado por sua grande ocupação de índios Tupi-Guarani, tendo ficado em primeiro lugar na lista de municípios do estado do Rio de Janeiro com maior proporção de população indígena (IBGE, 2010).

Para os índios Guarani, o mito da “Terra sem Mal”, caracterizada pela ausência de guerras, doenças ou fome, além da riqueza de recursos naturais dessa região, a transformam em um abrigo ideal.

As tabelas 2 a) e 2 b) abaixo mostram os cinco municípios fluminenses onde se destacam a presença de tribos indígenas em número e proporção populacional.

Tabela 2 - (a) Municípios com as maiores populações indígenas do país, por situação do domicílio – RJ (2010); (b) Municípios com as maiores proporções de população indígena do país, por situação do domicílio – RJ (2010).

	Total			Urbano			Rural		
	Código	Município	POP	Código	Município	POP	Código	Município	POP
1	3304557	Rio de Janeiro	6.764	3304557	Rio de Janeiro	6.764	3300100	Angra dos Reis	308
2	3304904	São Gonçalo	906	3304904	São Gonçalo	906	3303807	Paraty	186
3	3301702	Duque de Caxias	865	3301702	Duque de Caxias	860	3300704	Cabo Frio	36
4	3303500	Nova Iguaçu	747	3303500	Nova Iguaçu	738	3305554	Seropédica	24
5	3303302	Niterói	655	3303302	Niterói	655	3304524	Rio das Ostras	15

	Total			Urbano			Rural		
	Código	Município	%	Código	Município	%	Código	Município	%
1	3303807	Paraty	0,7	3304607	Santa Maria Madalena	0,3	3300100	Angra dos Reis	5,0
2	3300100	Angra dos Reis	0,3	3300258	Arraial do Cabo	0,3	3303807	Paraty	1,9
3	3300258	Arraial do Cabo	0,3	3305158	São José do Vale do Rio Preto	0,2	3300225	Areal	0,3
4	3304607	Santa Maria Madalena	0,2	3303807	Paraty	0,2	3304524	Rio das Ostras	0,3
5	3305208	São Pedro da Aldeia	0,2	3300704	Cabo Frio	0,2	3303955	Pinheiral	0,2

Fonte: IBGE (Censo 2010)

2.2. Aldeia Guarani Mbya Araponga

A Aldeia Guarani Mbya Araponga, que em guarani significa (Ara= ave/ ponga = ruído) o nome de uma ave que faz um ruído como uma batida de martelo, onde hoje habitam 30 índios guarani falantes da língua Tupi, localiza-se próxima ao bairro de Patrimônio em Parati/RJ. A área de proteção indígena está inserida na Área de Proteção Ambiental do

Cairuçu e no Parque Nacional da Serra da Bocaina, junto à divisa com o estado de São Paulo - coordenadas geográficas: 23°18'47"S, 44°46'04"W. Patrimônio está ligado a Paraty por um trecho de 18 km percorridos pela BR-101, denominada Rodovia Governador Mário Covas, e o acesso de Patrimônio até a Aldeia se dá por uma estrada de terra de aproximadamente 6 km mais 500 m de trilha a pé. A área foi demarcada pela FUNAI em 1991, sendo homologada apenas em 1996, e ocupa um total de 213,2 hectares.

A região do Parque Nacional da Serra da Bocaina, ilustrada na Figura 2.2, é definida como Unidade de Conservação (UC) e representa uma das maiores áreas protegidas de Mata Atlântica, com 104 mil hectares. A área tem definido em seu plano de manejo o seguinte zoneamento: 5,75% do Parque é Zona Intangível, 43,77% Zona Primitiva, 6,43% Zona de Uso Extensivo, 3,21% Zona Histórico Cultural, 5,5% Zona de Uso Intensivo, 0,62% Zona de Uso Especial, e 34,74% Zona de Recuperação. A Aldeia se encontra na Zona de Uso Especial.



Figura 1 - Área de proteção delimitada do Parque Nacional da Serra da Bocaina. – Fonte: site Criativesse - Adaptada.

Essa região está submetida ao clima tropical úmido, com estação seca definida de abril a setembro. A UC possui uma rica rede de drenagem, com uma elevada disponibilidade hídrica superficial, desempenhando um papel vital na conservação e proteção desse recurso. O alto índice pluviométrico total anual, superior a 2.000 mm (CPRM, 2002), e a elevada densidade da vegetação na região lhe conferem também a importante função de estocagem de água no solo.

Atualmente a aldeia conta com uma escola – onde é ensinada a língua Guarani -, um posto de saúde (AIS), uma cozinha comunitária, uma casa de reza, dois banheiros ligados a uma fossa séptica (AISAN), além das 9 casas das famílias que ali vivem.

Esses índios se dedicam à agricultura do feijão, da batata doce, da mandioca e, principalmente do milho. Outras atividades culturais praticadas por eles são o de artesanato e a música.

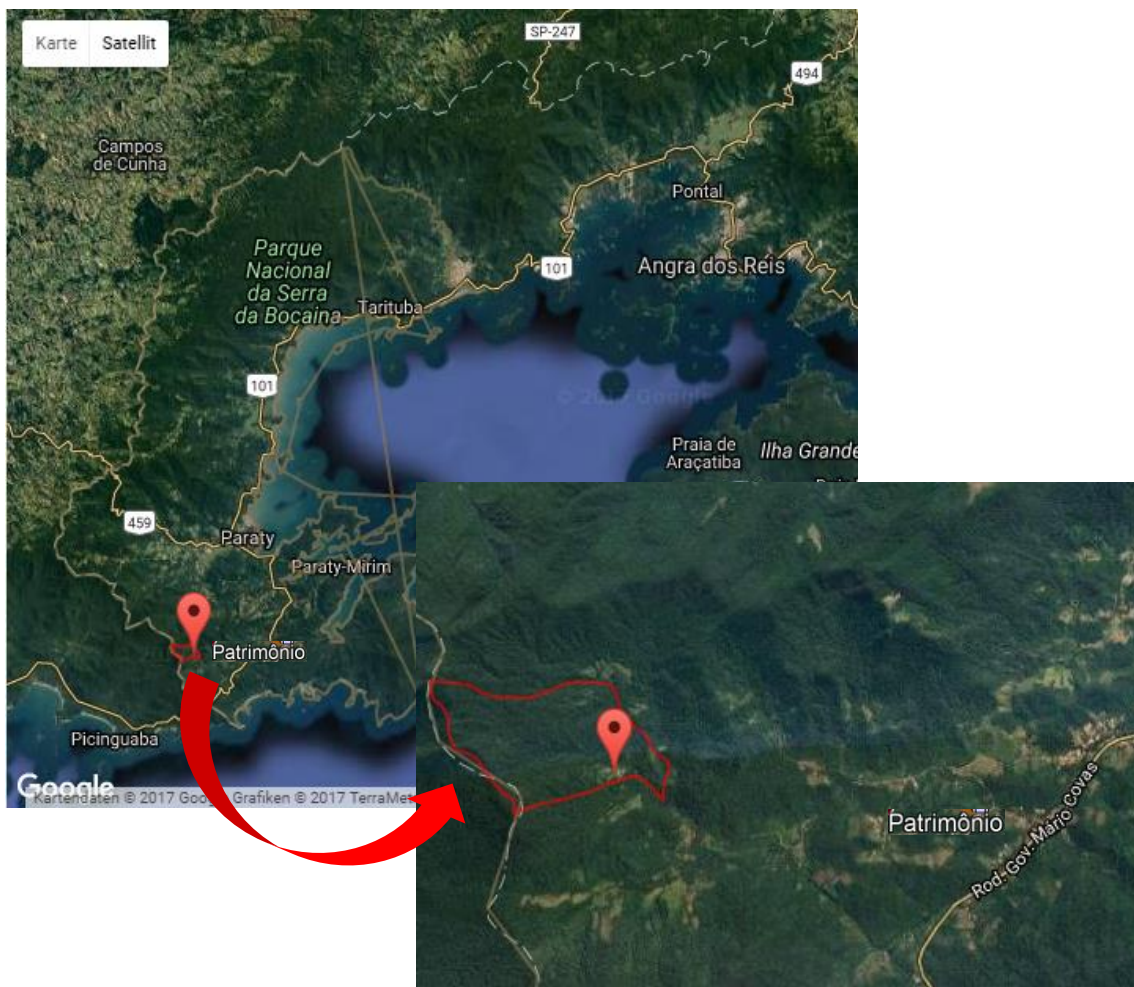


Figura 2 - Delimitação da Terra Indígena Araponga - Fonte: Elaboração própria a partir do Google Earth

Dentre as atividades culturais praticadas pelos índios Guarani, o Nhemongarai, ritual de benzimento do milho colhido e batismo das crianças da aldeia, é um dos mais importantes para a comunidade, pois é quando se recebe toda a orientação espiritual, fortalecendo o corpo e espírito. Os nomes-almas dados às crianças, escutados e ditados pelos pajés, são de divindades e heróis míticos. Durante o evento, que conta com a presença de indivíduos de outras aldeias e turistas, também são realizados cantos, rezas e danças das Xondara.

A aldeia Araponga é a mais isolada dentre as situadas na região e, embora tenha a maior extensão geográfica, a mesma não apresenta rede elétrica da concessionária local, a Enel Rio.

Em 2010, dois sistemas de placas fotovoltaicas SOLAREX foram instalados pelo PRODEEM a fim de suprir a demanda de energia de alguns pontos da aldeia, como a do posto de saúde e alguns pontos de luz. Estes sistemas necessitam, no entanto, de manutenções periódicas que exigem a capacitação de um responsável ou a visita periódica de mão de obra especializada, o que torna as condições dos equipamentos precárias. Outra questão observada é a quantidade de energia fornecida pelo sistema instalado, que é insuficiente visto à crescente demanda.

2.3. Órgãos e Fundações de Proteção ao Índio

As instituições apresentadas abaixo possuem como objetivo geral amparar os povos indígenas, protegendo seus direitos e os representando quando necessário.

I. Fundação Nacional do Índio – FUNAI

A FUNAI é o órgão indigenista oficial do Estado brasileiro criado em 1967, em substituição do Serviço de Proteção ao Índio (SPI). Além de ser responsável pela coordenação, é o principal executor da política indigenista do Governo Federal, protegendo e promovendo os direitos dos povos indígenas no Brasil.

Orientada por princípios como o reconhecimento da organização social, dos costumes, das línguas, crenças e tradições dos povos indígenas, a FUNAI busca a autonomia e autodeterminação desses povos no Brasil através de estudos de identificação, delimitação e regularização fundiária, além do registro das terras tradicionalmente

ocupadas por eles. Cabe à fundação também coordenar e implementar as políticas de proteção aos povos isolados e recém-contatados.

É ainda seu papel promover políticas voltadas ao desenvolvimento sustentável das populações indígenas. Nesse campo, a FUNAI promove ações de etnodesenvolvimento, conservação e a recuperação do meio ambiente em suas terras, além de atuar no controle e mitigação de possíveis impactos ambientais decorrentes de interferências externas.

II. Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional – IPHAN

Criada em 1937, é uma autarquia federal vinculada ao Ministério da Cultura cuja missão é zelar pela preservação do Patrimônio Cultural do país. São atribuições do IPHAN proteger, conservar e promover os bens culturais do País, de forma que as gerações presentes e futuras possam usufruí-los.

Em 2006, o IPHAN organizou um encontro entre povos Mbyá Guarani do Brasil e da Argentina a fim de registrar traços comportamentais e palavras do vocabulário indígena.

III. Conselho Nacional de Política Indigenista - CNPI

O CNPI, instalado em 2007, é um órgão colegiado de caráter consultivo, responsável pela elaboração, acompanhamento e implementação de políticas públicas voltadas aos povos indígenas, propondo princípios e diretrizes para essas políticas ao passo que estabelece critérios e prioridades na condução das mesmas.

O Conselho é composto por 45 membros, dividido em grupos, de maneira a ampliar a participação dos povos indígenas na execução de políticas. Dos 45 membros, 15 são representantes do Poder Executivo federal, todos com direito a voto; 28 são representantes dos povos e organizações indígenas, sendo 13 com direito a voto; e dois são representantes de entidades indigenistas, com direito a voto.

A criação do CNPI, em conjunto com o estabelecimento de ferramentas de acompanhamento e controle, objetiva, portanto, uma maior transparência nas ações executadas pelo Estado brasileiro relacionadas a questões indígenas.

2.4 Legislação Indigenista Brasileira

Esse item traz algumas normas e legislações pertinentes aos direitos conquistados pelos povos indígenas, assim como obrigações do Estado perante a proteção física e cultural e o desenvolvimento dessas comunidades.

I. CONVENÇÃO N° 169 SOBRE POVOS INDÍGENAS E TRIBAIS E RESOLUÇÃO REFERENTE À AÇÃO DA OIT

O Brasil se tornou signatário da Convenção n°169 da Organização Internacional do Trabalho (OIT) em 2003. Dando enfoque à relação entre povos indígenas e tribais com o espaço que ocupam, a Convenção reconhece o direito de posse e propriedade desses povos. Neste sentido, regula os dispositivos constitucionais sobre os direitos indígenas e define alguns critérios de consultas prévias a esses povos, embora não estabeleça os meios pelos quais estas consultas deverão ser feitas.

ARTIGO 5º

“Na aplicação das disposições da presente Convenção:

c) Políticas para mitigar as dificuldades enfrentadas por esses povos, diante das novas condições de vida e trabalho, deverão ser adotadas. ”

ARTIGO 7º

“1. Os povos interessados terão o direito de definir suas próprias prioridades no processo de desenvolvimento na medida em que afete sua vida, crenças, instituições, bem-estar espiritual e as terras que ocupam ou usam para outros fins, e de controlar, na maior medida possível, seu próprio desenvolvimento econômico, social e cultural. Além disso, eles participarão da formulação, implementação e avaliação de planos e programas de desenvolvimento nacional e regional que possam afetá-los diretamente.”

ARTIGO 15º

“1. O direito dos povos interessados aos recursos naturais existentes em suas terras deverá gozar de salvaguardas especiais. Esses direitos incluem o direito desses povos de participar da utilização, administração e conservação desses recursos. “

“ARTIGO 25º

“1. Os governos tomarão as medidas necessárias que garantam que serviços de saúde adequados sejam disponibilizados aos povos interessados ou que eles sejam dotados dos recursos necessários para desenvolver e prestar esses serviços sob sua própria responsabilidade e controle para que possam desfrutar do maior nível possível de saúde física e mental.”

II. CONSTITUIÇÃO FEDERAL 1988

ARTIGO 231º

“§ 2º As terras tradicionalmente ocupadas pelos índios destinam-se a sua posse permanente, cabendo-lhes o usufruto exclusivo das riquezas do solo, dos rios e dos lagos nelas existentes.”

III. DECLARAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE OS DIREITOS DOS POVOS INDÍGENAS

ARTIGO 26º

“1. Os povos indígenas têm direito às terras, territórios e recursos que possuem e ocupam tradicionalmente ou que tenham de outra forma utilizado ou adquirido.”

“2. Os povos indígenas têm o direito de possuir, utilizar, desenvolver e controlar as terras, territórios e recursos que possuem em razão da propriedade tradicional ou de outra forma tradicional de ocupação ou de utilização, assim como aqueles que de outra forma tenham adquirido.”

ARTIGO 32º

“1. Os povos indígenas têm o direito de determinar e de elaborar as prioridades e estratégias para o desenvolvimento ou a utilização de suas terras ou territórios e outros recursos.”

IV. DECRETO Nº 7.747, DE 5 DE JUNHO DE 2012

“Institui a Política Nacional de Gestão Territorial e Ambiental de Terras Indígenas – PNGATI, e dá outras providências. ”

ARTIGO 4º

“V - eixo 5 - uso sustentável de recursos naturais e iniciativas produtivas indígenas:

a) garantir aos povos indígenas o usufruto exclusivo das riquezas do solo, dos rios e dos lagos existentes em terras indígenas;

b) fortalecer e promover as iniciativas produtivas indígenas, com o apoio à utilização e ao desenvolvimento de novas tecnologias sustentáveis. ”

V. ESTATUTO DO ÍNDIO

Sancionada em 1973 pela Lei nº 6.001, o Estatuto do Índio tem como um de seus objetivos regular a situação jurídica das comunidades indígenas, além de garantir assistência por parte do governo.

Neste documento, é assegurado o usufruto de riquezas naturais presentes em seus territórios, podendo, inclusive, explorá-las comercialmente.

Ainda em fase de tramitação, o ESTATUTO DE POVOS INDÍGENAS vem em substituição ao ESTATUTO DO ÍNDIO, cuja abordagem de proteção do índio na forma de tutela é considerada retrógrada, indo de encontro ao disposto na Constituição de 1988.

ARTIGO 4º

“Os índios são considerados:

I - Isolados - Quando vivem em grupos desconhecidos ou de que se possuem poucos e vagos informes através de contatos eventuais com elementos da comunhão nacional;”

ARTIGO 24º

“O usufruto assegurado aos índios ou silvícolas compreende o direito à posse, uso e percepção das riquezas naturais e de todas as utilidades existentes nas terras ocupadas, bem assim ao produto da exploração econômica de tais riquezas naturais e utilidades.”

“§ 1º Incluem-se, no usufruto, que se estende aos acessórios e seus acrescidos, o uso dos mananciais e das águas dos trechos das vias fluviais compreendidos nas terras ocupadas.”

Em geral, as legislações que amparam e garantem os direitos dos povos indígenas lhes conferem o direito de usufruir os recursos naturais presentes em suas terras, incluindo os recursos hídricos para aproveitamento hidrelétrico. Delegam, ainda, ao Estado o dever de mitigar dificuldades enfrentadas por esses povos e de garantir serviços básicos, lhes assegurando saúde física e mental.

3. SETOR ENERGÉTICO BRASILEIRO

3.1. Cenário atual

O modelo institucional do setor de energia elétrica brasileiro passou por duas grandes mudanças, tendo a última culminado no novo modelo, hoje vigente. Desde 1998, com o Projeto de Reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro – Projeto RE-SEB, busca-se a redução da vulnerabilidade do setor no país. Dentre as principais conclusões desse projeto, estava incluída a necessidade de desverticalizar ¹empresas do setor de energia elétrica, incentivar a competição na geração e comercialização, além de manter sob regulação os setores de distribuição e transmissão. O atual modelo para o Setor Energético Brasileiro (SEB) foi então lançado em 2004, sustentado pela Lei n° 10.487/04 e pela Lei n° 10.484/04.

Segundo o Ministério de Minas e Energia (MME), como objetivos principais do então novo modelo, estavam a garantia de segurança e eficiência do suprimento de energia elétrica, a promoção da modicidade tarifária, além da inserção social no setor elétrico, com auxílio de programas de universalização do atendimento.

Por meio dessas leis, ficou definida a criação de três novas instituições. A Empresa de Pesquisa Energética (EPE), que ficou responsável por desenvolver estudos necessários ao planejamento no longo prazo da expansão do sistema elétrico; a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), criada com o objetivo de organizar as atividades de comercialização de energia no Sistema Interligado Nacional (SIN), incluindo a definição de preços de curto prazo do mercado livre e a realização de leilões, e a terceira instituição, o Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE), cuja

¹ Empresas verticalizadas no setor de energia elétrica atuam tanto na geração, quanto na transmissão e distribuição de energia.

função é de acompanhar e avaliar permanentemente a continuidade e segurança do suprimento de energia elétrica no país.

Como agência reguladora, manteve-se a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), instituída em 1996 sucedendo o Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE), cujas atribuições incluem a implementação de políticas e diretrizes para exploração de potenciais de geração, gestão de contratos, regulação e fiscalização da prestação de serviços, estabelecimento de tarifas e aplicação de multas administrativas. Em resumo, no papel de agência reguladora, deve garantir a operação de todos os agentes do setor elétrico em um ambiente de equilíbrio.

O Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), entidade autônoma instituída em 1998 em substituição do Grupos de Controle das Operações Integradas (GCOI), é o órgão responsável pela coordenação e controle da operação das usinas e redes de transmissão do SIN, além do planejamento da operação dos sistemas isolados do país. Para gerenciar as diferentes fontes de energia e redes de transmissões, realiza uma série de estudos e projeções com base em dados de oferta de energia elétrica e do mercado consumidor.

Por fim, com a função de assessorar o Presidente da República na formulação de políticas e diretrizes do setor energético, o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) atua desde 1997, ano da sua criação, compondo o quadro de instituições do SEB, apresentado na Figura 3 abaixo.

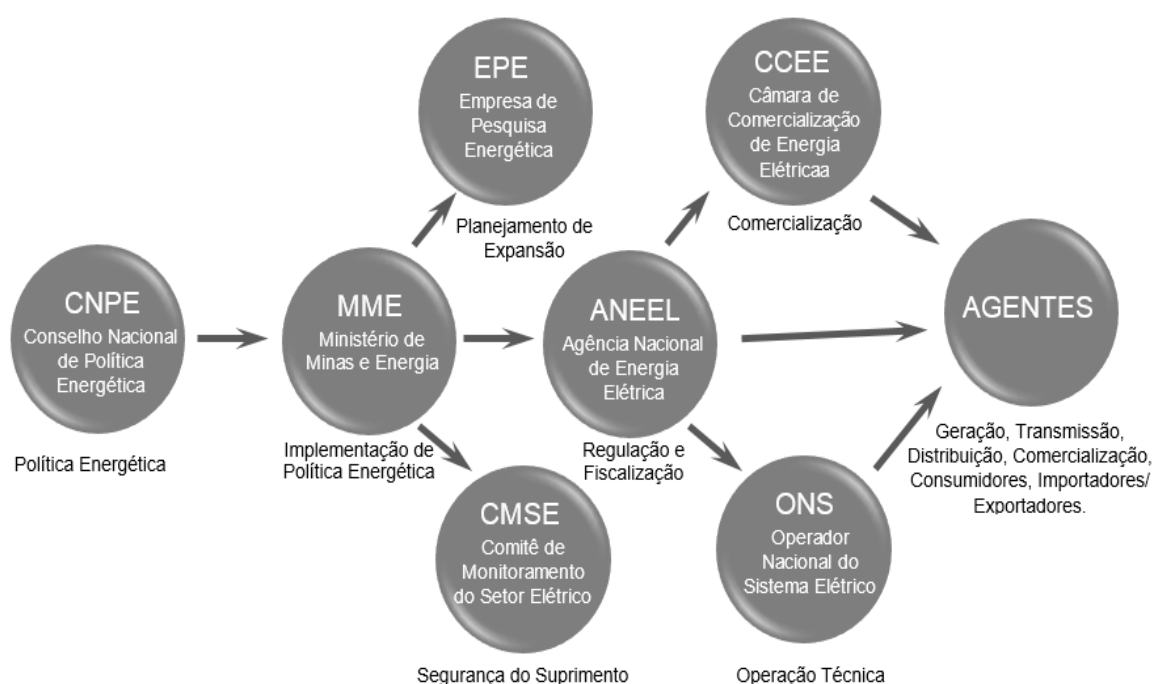


Figura 3 - Estrutura Institucional do SEB

Fonte: Site NOS - Adaptado

o melhor desempenho desde 2008 em relação a continuidade de suprimento de energia. A ANEEL divulgou que, em 2016, o sistema de distribuição de energia elétrica ficou disponível 99,82%, o que equivale a uma Duração Equivalente de Interrupção (DEC)² de apenas 15,82 horas no ano, representando uma melhora de 15% em relação ao valor registrado em 2015. Em contra partida, a desverticalização das empresas, provocando o aumento em seus custos operacionais, somados a necessidade de formação de caixa para financiar investimentos, resultaram em aumentos da tarifa de energia elétrica bem acima da inflação, gerando insatisfação dos consumidores.

O Brasil dispõe como fontes de geração de energia elétrica, de usinas hidrelétricas, usinas térmicas³, usinas nucleares, solares e eólicas. Os produtores de energia elétrica podem ser classificados de duas maneiras, como Autoprodutores (APE)⁴ ou Produtores Independentes de Energia Elétrica (PIE)⁵, podendo comercializar a energia elétrica produzida tanto no Ambiente de Contratação Livre (ACL) como no Ambiente de Contratação Regulada (ACR).

De acordo com informações atualizadas do Banco de Informações de Geração da ANEEL, que disponibiliza dados sobre a capacidade de geração de energia elétrica no Brasil, estão em operação 4.694 usinas, totalizando uma capacidade instalada, ou seja, uma potência fiscalizada, computadas até agosto de 2017, de 153.439.212 kW.

Embora a geração hidrelétrica tenha maior representatividade na capacidade instalada do Brasil, essa porcentagem tende a diminuir, caso se configure o cenário previsto pelo BIG, ou seja, todas as usinas até agora outorgadas entrando em operação. Esse fenômeno é consequência do aumento da representatividade das fontes renováveis, estimuladas por programas governamentais, como o ProGD e o Proinfa. O Gráfico 3.1

² Duração Equivalente de Interrupção (DEC) - Tempo que, em média, no período de observação, cada unidade consumidora ficou sem energia elétrica.

³ Incluindo biomassa, gás, petróleo e carvão mineral.

⁴ Autoprodutores (APE) podem ser pessoas físicas ou jurídicas ou empresas reunidas em consórcio que recebam concessão ou autorização para produzir energia elétrica destinada ao seu uso exclusivo podendo, eventualmente e com autorização da ANEEL, comercializar o excedente de energia elétrica gerada.

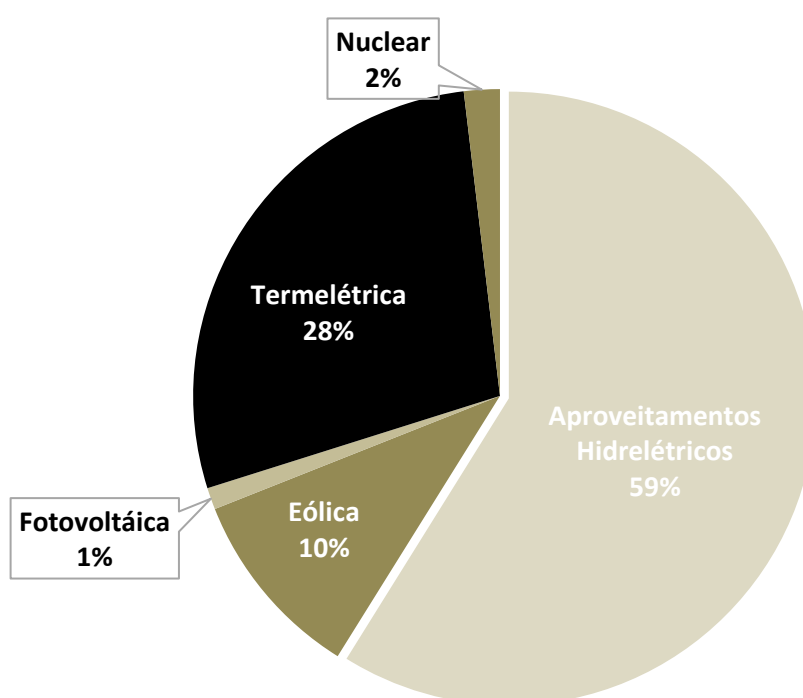
⁵ Produtores Independentes de Energia Elétrica (PIE) podem ser pessoas jurídicas ou empresas reunidas em consórcio que recebem concessão ou autorização do Poder Concedente para produzir energia elétrica destinada ao comércio de toda ou parte da energia produzida, por sua conta e risco.

mostra a projeção da participação das fontes de energia no Brasil, uma vez que todas as usinas outorgadas entrem em operação, inclusive as de geração distribuída.

A EPE apresenta em seu último Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional (BEN)– Ano base 2016 - onde são trazidas informações consolidadas sobre quanto e como se utilizou energia no Brasil - o aumento de capacidade instalada no país, por fonte de geração. Os dados são apresentados na Tabela 3, na qual se pode observar a expansão de cada fonte, em termos absolutos e percentuais, em especial da geração eólica.

Note que os valores mostrados na tabela não incluem capacidade instalada de geração distribuída, apenas centralizada.

Gráfico 2 - Projeção da participação das matrizes energéticas. (Base de dados: BIG/17)



Fonte: Elaboração própria a partir de (BIG/2017)

Tabela 3 - Variação da capacidade instalada (MW) por fonte de geração.

Fonte	2015	2016	Δ 16/15
Hidrelétrica	91.650	96.925	5,8%
Térmica ²	39.580	41.276	4,3%
Nuclear	1.990	1.990	0,0%
Eólica	7.633	10.124	32,6%
Solar	21	24	13,1%
Capacidade disponível	140.874	150.338	6,7%

Fonte: Empresa de Pesquisa Energética - BEN 2016

A geração e a distribuição de energia elétrica no Brasil são partes de um sistema principal, chamado Sistema Interligado Nacional (SIN). O sistema de distribuição (SIN) é caracterizado pela geração centralizada, formada por centrais de grande porte, e por extensas linhas de transmissão que abrangem a maior parte do território nacional, distribuindo a energia elétrica gerada. O SIN é dividido em quatro sub-sistemas, Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e Norte. A interconexão entre os subsistemas permite não só a transmissão de energia elétrica, mas a exploração de diferentes regimes hidrológicos dentro do território, garantindo maior segurança e economicidade na transmissão de energia. Porém, ao passo que essa configuração de distribuição permite interligar regiões com grandes potenciais de geração de energia a regiões com grande demanda e baixo potencial disponível, as longas linhas de transmissão são responsáveis por enormes perdas durante a condução dessa energia.

A rede do SIN está ligada a 16 grandes bacias hidrográficas, como mostrado na Figura 4, dispostas nas diferentes regiões do país. Dessa maneira, se faz necessário atentar ao comportamento hidrológico de cada bacia e seu entorno a fim de prever possíveis falhas de transmissão.

Vale destacar que a expansão mencionada da geração eólica nos últimos anos, principalmente nas regiões Nordeste e Sul, tem refletido na configuração do SIN, diminuindo sua dependência de regimes hidrológicos e aumentando a confiabilidade de transmissão. As usinas térmicas, também desempenham esse papel estratégico, uma

vez que, em geral, estão localizadas nas proximidades dos principais centros de carga, contribuindo para a segurança do SIN.

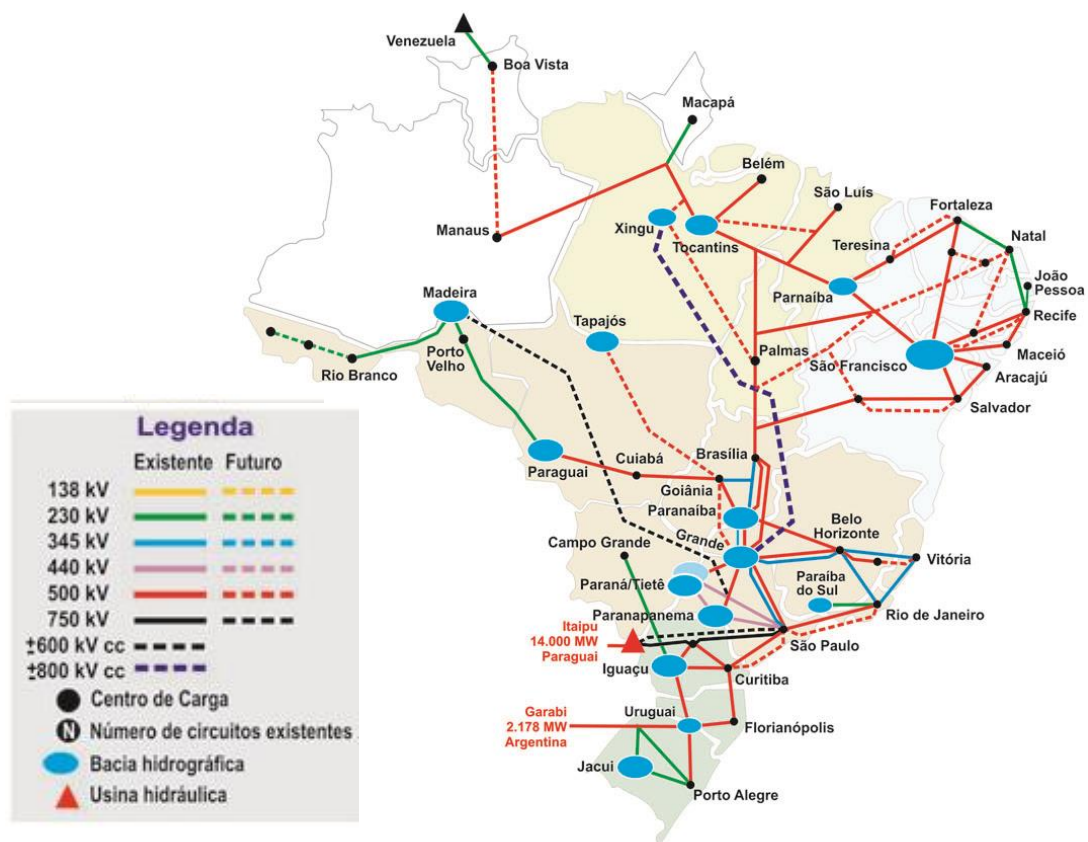


Figura 4 - Interligação do SIN e principais Bacias Hidrográficas brasileiras.

Fonte: Site ONS

A Figura 5 apresenta a configuração do SIN. Nela estão presentes todas as linhas de transmissão, existentes e planejadas, e suas respectivas tensões, ligando as centrais de geração centralizadas aos centros de demanda.

O Operador Nacional do Sistema Elétrico é responsável não só por realizar atividades administrativas do serviço de transmissão do SIN, mas também por desenvolver atividades de planejamento e programação da operação, por elaborar estudos, normas e procedimentos técnico-operacionais e pela coordenação, supervisão e controle da Rede de Operação do sistema eletroenergético.

Tanto o ONS como os agentes de operação são responsáveis por atividades do processo de Integração de Novas Instalações à operação do SIN. As Leis nº 9.074/1995 e nº 9.648/1998 instituem o livre acesso, que assegura o direito de qualquer acessante a conectar-se e fazer uso do sistema elétrico. Caso o acessante deseje estabelecer

conexão às instalações de transmissão, deverá formalizar a solicitação ao ONS e no caso de desejar acessar apenas as instalações de distribuição, a solicitação deverá ser feita diretamente à concessionária de distribuição.

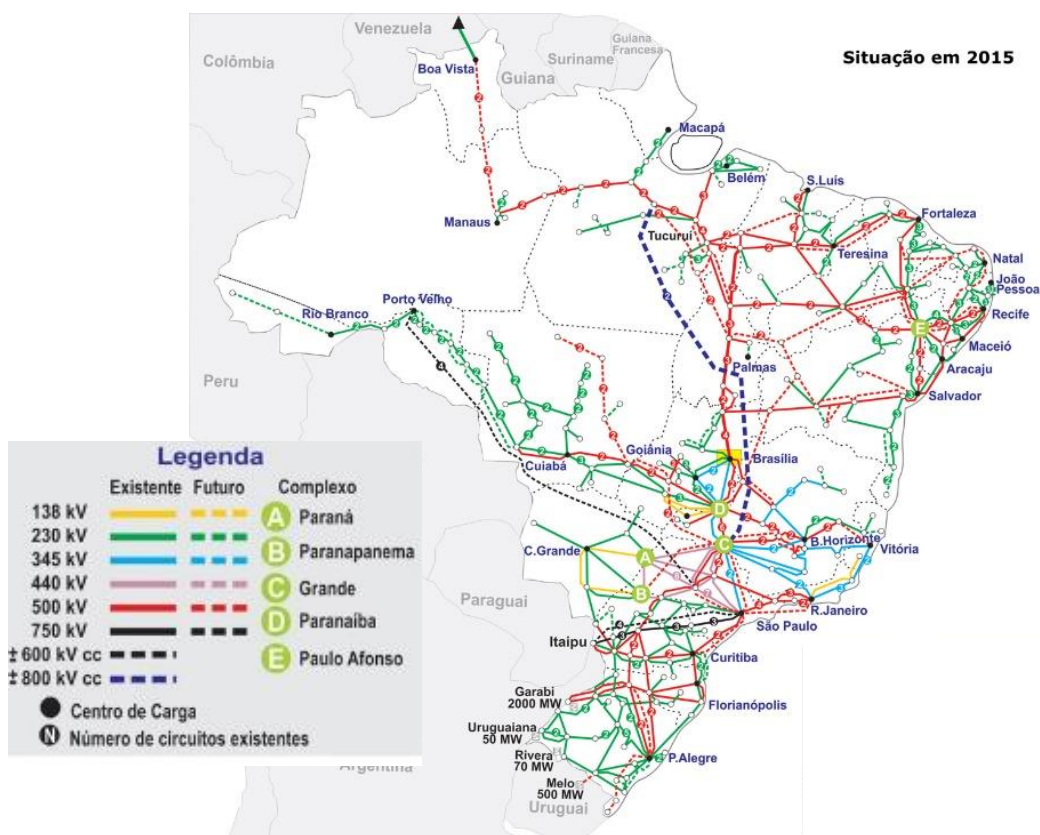


Figura 5 - Configuração do SIN. Ano 2015.

Fonte: Site ONS

A Geração Distribuída (GD)⁶ no Brasil, composta principalmente por pequenos aproveitamentos hidrelétricos e usinas solares, vem aumentando expressivamente sua participação no total de capacidade disponível, somando no ano de 2016 uma capacidade instalada de 84 MW (MME, 2016). Esse aumento de geração distribuída pode ser atribuído à mais de um fator, desde a evolução de tecnologias capazes de aproveitar potenciais menores, ao lançamento de programas governamentais de incentivo à essa modalidade de geração, como o Programa de Geração Distribuída

6 Geração Distribuída (GD) - Refere-se à geração elétrica produzida junto ou próxima ao consumidor, independentemente da capacidade de geração, da fonte de energia ou da tecnologia. A geração distribuída considera co-geradores, geradores de emergência ou para horário de picos, painéis fotovoltaicos, geradores eólicos, PCH e CGH, e outros.

(PROGD), lançado em dezembro de 2015. Também se observa o interesse tanto por parte das distribuidoras, por economizarem no processo de transmissão e reduzirem perdas, quanto por parte dos consumidores, que garantem uma melhor estabilidade do serviço de energia elétrica.

A Tabela 4 abaixo apresenta as capacidades instaladas no Brasil, por matéria prima, de geração de energia, incluindo a geração de energia elétrica distribuída.

Tabela 4 - Capacidade Instalada de Geração de Energia (dez/2016).

Fonte	N° Usinas	Potência Instalada (MW)	Estrutura % da Potência	Expansão n-(n-1) MW
Hidrelétrica (*)	1.259	96.925	64	5.205
<i>UHE</i>	220	91.499	60,9	5.002
<i>PCH</i>	453	4.941	3,3	203
<i>CGH</i>	586	484	0,3	0
Biomassa	534	14.187	9	785
<i>Bagaço de Cana</i>	399	10.903	7,3	371
<i>Biogás</i>	29	119	0,1	40
<i>Lixívia e outros</i>	106	3.166	2,1	375
Eólica	413	10.124	7	2.564
Solar	44	24	0	4
Urânio	2	1.990	1	0
Gás	192	14.671	10	773
<i>Gás Natural</i>	156	12.965	8,6	537
<i>Gás Industrial</i>	36	1.707	1,1	237
Óleo	2.220	8.877	6	196
<i>Do qual Óleo combustível</i>	41	4.057	2,7	-84
Carvão Mineral	13	3.389	2	0
Desconhecidas	30	150	0	-5
Subtotal	4.707	150.338	100	9.523
Geração Distribuída	8.908	84	100	68
<i>Solar</i>	8.691	61	72,9	48
<i>Eólica</i>	47	5	6,2	5
<i>Hidro</i>	24	5	6,5	5
<i>Térmica</i>	146	12	14,4	10
Total Nacional	13.615	150.422		9.591
<i>Dos quais Renováveis</i>	11.158	121.344	80,7	8.626
Disponibilidade com importações		156.271		

Fonte: Ministério de Minas e Energia (MME)

3.2 Potencial hidrelétrico brasileiro e sua participação na matriz energética nacional

Abundância e disponibilidade de água em território brasileiro são características que chamam atenção desde os primeiros relatos de viajantes portugueses. A inter-relação entre água e energia também não é assunto novo.

Embora o Brasil tenha começado a aproveitar seu potencial hídrico há apenas pouco mais de cem anos, a rede hidrográfica brasileira é bastante favorável à geração hidrelétrica, uma vez que conta com extensos rios de planalto de grandes dimensões, alimentados por um regime de chuvas tropicais que mantêm uma das maiores reservas de água doce do mundo. Entretanto, o impulso no desenvolvimento desse potencial teve início apenas no final da década de 50, liderado por empresas federais e estaduais.

A primeira usina hidrelétrica brasileira entrou em operação em 1883, no município de Diamantina, Minas Gerais. A usina a fio d'água⁷, situada no rio Ribeirão do Inferno, afluente do rio Jequitinhonha, dispunha de uma queda bruta de cinco metros para uma autoprodução destinada ao abastecimento de uma mineradora de diamantes na localidade. Desde então o Brasil seguiu aproveitando seu potencial hidráulico como fonte principal de geração de energia e alavanca ao desenvolvimento econômico.

Atualmente o Brasil ocupa o terceiro lugar no mundo em quesito maior potencial hidráulico, embora não ocupe a mesma posição se tratando de percentual explorado (Tomalskin, Maurício - Presidente da EPE 2011). Segundo pesquisa da EPE, o aproveitamento do potencial hidrelétrico de um país está relacionado com seu desenvolvimento econômico (EPE, 2006), e seu Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), ao consumo de energia per capita, sendo esse valor anual de 4.000 kWh a linha divisória entre países desenvolvidos e em desenvolvimento (World Bank, 2007). Considerando as afirmações acima, e apresentando um consumo de energia per capita anual de 2.266 kWh (EPE, 2016), o Brasil se configura, portanto, como um país em desenvolvimento.

⁷ Usinas a fio d'água: Caracterizadas por não possuírem reservatório com a função de regular o fluxo d'água, ou seja, não há acúmulo de água. Sendo assim, aproveitam apenas a vazão presente, gerando menos energia do que a capacidade do sistema permite em épocas de estiagem.

O baixo aproveitamento do potencial hidrelétrico brasileiro pode ser atrelado a diversos fatores. De todo o potencial hidráulico disponível, por exemplo, 60% se encontra na região norte do país, onde vem sendo definidas fortes restrições ambientais para o aproveitamento hidrelétrico. A bacia do Rio Xingu, onde se encontra uma parcela em torno de 10% (SIPOT, 2003) do potencial hidráulico brasileiro, desde 2007, com a conclusão do inventário de algumas bacias, teve alguns aproveitamentos inviabilizados ambientalmente, o que representa aproximadamente 13 GW.

Embora os maiores potenciais hidráulicos remanescentes estejam nas bacias hidrológicas localizadas nessas regiões com fortes restrições ambientais, que, inclusive, se encontram distantes dos principais centros de demanda, estima-se que nos próximos anos pelo menos 50% da necessidade de expansão da capacidade de geração seja de origem hídrica (ANEEL, 2002).

O potencial hidrelétrico brasileiro, tecnicamente explorável, é calculado em aproximadamente 250 GW, estando o maior percentual dessa potência disponível na Bacia do Rio Amazonas. Essa região dispõe de 96,6 GW, aproximadamente 39% da disponibilidade total, embora detenha menos de 5% da população brasileira. Já as Bacias do Atlântico Leste, Sudeste, Norte e Nordeste e a Bacia do Uruguai, onde se encontra mais de 70% da população, contam apenas com a disponibilidade de 39 GW explorável.

As Tabela 5 e 6 abaixo apresentam, discriminado por bacia hidrográfica e por estado, o potencial hidrelétrico ainda passível de ser explorado no Brasil.

Tabela 5 - Estágios do Potencial Hidrelétrico Brasileiro por Bacia Hidrográfica– Ano Base 2016.

Bacia	Estimado (MW)	Inventário (MW)	Viabilidade (MW)	Projeto Básico (MW)	Construção (MW)	Operação (MW)	Total Geral (MW)
Rio Amazonas	32.976	38.369	774	949	1.503	22.074	96.645
Rio Tocantins	1.875	8.056	3.738	120	0	13.245	27.034
Atlântico Norte e Nordeste	707	871	466	50	0	812	2.906
Rio São Francisco	1.561	3.896	6.140	234	32	10.751	22.614
Atlântico Leste	1.423	5.796	665	822	71	5.394	14.171
Rio Paraná	5.100	9.524	1.896	2.241	457	43.439	62.657
Rio Uruguai	416	4.054	292	451	152	6.359	11.724
Atlântico Sudeste	2.031	1.880	2.218	325	40	3.755	10.249
Totais	46.089	72.446	16.189	5.192	2.255	105.829	248.000

Fonte: SIPOT-Eletróbrás - Adaptado

Tabela 6 - Potencial Hidrelétrico Brasileiro em cada Estágio por Estado (MW) – (Dez/2016).

UF	Estimado	Inventário	Viabilidade	Projeto Básico	Construção	Operação	Total Geral
AC	1.058	63	0	0	0	0	1.121
AL	17	13	1.165	0	0	1.582	2.777
AM	12.935	7.046	0	7	0	250	20.238
AP	360	1.060	66	8	0	735	2.229
BA	324	1.628	3.038	372	0	6.859	12.221
CE	0	3	0	18	0	4	25
DF	0	0	0	0	0	30	30
ES	213	627	0	19	0	558	1.417
GO	2.066	4.054	405	116	29	5.735	12.405
MA	292	430	894	3	0	663	2.282
MG	2.512	7.255	754	701	105	12.665	23.992
MS	843	934	0	761	38	3.636	6.212
MT	5.588	11.143	75	282	1.122	2.944	21.154
PA	5.154	23.036	930	712	350	20.831	51.013
PB	6	2	0	0	0	4	12
PE	0	304	500	22	0	758	1.584
PI	0	101	230	0	0	119	450
PR	1.464	3.708	1.666	964	350	16.059	24.211
RJ	545	853	220	146	27	1.454	3.245
RN	0	2	0	0	0	0	2
RO	5.307	477	0	57	41	7.338	13.220
RR	4.262	1.301	324	0	0	5	5.892
RS	1.745	3.516	146	274	25	4.506	10.212
SC	470	2.080	146	419	167	4.108	7.390
SE	0	0	1.165	0	0	1.581	2.746
SP	770	975	2.162	233	0	11.087	15.227
TO	157	1.833	2.304	80	0	2.320	6.694
Totais	46.088	72.444	16.190	5.194	2.254	102.195	248.001

Fonte: SIPOT Eletrobrás - Adaptado

Como mencionado no item 3.1, o Brasil apresenta uma capacidade instalada de 153.439.212 kW, distribuída em 4.694 usinas, atualmente em operação. (BIG – ANEEL).

Desse total, 99.352.629 kW, ou seja, 64,75% são referentes somente à aproveitamentos hidrelétricos, incluindo Usinas Hidrelétricas (UHE), Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) e Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH), como mostrado na Tabela 7 abaixo.

Tabela 7 - Quantidade e potência de empreendimentos em operação por fonte de geração.

Empreendimentos em Operação				
Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	%
CGH	615	548.492	550.493	0,36
EOL	451	11.032.039	10.920.243	7,12
PCH	432	4.953.962	4.944.684	3,22
UFV	50	148.234	144.234	0,09
UHE	218	101.169.278	93.857.452	61,17
UTE	2926	42.503.460	41.032.106	26,74
UTN	2	1.990.000	1.990.000	1,30
Total	4.694	162.345.465	153.439.212	100

Fonte: Banco de Informação de Geração (BIG) / ANEEL - Adaptado

O BIG informa ainda que além de mais 256 usinas já em construção, totalizando 11.125.963 kW, outras 590 já tiveram seus processos de outorga autorizados, prometendo um acréscimo de mais 13.364.706 kW à capacidade de geração do país. Desses valores, 39 usinas em construção, somando 2.317.839 kW, são aproveitamentos hidrelétricos e dos 590 empreendimentos outorgados, 179 também são usinas hidrelétricas, somando 2.475.813 kW. Esses números indicam que, embora muitas usinas hidrelétricas já estejam sendo e virão a ser construídas, a representatividade dessa fonte de geração tende a diminuir na matriz energética brasileira, como está mostrando o Gráfico 3 no item 3.1.

4. APROVEITAMENTOS HIDRELÉTRICOS

4.1 Definição

A energia elétrica gerada nas usinas hidrelétricas é produzida por meio do aproveitamento da energia cinética contida nas massas de água em movimento. Este processo ocorre quando a energia cinética é transformada em energia mecânica através da rotação das pás das turbinas que compõem o sistema da usina e, posteriormente, é transformada em energia elétrica pelo gerador do sistema. Dentre os principais fatores que influenciam na geração dessa energia estão a vazão do rio, ou seja, o volume de

água que escoar por segundo; os desníveis do relevo, naturais ou artificiais; variações da disponibilidade de água de acordo com o período de tempo e a capacidade ou potência instalada da usina, que irá influenciar no tipo de turbina, nos sistemas operacionais e nos equipamentos empregados.

A Figura 6 ilustra um esquema simplificado de aproveitamento hidrelétrico.

O projeto de uma usina hidrelétrica deve apresentar uma série de levantamentos, estudos e avaliações sobre a bacia hidrográfica antes mesmo de começar a desenvolver o estudo específico do empreendimento.

Esse, por sua vez, deve ser autorizado antes de iniciar sua construção, o que pode envolver diversas instituições como o IBAMA - Instituto Brasileiro dos Recursos Naturais Renováveis, FUNAI - Fundação Nacional do Índio, ICMBio - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, IPHAN - Instituto de Patrimônio Histórico e Artístico Nacional e a ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, responsável por analisar a viabilidade técnica e econômica da usina. Na Figura 7 a seguir, estão esquematizadas as etapas do processo de planejamento e de licenciamento de usinas hidrelétricas.

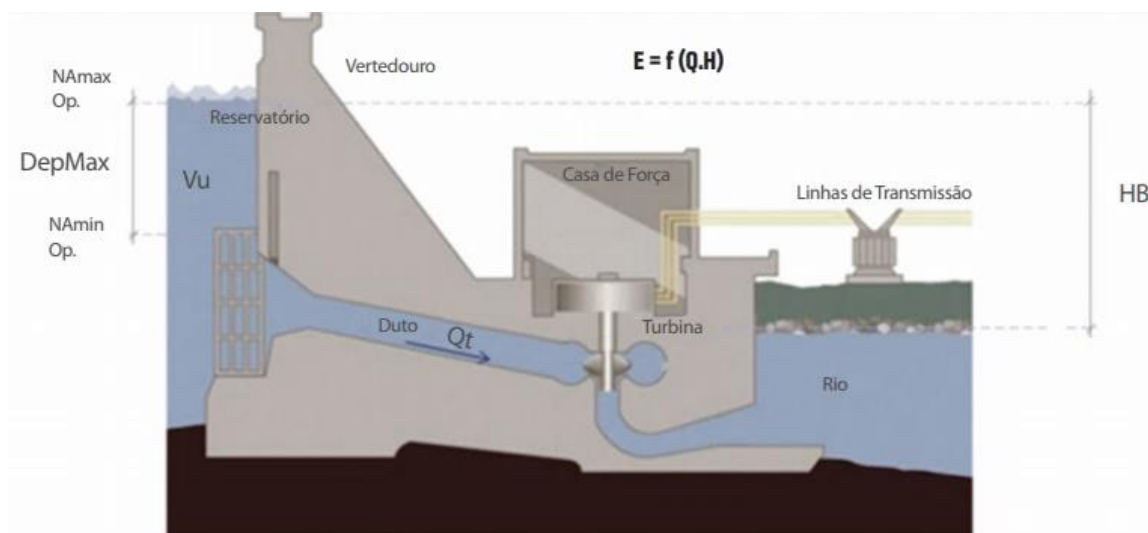


Figura 6 - Esquema simplificado de um aproveitamento hidrelétrico.

Fonte: Secretaria de Minas e Energia (SME)

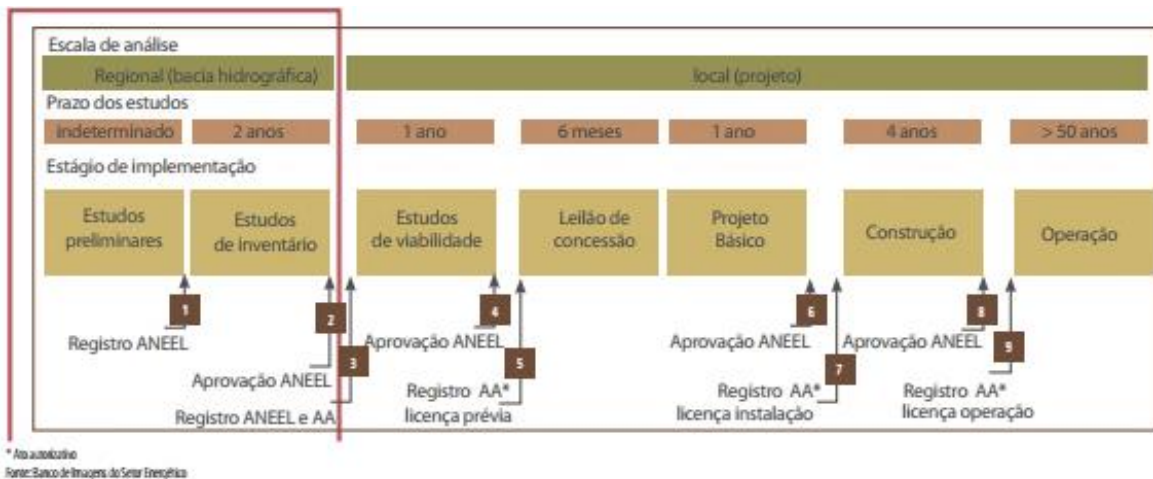


Figura 7 - Etapas do Planejamento de um Aproveitamento Hidrelétrico.

Fonte: ANEEL

Em relação à classificação dos aproveitamentos hidrelétricos, a Resolução Normativa nº 687 de 2015, adota as três seguintes classificações, de acordo com a potência instalada do empreendimento:

Tabela 8 - Classificação de aproveitamentos hidrelétricos quanto a potência instalada.

APROVEITAMENTOS HIDRELÉTRICOS		
<p>UHE</p> <p>P > 50 MW</p>	<p>PCH</p> <p>5 MW < P < 50 MW</p>	<p>CGH</p> <p>MICRO CH: P < 75 KW MINI CH: 75 KW < P < 5 MW</p>

Fonte: ANEEL - Adaptado

4.2 Vantagens das UHEs

Vistas por algumas pessoas como inimigas do meio ambiente, as usinas hidrelétricas são em muitos casos a alternativa mais vantajosa de geração de energia elétrica, seja no quesito social, econômico ou ambiental.

As usinas hidrelétricas são classificadas como fontes de energia renovável, uma vez que a água utilizada para gerar energia não é consumida. Além disso, geram eletricidade por meio da energia cinética das águas dos rios, emitindo quantidades desprezíveis de gases poluentes nesse processo, sendo, portanto, uma energia limpa. Estudos realizados nesta última década, conduzidos pelo CEPEL, apontam ainda que reservatórios de UHE seriam capazes de absorver gases de efeito estufa (Eletrobrás, 2013).

Em relação à poluição sonora, usinas hidrelétricas são conhecidas por apresentarem níveis imperceptíveis de ruídos e vibrações em seus funcionamentos normais. Em usinas de grande porte é possível ainda a instalação de acessórios em alguns componentes e adoção de medidas, como o envolvimento da turbina por cobertores isolantes de som, que reduzem os ruídos para níveis de potências da ordem de 70 dB, o que é quase imperceptível no exterior.

Dentre os benefícios sociais relacionados à implantação de hidrelétricas, observa-se o desenvolvimento da região em seu entorno, principalmente dos municípios-base onde estão as instalações e as gerências locais desses empreendimentos. Esse desenvolvimento é consequência não só de compensações financeiras e programas socioambientais, mas do aumento da distribuição do ICMS e do dinamismo econômico intensificado pela instalação de empresas concessionárias na região. Outro fenômeno também observado com frequência é o desenvolvimento do turismo devido à formação do reservatório.

O represamento de água possibilita não só a exploração turística do local, mas também o desenvolvimento de atividades que dependam de irrigação, como a agricultura. Além disso, a estrutura do reservatório pode ser usada para amortecimento de cheias ou vertimento da água, regulando assim a vazão do rio.

Em relação às vantagens financeiras e econômicas, usinas hidrelétricas apresentam cada vez mais um custo menor de operação em decorrência da automatização desses sistemas. Para o consumidor, essa energia também é mais econômica, pois não dependendo do gás ou de combustíveis fósseis, como gasolina e diesel, o preço da energia gerada não sofre oscilação com frequência.

Em nível de segurança de fornecimento de energia elétrica, é a única fonte dentre as renováveis que pode ser armazenada, aumentando a estabilidade e confiabilidade do sistema elétrico do país.

4.3 Desvantagens e impactos associados às UHEs

Embora traga uma série de benefícios, aproveitamentos hidrelétricos em geral, mas principalmente os maiores e com presença de grandes reservatórios, estão associados à alguns impactos. A maioria já é bem compreendida e administrável mediante medidas de mitigação e compensação de danos, porém alguns são irreversíveis.

Afetações à fauna e à flora locais são frequentemente observadas em decorrência da construção dos reservatórios. As primeiras mudanças são a alteração de hábitos da fauna local e o alagamento de extensas áreas antes cobertas por vegetação. Com o passar do tempo essa vegetação vai morrendo, criando não só um acúmulo de matéria orgânica e lodo no fundo do reservatório, mas formando florestas de “paliteiros”, como são chamados apenas os troncos das árvores mortas. Biólogos alegam ainda a importância das áreas marginais aos rios em questão de biodiversidade, uma vez que proporcionam serviços ecossistêmicos essenciais, como a estabilização de encostas contra erosões; a manutenção da população de polinizadores e da ictiofauna e o controle natural de pragas, espécies exóticas e doenças que, devido ao represamento da água, podem se desenvolver na região.

Em relação ao fluxo de sedimentos, ao mesmo tempo que sua carga a jusante é reduzida, é observado um acúmulo à montante do barramento, interferindo na fertilização de ambos os trechos. Por esse motivo, um dos controles que deve ser feito em usinas hidrelétricas com extensões de reservatório consideráveis é o controle de algas que, em decorrência da grande concentração de nutrientes à montante, se multiplicam.

Reservatórios exigem ainda a readaptação de comunidades ribeirinhas, que reassentadas em regiões mais distantes da margem, têm suas atividades econômicas, geralmente a pesca, comprometidas.

Vale considerar também que nessas regiões de represamento se encontram muitas vezes grandes sítios arqueológicos, perdidos com o alagamento do local.

4.4 Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCH

As primeiras PCHs surgiram no Brasil como autoprodução de pequenos produtores e distribuidores, fazendas e indústrias que buscavam autossuficiência em energia. Como fonte de energia para abastecimento público, surgiu no contexto da necessidade de abastecimento de energia elétrica de pequenas cidades do interior do país, uma vez que construir extensas linhas de transmissão era economicamente desvantajoso.

As Pequenas Centrais Hidrelétricas são usinas de tamanho e potência relativamente reduzidos. Inicialmente, a potência desses empreendimentos deveria estar compreendida entre 1,0 MW e 5,0 MW. Após algumas alterações nas legislações ao longo dos últimos anos relacionadas a estes empreendimentos, ficou estabelecido, por meio da Lei nº 13.360 de 2016, que a capacidade mínima de PCHs aumentou para 5 MW e a máxima para 50 MW. Através da mesma lei, fica determinado que empreendimentos com potência outorgada entre esses valores, para fim de uso exclusivo ou produção independente, são objeto de autorização.

Vale ressaltar que usinas com potência igual ou inferior a 50 MW, mesmo que interligadas ao SIN, são consideradas usinas não integradas, não estando sujeitas às regras de operação do ONS e, tampouco, lhes é garantida uma energia assegurada.

Normalmente as PCHs operam a fio d'água. Nestes casos não há presença de reservatório para regularização do fluxo d'água e o barramento serve apenas para garantir a submersão do sistema de captação. Embora esse modelo impacte menos no ambiente, acaba ocasionando situações de subaproveitamento da capacidade das turbinas, quando em épocas de estiagem, a vazão disponível está aquém da capacidade de geração de energia do sistema. Por essa razão, o custo da energia elétrica produzida pelas PCHs acaba sendo mais elevado que a energia produzida por empreendimentos maiores e com presença de reservatório de regularização, já que estes controlam a ociosidade dos equipamentos e os desperdícios de água.

Atualmente, segundo dados do Banco de Informações de Geração (BIG) de 2017, há 433 empreendimentos do tipo PCH em operação no Brasil, somando uma potência fiscalizada⁸ de 4.972 MW, o que representa 3,24% da potência instalada total de empreendimentos de geração de energia elétrica. Estão em construção ainda mais 28

⁸ Potência Instalada – Se refere à potência considerada a partir da operação comercial da primeira unidade geradora.

PCHS e outros 132 projetos já foram outorgados, o que juntos somam um total de 2.169 MW de potência outorgada⁹ e representam 9% da potência que será acrescida à produção brasileira nos próximos anos (BIG, 2017).

4.5 Centrais Geradoras Hidrelétricas – CGH

4.5.1. Definição

Assim como as UHEs e as PCHs, as Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH) também são usinas que, por meio da utilização do potencial hidráulico, geram energia elétrica. A diferença entre elas é que as CGHs são ainda menores em tamanho e capacidade.

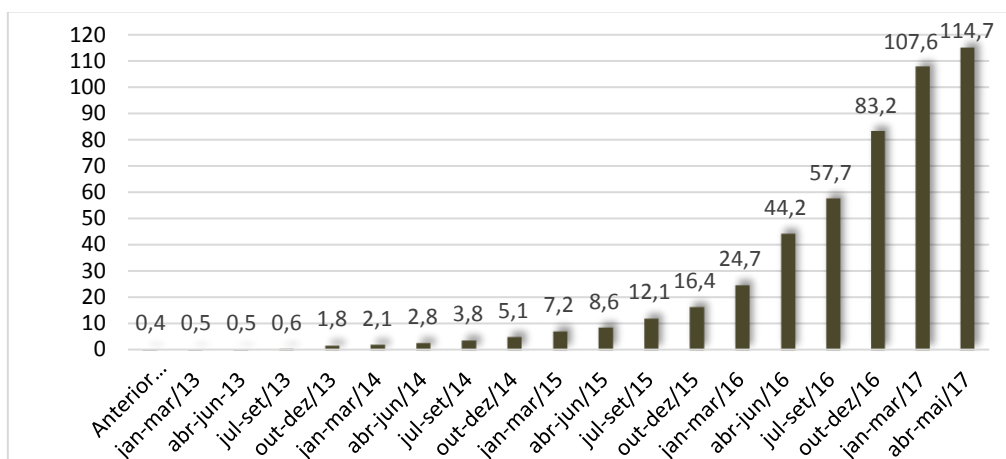
Segundo os critérios de enquadramento de aproveitamentos hidrelétricos definidos pela Agência Nacional de Energia (ANEEL), dispostos na Lei nº 13.360 de novembro de 2016, CGHs podem ter o potencial de gerar até 5 MW de energia elétrica. As centrais geradoras hidrelétricas podem ser divididas ainda em outras três subclassificações: Pico, até 10 kW; Micro, de 10 kW a 75 kW e Mini geração, de 75 kW a 5 MW.

Diante de algumas dificuldades políticas e econômicas para instalar redes convencionais em áreas remotas, diversos pontos de demanda de energia elétrica acabam não sendo atendidos. A implantação de sistemas de geração descentralizados, redes isoladas ou sistemas individuais é vista nestes casos como uma alternativa pertinente para suprir essa demanda energética. Nesse contexto, em abril de 2012, quando entrou em vigor a Res. Normativa Aneel nº 482/12, consumidores brasileiros foram autorizados a produzir energia elétrica – a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada - para seu próprio consumo, dando início ao processo de difusão de micro e minicentrais geradoras distribuídas.

Como resultado das políticas, em conjunto com programas de incentivo que vêm sendo implantados, como o ProGD em 2015, houve uma rápida expansão desse segmento. No Gráfico 3 abaixo, pode-se observar o crescimento da capacidade instalada (MW) proveniente de Micro e Minicentrais geradoras desde 2012.

⁹ Potência Outorgada - Se refere à potência considerada no Ato de Outorga.

Gráfico 3 - Potência Instalada (MW) oriunda de Centrais Geradoras (2012-2017).



Fonte: Elaboração própria a partir de (Aneel 2017)

Dos procedimentos para implantação do empreendimento, aproveitamentos com potenciais hidráulicos iguais ou inferiores a 5 MW independem de concessão ou autorização do poder público para serem construídos e operarem. Devem, porém, fazer seu registro, comunicando formalmente a sua implantação ao órgão regulador e fiscalizador do poder concedente. Embora o registro seja gratuito, o empreendedor deverá assumir responsabilidades ambientais atreladas ao empreendimento.

Em relação à comercialização da energia elétrica produzida pelas CGHs, embora estas não sejam integradas ao SIN, poderá ser comercializada e escoada através do sistema de transmissão, presentes determinados requisitos atualizados pela Lei nº 13.360/16.

Deve ser frisado, porém, que, diferentemente das PCHs, no caso das CGHs, é necessário que o interessado na implantação do empreendimento seja o proprietário ou tenha autorização para a explorar os recursos hídricos (Lei nº 13.360/16).

4.5.2. Arranjo, Operação e Principais Componentes

O arranjo de uma central geradora hidrelétrica é dado pela associação de estruturas físicas e maquinários, cuja escolha irá variar de acordo com características individuais de cada empreendimento, como topografia, tipo de solo, comportamento de variáveis hidrológicas e capacidade instalada.

Os arranjos são divididos, de maneira geral, da seguinte forma:

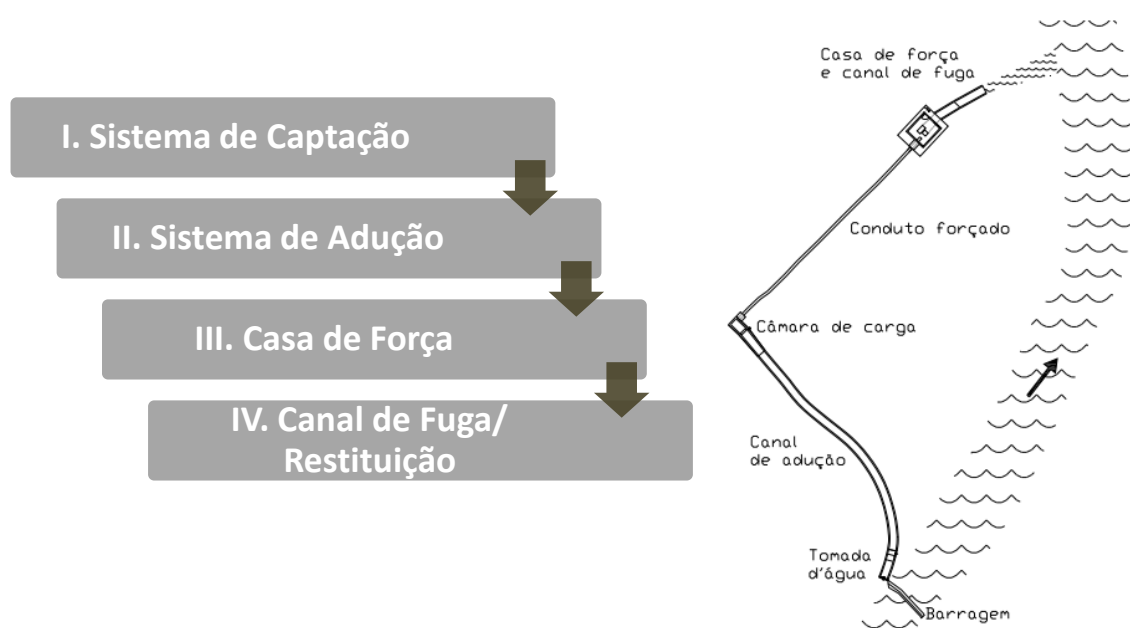


Figura 8 - Arranjo de uma CGH com derivação.

Fonte: N. C. Viana, Augusto - Adaptado

I. Sistema de Captação

O sistema de captação é composto basicamente pelo barramento acompanhado por um sistema de filtração, composto por gradeamento ou telas, e pelo vertedouro. A barragem de pequenos aproveitamentos hidrelétricos possui a função de apenas auxiliar na adução, mantendo o nível necessário para submersão das adutoras a fim de evitar vórtices e arraste de ar para dentro da tubulação de captação d'água.

Barragem

O tipo de barragem e seção determinada para sua construção deverão considerar os aspectos geológicos do terreno, ou seja, a natureza da fundação. Além disso, deverão ser considerados a disponibilidade e economia de material, equipamentos necessários, mão de obra e características climáticas do local.

Os critérios propostos para a seleção do tipo de barragem estão expostos na Tabela 9.

Tabela 9 - Critérios para determinação do eixo e tipo da barragem.

Clima	Barragens de terra devem ser evitadas em locais com elevado índice pluviométrico. Já barragens de concreto devem ser evitadas em localidades com elevada variação de temperatura.
Fundação	De acordo com o material da fundação, deverá ser dada preferência à certos tipos de materiais utilizados. No caso de barragens de enrocamento e concreto, recomenda-se construção no caso de fundação composta por rocha sã. Barragens de terra possuem maior flexibilidade, devendo-se apenas evitar fundações de rocha sã devido à falta de aderência.
Material	Priorizar materiais disponíveis na região: presentes em jazidas, provindo de escavações ou mesmo comercializados.
Eixo	Eixo que proporcione o melhor aproveitamento da queda, tendo o menor custo. São exemplos: eixos próximos à queda e com estreitamento da seção.

Fonte: Elaboração própria a partir de (Eletrobrás, 2013)

Dos diferentes tipos de barragens de acordo com os materiais empregados em sua construção, os seguintes tipos têm sido os mais empregados (Manual de PCHs, Eletrobrás):

- Barragem de terra;
- Barragem de concreto, convencional ou compactado a rolo (CCR), em seção tipo gravidade;
- Barragem de enrocamento.

Em micro centrais hidrelétricas de sistemas isolados também é possível utilizar um dique, porém com restrições para regiões com elevados índices pluviométricos. Os diques podem ser de madeira, de pedra ou de madeira e terra.

A barragem de terra é o tipo que apresenta o menor custo final, por ser constituída fundamentalmente por solo, porém não pode ser construída sobre afloramentos rochosos devido à baixa aderência sobre rochas.

Já as barragens de enrocamento, ou seja, quando há predominância de material rochoso em sua composição, são recomendadas para terrenos cujas fundações sejam

de pedra porosa ou rochas com muitas fendas. O núcleo dessa barragem deve, no entanto, ser construído com material impermeabilizante.

Barragens de concreto são subdivididas em três grupos: Barragens de gravidade, Barragem de contrafortes e Barragem em arco, porém só as duas primeiras são recomendadas para centrais geradoras hidrelétricas. A primeira barragem, de gravidade, é a mais utilizada das três para pequenos aproveitamentos. É capaz de resistir às variações de pressão da água tanto do reservatório, quando das águas que se infiltram pelas fundações. São aconselhadas para seções pequenas, que se aproximem de triângulos, e com afloramentos rochosos.

Vertedouro

A vazão afluyente que exceder a capacidade de aproveitamento, deverá ser extravasada por vertedouros. Estes, de forma geral, podem ser definidos de três tipos básicos (Manual de PCHs, Eletrobrás):

- Extravasamento por um canal lateral;
- Vertedouro incorporado à estrutura da barragem;
- Combinação dos tipos apresentados acima.

Vertedouros incorporados à estrutura da barragem podem ainda ser classificados de acordo com a forma e dimensão de sua crista como:

- Vertedouro de soleira normal (delgada);
- Vertedouro tipo Creager;
- Vertedouro de soleira espessa.

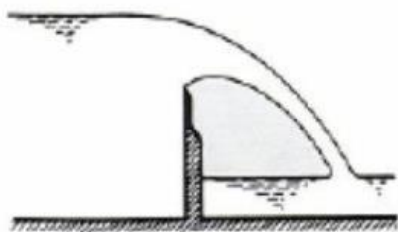


Figura 4.4 a) Vertedouro soleira delgada.

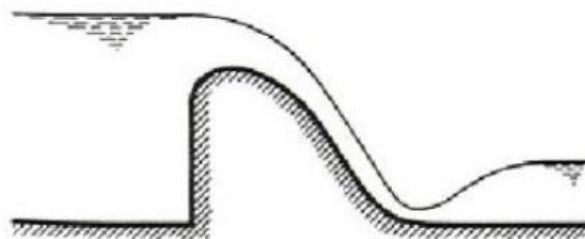


Figura 4.4 b) Vertedouro tipo Creager

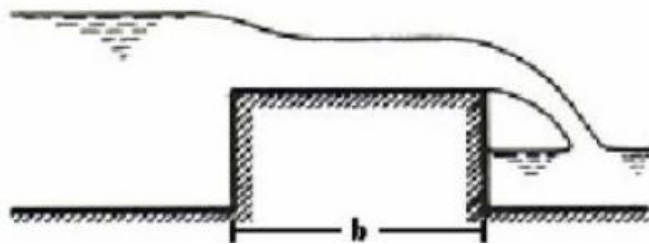


Figura 9 - a) b) e c)

Figura 4.4 c) Vertedouro parede espessa.

Fonte PORTO DE MELO, Rodrigo.

A escolha do tipo de vertedouro irá depender do tipo de barragem e das características hidrológicas do local.

Sistema de Filtração

Corpos hídricos são característicos pelo transporte de sedimentos de diferentes dimensões, mas principalmente de areias que, quando em contato com o sistema adutor, danificam os equipamentos diminuindo suas vidas úteis. Antes da água entrar nas adutoras, portanto, devem conter sistemas de filtração da água, dimensionados de acordo com uma análise sedimentológica do rio.

Dentre os arranjos e tecnologias existentes desses sistemas, será dado no presente trabalho foco ao *Coanda Effect Screen* que consiste em um filtro composto por uma superfície filtrante que apresenta inclinação e curvatura, precedida por uma ogiva, e apresenta pequenas inclinações de uma grade para outra. Todos os parâmetros são criteriosamente selecionados a fim de otimizar a vazão filtrada sem que efeitos hidráulicos inoportunos, como descolamento do volume escoado e arraste de ar considerável, sejam observados. O esquema de funcionamento do filtro é ilustrado na Figura 10 abaixo.

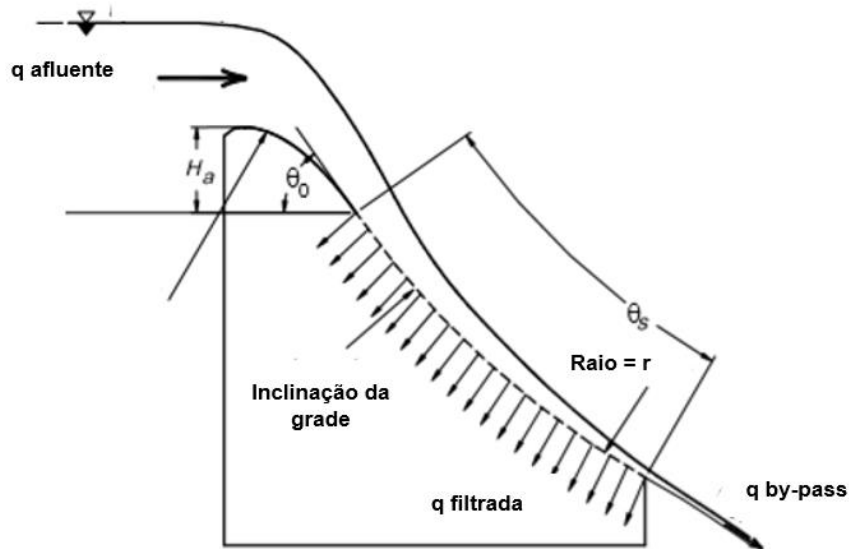


Figura 10 - Design usual e parâmetros necessários para dimensionamento da Coanda Effect Screen.

Fonte: Wahl, 2003 - Adaptada.

Inúmeros ensaios de laboratório foram realizados a fim de testar a influência do design do *Coanda Effect Screen* (Wahl 2001) em sua eficácia, atestando seu desempenho para filtrar fluxo d'água tanto para abastecimento quanto para pequenos aproveitamentos hidrelétricos.

Os principais parâmetros e suas respectivas funções para o eficaz dimensionamento do filtro são (Wahl, 2003):

- **Dimensões da ogiva e placa de aceleração**

Sua curvatura e altura de queda são responsáveis pela aceleração do escoamento, posicionando este tangencialmente à superfície filtrante, evitando o descolamento do fluido da superfície.

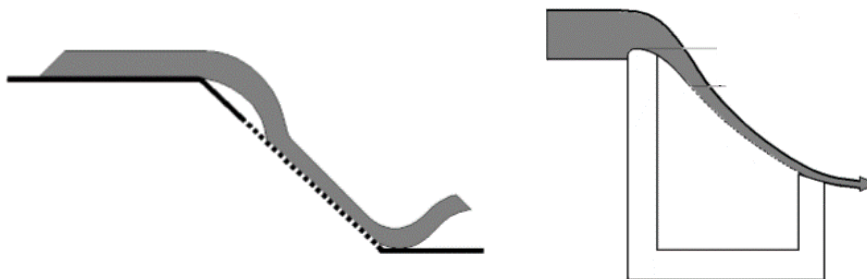


Figura 11 - Efeito da ogiva e placa de aceleração no escoamento do fluido.

Fonte: Coanda Intake, Ltd.

- **Raio de curvatura e dimensões da superfície filtrante**

Além de possibilitar, para uma mesma altura, uma área filtrante maior em relação a uma placa vertical, a curvatura do gradeamento confere um aumento da pressão do fluxo d'água sobre a placa, aumentando a vazão filtrada. Seu início íngreme com um final reto, contribui para redução da erosão da vazão não infiltrada na placa à jusante do sistema. As dimensões dessa superfície irão, no entanto, influenciar na vazão total infiltrada, dada uma vazão específica ($m^3/s/m$) para cada gradeamento.

- **Inclinação da superfície filtrante**

Sua variação irá influenciar diretamente na vazão que será filtrada (By-pass). Quanto menos inclinada, maior a vazão específica ($m^3/s/m$) infiltrada, porém menor será a eficácia da função auto limpante do filtro. A vazão específica infiltrada para cada ângulo de inclinação da superfície também irá variar com a inclinação de cada grade, explicado a seguir.

- **Inclinação das grades**

Com o objetivo de direcionar o fluido para o outro lado da superfície filtrante, possibilita um maior volume filtrado a velocidades elevadas em comparação com as grades sem inclinação, como ilustrado na Figura 12 abaixo. A inclinação usual é 5° , embora possa variar de 3° a 7° de acordo com as características do escoamento e do volume filtrado desejado. A inclinação ideal vai variar com a escolha de outros parâmetros, como a inclinação da superfície filtrante e a porosidade da mesma, ou seja, a área útil em relação a área da superfície inteira.



Figura 12 - Eficiência da inclinação das grades.

Fonte: Coanda Intake, Ltd.

Dada uma vazão de projeto, características sedimentológicas do fluido e vazão máxima que se deseja filtrar, equivalente a vazão máxima turbinável no caso de aproveitamentos hidrelétricos, obtém-se o dimensionamento ótimo para esse tipo de sistema de filtração.

II. Sistema de Adução

O sistema de condução da água, do local de sua captação até a turbina, é chamado de sistema de adução, podendo apresentar diferentes tipos de arranjos, dependendo principalmente das condições do terreno. De acordo com seu arranjo, hidrelétricas podem, portanto, ser classificadas de três maneiras diferentes (SOUZA, Zulcy):

- Central hidrelétrica de represamento (CHR) - caracterizadas pela ligação direta entre a captação e a casa de força pelas adutoras;
- Central hidrelétrica de desvio (CHD) – captam a água através de uma tubulação de baixa pressão;
- Central Hidrelétrica de Derivação (CHV) – a água captada é direcionada para uma câmara de carga por um canal de adução, normalmente de escoamento livre, e então direcionada à casa de força pelas tubulações de alta pressão.

Canal de Adução

Quando presente, o canal de adução é construído de maneira simples, muitas vezes escavado na terra, com a função de desviar a água do reservatório a baixas pressões para a câmara de carga.

Chaminé de Equilíbrio

A tubulação de adução deverá ainda, quando necessário, apresentar uma chaminé de equilíbrio com a finalidade de amortecer as variações de pressão propagadas pelo conduto. Os critérios para instalação de chaminés de equilíbrio em pequenos aproveitamentos podem ser encontrados no Manual de PCHs – Eletrobrás. Neste manual também são fornecidas fórmulas para o dimensionamento do diâmetro econômico do conduto forçado, assim como as especificações para o dimensionamento das estruturas de ancoragem desses condutos.

III. Casa de Força

A casa de força é composta pelo grupo gerador e pelo transformador e equipamentos eletromecânicos - responsáveis pela transmissão da energia até o ponto de demanda. Atualmente vêm sendo usadas duas configurações para o grupo gerador de micro-centrais geradoras hidrelétricas:

- Turbina + Gerador de Indução (GI);
- Bomba Funcionando como Turbina (BFT) + Gerador de Indução (GI) (Chapallaz, 1992).

Turbinas

As turbinas hidráulicas são máquinas motrizes responsáveis por transformar a energia potencial hidráulica e cinética da água em energia mecânica, na forma de torque e velocidade de rotação. Em relação ao modo de atuação da água sobre o rotor, podem ser classificadas de duas formas: ação/ impulso ou de reação, podendo ser elas convencionais ou não convencionais.

- **Turbinas de ação** - Rotor é acionado pela água à pressão atmosférica;
- **Turbinas de reação** - Rotor é acionado pelo escoamento sob pressão.

Dentre os principais tipos de turbinas utilizadas em aproveitamentos hidrelétricos de pequeno porte, estão as três turbinas de ação: Pelton, Turgo e de fluxo cruzado (ou Michell-Banki), sendo apenas a Pelton e a de fluxo cruzado fabricadas no Brasil.

Para pequenos aproveitamentos em geral, as turbinas de ação apresentam mais vantagens em comparação com as de reação. Sua estrutura simplificada confere facilidade de fabricação e manutenção, além de estarem menos sujeitas ao fenômeno de cavitação.

O Tabela 10 apresenta os tipos de turbina de ação e reação com suas respectivas restrições e faixas de operação.

Tabela 10 - Tipos de turbina e critérios de seleção.

TIPO	Nome	Rotação Específica n(qa)		Vazão Q (m³/s)	Queda H (m)	Potência (kW)	η(máx)	
		N° jatos	N(aq)					
AÇÃO	Pelton	1	4 a 30	0,05 a 0,8	30 a 500	0,1 a 1.000	70 a 90	
		2	6 a 42					
	Francis	Tipo	N(aq)		0,01 a 10	2 a 150	1 a 1.000	80 a 93
		Lenta	60-180					
		Normal	150-260					
	Rápida	260-350						
	Turgo	60 a 260		0,01 a 4	5 a 250	5 a 1.000	85 a 90	
	Fluxo Cruzado	45 a 180		0,01 a 1,2	1 a 50	1 a 150	65 a 82	
REAÇÃO	Hélice	260-800		0,8 a 25	2 a 40	5 a 1.000	88 a 93	
	Kaplan	300 a 800						
	Tubular							
	Bulbo			1 a 30				

Fonte: Internet

Em desenvolvimento, existem ainda turbinas com capacidade de operação em quedas muito baixas, de até 3 metros, atendendo à produção de 10 a 200 kW, além das turbinas hidrocínéticas, que utilizam a energia cinética das correntezas dos corpos hídricos, atendendo até 10 kW.

Turbinas de fluxo cruzado, também conhecidas como Michell-Banki ou Michell-Ossberger, são comumente utilizadas em CGHs por operarem em caudais baixos e pequenos desníveis. Embora seu rendimento seja inferior aos de outras turbinas, mantém-se elevado ao longo de variações de caudal de até 50% (HARVEY, 1993). Entretanto, essas turbinas apresentam apenas veios horizontais e uma velocidade de rotação diminuta (de 60 a 600 rpm), sendo frequente a necessidade de utilização de multiplicadores de velocidade entre elas e os geradores (CASTRO, Rui M.G., 2004), o que eleva seu custo

Bombas Funcionando como Turbinas (BFT)

Alguns estudos têm sido feitos sobre o rendimento da utilização de bombas funcionando como turbinas em aproveitamentos hidrelétricos de pequeno porte (Laboratório de Estudos Hidráulicos - UNIFEI, Itajubá).

Basicamente a diferença de uma máquina hidráulica motriz (turbina) e outra geratriz ou operatriz (bomba) é que a primeira tem a função de transformar a energia que a natureza nos oferece em trabalho mecânico, enquanto a segunda, a partir de uma fonte de energia elétrica que é transformada em trabalho mecânico, o transforma em energia hidráulica, conferindo ao líquido um acréscimo de energia potencial de pressão ou cinética (Chapallaz, 1992).

Para utilizar bombas com a função de turbina, é necessário apenas inverter o sentido de escoamento e rotação (VIANA, 1987), como mostrado na Figura 17.

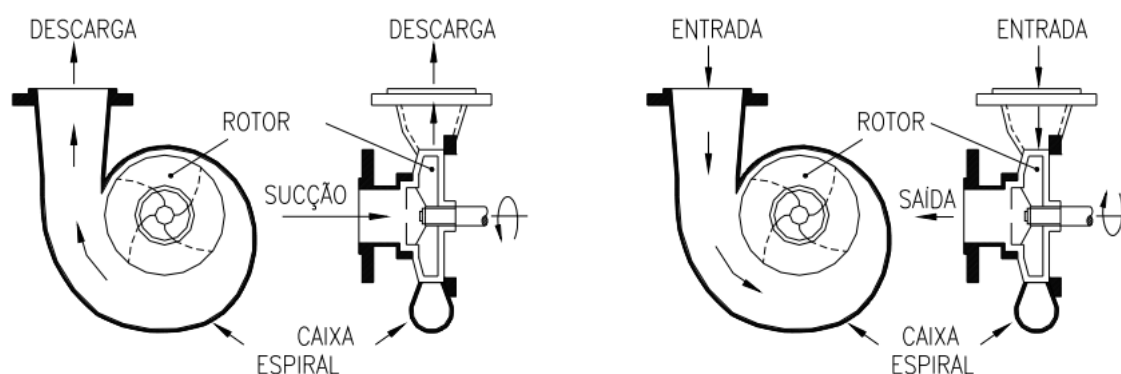


Figura 13 - Bomba funcionando como bomba e como turbina.

Fonte: VIANA, 1987

Essa alternativa tem sido bastante considerada no mercado de CGHs devido às seguintes características (Chapallaz, 1992):

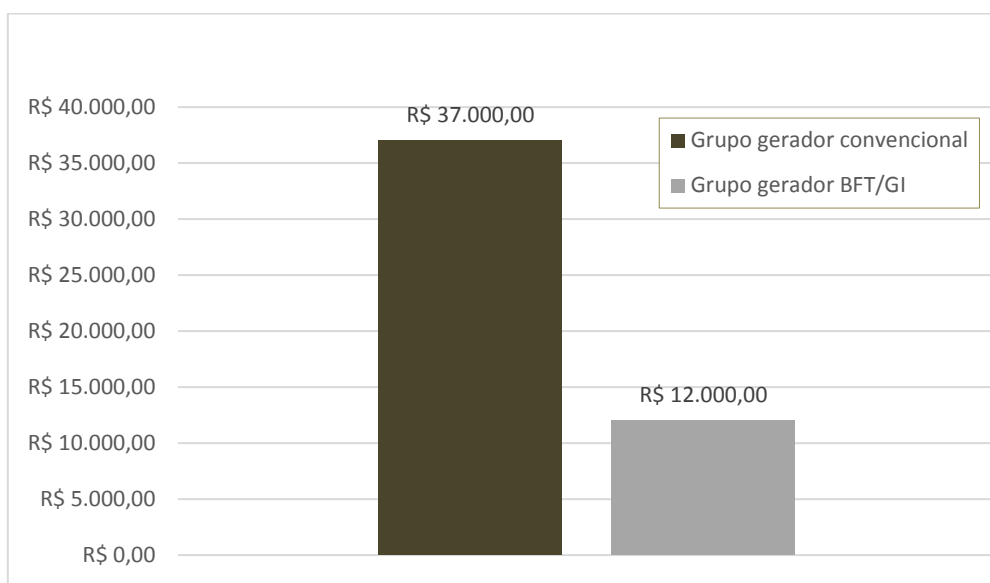
- Fabricação em série – custo reduzido e entrega mais rápida;
- Instalação e manutenção simples;
- Dimensões compactas;
- Facilidade de obtenção de peças para reposição.

Segundo Viana, o custo de um grupo gerador convencional em relação a utilização da associação de BFT/GI pode apresentar variações de mais de 130% do seu valor, como observado no Gráfico 4.3. Entretanto, quando o conjunto BFT/GI já é adquirido selecionado e montado por um fabricante, essas vantagens financeiras podem ser bem reduzidas ou praticamente não haver.

Entretanto, deve-se considerar seu rendimento inferior ao de uma turbina convencional, além de algumas restrições como não possuir dispositivo de controle hidráulico

incorporado e não permitir variações elevadas de caudal. Sua seleção deve ser realizada criteriosamente em função das características do sistema, a fim de minimizar as desvantagens, sendo normalmente dimensionada para uma vazão de projeto com garantia de no mínimo 90% de permanência ($Q_{90\%}$). Caso o sistema seja adaptado para operar com variações de vazão, embora haja um ganho em torno de 35% energia gerada, o investimento previsto será maior, perdendo, portanto, sua vantagem competitiva em relação ao custo. Essa adaptação ocorre mediante a instalação de um conversor de energia para garantir tensão e frequência constantes. No caso do sistema de velocidade constante, o conversor de energia é dispensável e o custo do sistema se reduz.

Gráfico 4 - Custo aproximado de aquisição de um conjunto de geração.



Fonte: VIANA (1987)

Geradores

Os geradores são os equipamentos responsáveis pela segunda conversão de energia, ou seja, convertem a energia cinética de rotação em energia elétrica, e se encontram acoplados às turbinas. Possuem também a função de elevação da tensão, permitindo que a energia gerada na usina seja transportada pela linha de transmissão. Podem ser classificados, basicamente, em dois tipos: síncronos, de baixa e alta velocidade, ou de indução. A velocidade de rotação dos geradores está relacionada com a quantidade de pares de polos que serão utilizados. Em CGHs, portanto, é recomendável a instalação de rotores com alta rotação por minuto, de forma a exigir um número menor de pares de polos.

Abaixo, a Tabela 11 apresenta as velocidades de operação dos geradores para geração a 60 Hertz, dadas combinações de números de polos.

Tabela 11 - Rotação do Gerador a 60 Hz.

Frequência Hz	Nº de polos	Rotação do Gerador (rpm)
60	2	3.600
	4	1.800
	6	1.200
	8	900
	10	720
	12	600

Fonte:

Os geradores com rotação de 600 rpm, 12 polos e 60 Hz de frequência apresentados na tabela acima não devem ser utilizados em Micro Centrais Hidrelétricas, uma vez que encarecem e inviabilizam a utilização do gerador devido à quantidade de polos necessários. De forma geral, geradores de até 100 kW utilizam máquinas com 4 polos.

IV. Canal de Restituição

O canal de restituição é a estrutura entre a casa de força e o rio, através da qual a vazão do rio volta a percorrer seu curso normal. A água desviada é retornada ao curso natural do corpo hídrico após sua passagem pela casa de força e a energia gerada é distribuída para os pontos de demanda.

4.5.3. Vantagens e Impactos das CGHs

Em comparação com as grandes usinas hidrelétricas, as centrais geradoras hidrelétricas possuem inúmeras vantagens. Além de algumas vantagens características de aproveitamento hidrelétricos em geral, já mencionadas no item 4.2, como a emissão desprezível de Gases do Efeito Estufas (GEE) e a não geração de poluição sonora, as seguintes vantagens de CGHs foram listadas (Dias *et al*, 2005):

- Postergação de investimentos: Vantagem observada tanto para autoprodutores cuja demanda tende a crescer futuramente, quanto para concessionárias que,

implantando CGHs para atender picos de demandas, postergam ampliações de usinas já implantadas;

- Redução de perdas: Proximidade dos consumidores e fluxo reduzido de potência resultante reduzem perdas na transmissão;
- Aumento da confiabilidade: Podem ser utilizadas pelas concessionárias para atenderem picos ou indisponibilidade de outras fontes;
- Desenvolvimento social e econômico de comunidades isoladas;
- Redução de áreas alagadas: Diferente de grandes usinas hidrelétricas, atendem pequenas demandas não havendo a necessidade de grandes reservatórios;
- Baixo custo das tecnologias: avanços em pesquisas têm criado novos arranjos e disponibilizado tecnologias mais baratas no mercado, com retorno de investimentos em curtos períodos;
- Não emissão de gases poluentes.

A Tabela 12 abaixo mostra uma comparação de emissões de uma CGH de 1 MW funcionando 4500 horas/ano com as de outros tipos de centrais de produção de energia elétrica, que seriam emitidos para abastecer um mesmo número de famílias.

Tabela 12 - Emissão de gases de efeito estufa a partir de centrais elétricas.

	Petróleo	Carvão	Gás Natural	Hídrica
Dióxido de Carbono (ton.)	3.000	3.750	2.250	-
Óxido de Azoto (ton.)	3,7	0,6	2,2	-
Dióxido de Enxofre (ton.)	4,5	4,5	0,02	-

Fonte: Rocha, J. P., 2008, p. 21.

Já os impactos observados nesses empreendimentos são caracterizados por pequenas alterações no terreno, com retirada de vegetação e construção de pequenas estruturas, alteração na velocidade de escoamento da água e, talvez o principal, a perda do uso recreativo e turístico do corpo hídrico naquele local.

4.5.4. Custos Básicos

Após análise de viabilidade técnica, para saber se o curso d'água disponível é capaz de ser aproveitado, a análise de viabilidade econômica do sistema é outro fator limitante na implantação de usinas hidrelétricas.

Os custos de implantação de CGHs em geral variam em função dos seguintes parâmetros:

- Tecnologia e tipo dos equipamentos de geração;
- Obras civis necessárias;
- Mão de obra;
- Porte da unidade consumidora (demanda) e da central geradora a ser instalada (capacidade instalada);
- Localização e características do terreno;
- Vida útil do sistema e componentes;
- Frequência e tipo de manutenção requerida.

Em caso de comercialização da energia gerada, deverão ser considerados:

- Tarifa de energia elétrica à qual a unidade consumidora está submetida;
- Condições de financiamento e pagamento de cada projeto; e
- Existência de outras unidades consumidoras que poderão usufruir dos créditos do sistema de compensação de energia elétrica.

A Eletrobrás, em seu manual de “Diretrizes para Estudos e Projetos de PCHs” disponibiliza um capítulo auxiliando a utilização do programa “SISORH3 – Sistema para Elaboração de Orçamento de Obras Civis de Usinas Hidrelétricas – Versão 3.0”, disponível para download no próprio site da Eletrobrás. Vale ressaltar que esses custos e eventuais financiamentos não são estabelecidos pela ANEEL, sendo a iniciativa de instalação da CGH e, portanto, a responsabilidade de arcar com as despesas, do consumidor.

O estudo de viabilidade econômica realizado para esse tipo de empreendimento deve incluir a análise de custo/benefício do conjunto selecionado, considerando os interesses pessoais do consumidor, ou seja, se deseja ser apenas um autoprodutor ou se deseja ligar-se à rede.

A turbina hidráulica, em geral, corresponde a maior parcela individual do investimento total de uma central hidrelétrica, podendo representar até 50% desse valor. Tendo em vista o aspecto econômico, para potências abaixo de 100 KW, o custo de uma BFT é significativamente inferior ao de uma turbina Pelton ou de fluxo cruzado, uma vez que são produzidas em série, como mencionado no item 4.5.2.

4.5.5 Programas e Incentivos

Impulsionados pelo desejo tanto de reduzir a exclusão elétrica no país, quanto de incentivar a geração de energia elétrica por meio de fontes renováveis, programas governamentais vêm sendo lançados, muitas vezes conseguindo englobar ambos os objetivos no mesmo programa. Este subitem cita alguns desses programas.

I. Programa para o Desenvolvimento da Energia nos Estados e Municípios – (PRODEEM)

Criado pelo Departamento Nacional de Desenvolvimento Energético (DNDE) do MME, através do Decreto Presidencial de 27 de dezembro de 1994, tem como objetivo principal atender às comunidades isoladas ou carentes desassistidas de energia elétrica, contribuindo para seu desenvolvimento. Embora a fonte principal utilizada pelo programa seja fotovoltaica, admite-se também a utilização de aerogeradores e cataventos, PCHs e biomassa.

O programa contou com parcerias estaduais, municipais e com os centros de pesquisa e universidade locais, o que promoveu durante seu período de atuação, o desenvolvimento em pesquisas em geração fotovoltaica.

O programa, no entanto, sofreu algumas críticas por apresentar descontinuidades e inconformidades em dados apresentados e, mesmo assim, seguir sem rever suas práticas, incluindo manutenção dos sistemas, que acabavam se deteriorando. Além disso, o PRODEEM foi questionado por apresentar mau, ou nenhum, dimensionamento da demanda na comunidade a ser atendida e de não prestar o devido treinamento aos usuários para operar e realizar pequenas manutenções nos equipamentos (VIEIRA, 2005).

Depois de acusado de não conseguir manter a operação do programa, além de apresentar perdas patrimoniais desastrosas, superiores a U\$ 20.000.000,00, o PRODEEM acabou encerrando sua atuação em 2003 (CITAR FONTE).

O Programa Luz para Todos foi criado logo em seguida, atento aos erros identificados no programa antecessor, e recebeu os bens e equipamentos remanescentes do PRODEEM.

II. Programa Nacional de Eletrificação Rural Luz no Campo (2000-2002)

Lançado em 2000, pelo então presidente Fernando Henrique Cardoso, o Programa Nacional de Eletrificação Rural, denominado “Luz no Campo”, foi um programa de universalização da rede rural de energia elétrica, sob coordenação do Ministério de Minas e Energia e da Eletrobrás. Sua meta principal era, em um espaço de 3 anos, levar energia elétrica a 1 milhão de famílias rurais, promovendo o desenvolvimento socioeconômico dessas áreas isoladas.

Dentre os benefícios objetivados pelo programa, estavam a fixação do homem no seu lugar de origem, o resgate da agricultura familiar, o aumento da oferta de empregos no meio rural e a redução de consumo de derivados de petróleo.

A distribuição dos recursos, estimados em R\$ 2,3 bilhões, se deu por estado, com a quantia proporcional ao número de locais a serem atendidos. De uma demanda total de 503.854, o estado do Rio de Janeiro teve uma representatividade baixa, com apenas 13.919 cadastros.

Ao final de 2 anos e meio, o programa atendeu 419 mil famílias, conseguindo cumprir apenas 42% de sua meta (FOURNIER, 2007).

III. Programa Luz Para Todos

Instituído pelo Decreto nº 4.873, de 11 de novembro de 2003, o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica “LUZ PARA TODOS”, criado pelo Governo Federal e coordenado pelo Ministério de Minas e Energia, tem como objetivo reduzir a exclusão elétrica no país, levando o acesso gratuitamente para comunidades e pontos de demanda isolados e em meio rural.

O programa prioriza atendimentos às escolas rurais, às populações localizadas em áreas de extrema pobreza, às comunidades quilombolas, indígenas, assentamentos, ribeirinhos, pequenos agricultores, famílias em reservas extrativistas ou afetadas por empreendimentos do Setor Elétrico e poços de água comunitários.

Para atendimento de áreas mais remotas, é de responsabilidade das distribuidoras de energia elétrica a busca por alternativas de suprimento descentralizados, independentes das redes convencionais de energia. Dentre as soluções propostas estão as Mini Usinas Fotovoltaicas e Micro e Mini Centrais Hidrelétricas.

O financiamento do programa é proveniente de recursos de fundos setoriais de energia – a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE) e a Reserva Global de Reversão (RGR) – e de investimentos de governos estaduais e empresas distribuidoras de energia elétrica.

Até novembro de 2016, 3.323.683 famílias, cerca de 15,9 milhões de moradores rurais já tinham sido beneficiados. Ao todo foram 1,6 milhões de km de cabos elétricos e aproximadamente 500 mil novos postos de trabalho gerados (Programa Luz para Todos, MME).

O acesso à energia elétrica não só trouxe conforto e acesso a serviços básicos de saúde e educação para essas comunidades, mas também trouxe benefícios para a economia do país, com o fomento do mercado de eletrodomésticos e eletrônicos.

Com esse programa, cerca de 35 mil famílias indígenas foram atendidas, somando mais de 180 mil índios. À essas famílias foi dada uma atenção especial do programa que, em parceria com a FUNAI, elaborou cartilhas informativas bilíngues e capacitou cerca de 920 professores, agentes de saúde e lideranças indígenas das aldeias para atuarem como multiplicadores nas escolas e comunidades.

Em relação ao custo dessa energia, sua cobrança é dividida em três grupos de beneficiários, resumido na Tabela 13, segundo critério dispostos na lei nº 12.212/10 - Tarifa Social de Energia Elétrica (Programa Luz para Todos, MME):

- a. Consumidores enquadrados na Subclasse Baixa Renda, ou seja, que possuam renda familiar per capita de até meio salário mínimo, quando inscritos no Cadastro Único para Programas Sociais, possuem descontos na conta de luz que podem variar entre 10 e 65%, de acordo com a faixa de consumo.
- b. Consumidores que possuam membros na família que necessitem de tratamento de saúde com uso contínuo de aparelhos que consomem muita energia também recebem os descontos mencionados acima, desde que a renda mensal da família seja até 3 salários mínimos e também estejam inscritas no Cadastro Único.
- c. Famílias indígenas ou quilombolas com renda mensal per capita até meio salário mínimo possuem desconto de 100% para o limite de consumo de 50 kW/h/mês, desde que inscritos no Cadastro Único.

Desde a criação do programa Luz para Todos, já foram editados mais dois novos decretos, prorrogando o programa Luz Para Todos até 2018, de forma a continuar estendendo a sua atuação segundo a lista de prioridades.

Tabela 13 - Índices de Tarifa Social para Consumidores de Baixa Renda.

Índices da Tarifa Social para Consumidores enquadrados na Subclasse Baixa Renda	
Consumo kWh/mês	Desconto
Até 30	65%
De 31 a 100	40%
de 101 a 220	10%
Superior a 220	0%
Índices da Tarifa Social para Consumidores Quilombolas e Indígenas	
Consumo kWh/mês	Desconto
Até 50	100%

Fonte: Programa Luz para Todos – MME - Adaptado

IV. Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA)

Elaborado pelo MME e instituído pela Lei nº 10.438 de 2002, o PROINFA foi criado com o intuito de promover a diversificação da matriz energética brasileira, aumentando a participação no SIN de energia elétrica produzida por fontes renováveis e, com isso, aumentando a segurança no abastecimento de energia.

Na prática, o programa viabilizou um total de 3.300 MW em capacidade instalada, gerados por fontes renováveis, com contratos de 20 anos de venda para a Eletrobrás.

Com o estabelecimento da meta de nacionalização de 60% dos empreendimentos, além de criar empregos, o programa, em conjunto com ações do governo, busca o fortalecimento das indústrias brasileiras do setor de geração de energia (PROINFA, MME).

Dentre as fontes de energia favorecidas com o PROINFA, a participação da energia eólica superou expectativas, sendo a fonte com maior número de novas usinas instaladas.

V. Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD)

Lançado em dezembro de 2015, o programa foi criado com o intuito de estimular a geração de energia pela própria unidade consumidora, dentre essas, escolas,

instalações industriais e comerciais, universidades federais, hospitais e edifícios públicos. A principal fonte do programa é a energia solar fotovoltaica

O programa prevê um investimento de R\$ 100 bilhões, resultando em um aumento da geração de energia elétrica de 48 milhões de MWh e uma redução na emissão de CO₂ de 29 milhões de toneladas (ProGD, MME).

Os benefícios para o consumidor são vistos na redução da conta de luz, reforço da segurança energética e elétrica, além de investimentos cada vez menores para implantação dos sistemas de geração. Para o meio ambiente, o programa traz benefícios como a redução de emissões de gases do efeito estufa, na medida que incentiva fontes limpas e renováveis, contribuindo para que o Brasil atinja metas de energias renováveis assumidas pelo país. Já para o setor elétrico, além gerar empregos, reduz-se não só investimentos na estrutura física, mas também as perdas com transmissões.

De maneira geral, os programas direcionados ao acesso à energia elétrica, principalmente de comunidades isoladas, prejudicadas devido à sua dispersão espacial e população difusa, apresentam características semelhantes, se mostrando de extrema importância para cumprimento dessa meta. O programa Luz para Todos vem apresentando resultados positivos em relação às comunidades indígenas, tendo atendido mais de 35 mil famílias e alinhado a realidade dessas populações com a isenção de tarifas.

4.5.6. Legislações

Os estudos e projetos para aproveitamento hidrelétrico até a efetiva geração de energia costumam demandar muitos anos, tanto para atendimento aos critérios e normas do próprio setor elétrico, como para atendimento às exigências de licenciamento ambiental, incluindo as manifestações sociais, discussões e negociações em torno de conflitos de interesses no uso das águas e terras atingidas, além de complexidade normativa e de incompetência institucional.

O setor elétrico passa por mudanças constantes desde a primeira regulamentação, definida no Livro III do Código das Águas. Atrelado ao desenvolvimento econômico do país, busca sempre priorizar a expansão da capacidade de geração de energia a fim de suprir futuras demandas estimadas (Mielnik e Neves, 1988; Motta 2006; Silva, 2011).

Hoje existe um grande, complexo e dinâmico conjunto de leis, decretos, portarias, resoluções e outras normas, com frequentes revisões, que regulamentam os critérios técnicos e procedimentos para exploração de potenciais hidrelétricos no país, mantendo-se sempre na definição e aplicação das normas do setor, a prioridade na expansão do parque gerador.

Abaixo serão citados alguns documentos relacionados ao aproveitamento dos recursos hídricos para fins de geração de energia elétrica, em especial a geração distribuída, como decretos de instituições relacionadas ao sistema energético, além da lei que aborda os limites de potência para a classificação como PCH e CGH.

I. Lei n 9.427, de 26 de dezembro de 1996

Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL como autarquia, cujas competências incluem a implementação de políticas e o estabelecimento de regras no setor de energia elétrica no que se referem à fiscalização, produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica.

II. Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997

Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. A utilização de recursos hídricos para fins de geração de energia elétrica fica subordinada ao Plano Nacional de Recursos Hídricos.

III. Lei nº 9.984 de 2000

Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas - ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. A ANA fica responsável por desempenhar ações de regulação, apoio à gestão dos recursos hídricos e seu monitoramento, além de desenvolver programas e projetos neste sentido.

IV. Lei nº 12.111 de 2009

Dispõe sobre os serviços de energia elétrica nos Sistemas Isolados.

“Art. 1º As concessionárias, permissionárias e autorizadas de serviços e instalações de distribuição de energia elétrica nos denominados Sistemas Isolados deverão atender à totalidade dos seus mercados por meio de licitação, na modalidade de concorrência ou leilão, a ser realizada, direta ou indiretamente, pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, de acordo com diretrizes do Ministério de Minas e Energia”.

V. Decreto nº 2.003 de 10 de setembro de 1996

Regulamenta e determina critérios para produção de energia elétrica por Produtor Independente e por Autoprodutor.

Define-se Produtor Independente de Energia Elétrica, como sendo a pessoa jurídica ou empresas reunidas em consórcio que recebam concessão ou autorização para produzir energia elétrica destinada ao comércio de toda ou parte da energia produzida, por sua conta e risco, assim para uso exclusivo.

VI. Resolução ANEEL nº 652 (9/12/03)

Estabelece os critérios para o enquadramento de aproveitamento hidrelétrico na condição de Pequena Central Hidrelétrica (PCH). Os valores limites de potência do empreendimento para que sejam classificados como PCHs, no entanto, foram alterados pela Lei 13.360, aumentando o limite máximo de 3MW para 5MW.

5 ESTUDO DE CASO

5.1 Área de Estudo

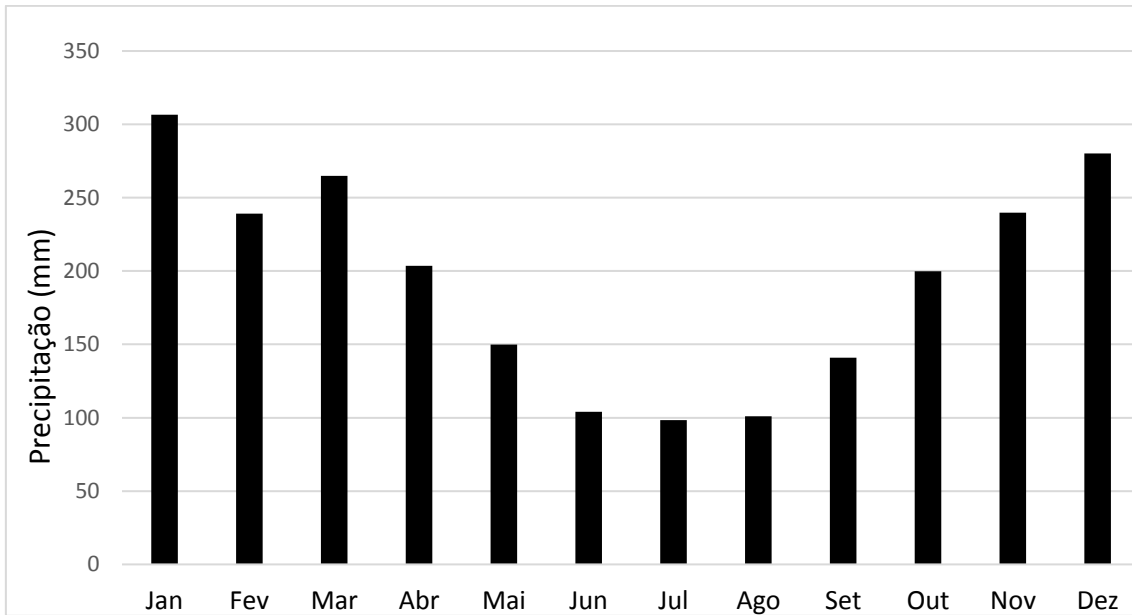
5.1.1. Levantamento de dados Topográficos e Hidrológicos

Os dados topográficos utilizados neste trabalho foram coletados durante as visitas ao local, por meio de instrumentos como GPS e altímetro, sendo possível medir os desníveis das quedas d'água próximas à aldeia. Além dessas informações, foram obtidos *shapefiles* de curvas de nível e da hidrografia da região no FTP do IBGE e no Sistema de Informações Hidrológicas da ANA (Hidroweb) que, com auxílio dos *softwares* ArcGIS e Google Earth, permitiu a delimitação e posterior análise da área da bacia estudada, Apêndice A.

A região estudada é caracterizada por apresentar uma baixa densidade de estações de monitoramento, tanto pluviométricas quanto fluviométricas. Para obtenção dos dados hidrométricos existentes, foram consultados o Hidroweb (ANA); o software Pluvio 2.1 mencionado no item 5.1 e estudos já realizados anteriormente nessa bacia, em especial o Relatório-síntese do Trabalho de Regionalização da Sub-bacia 59, desenvolvido pela CPRM/ANEEL, que traz dados e análises sobre o comportamento hidrológico dos rios na região (CPRM, 2002).

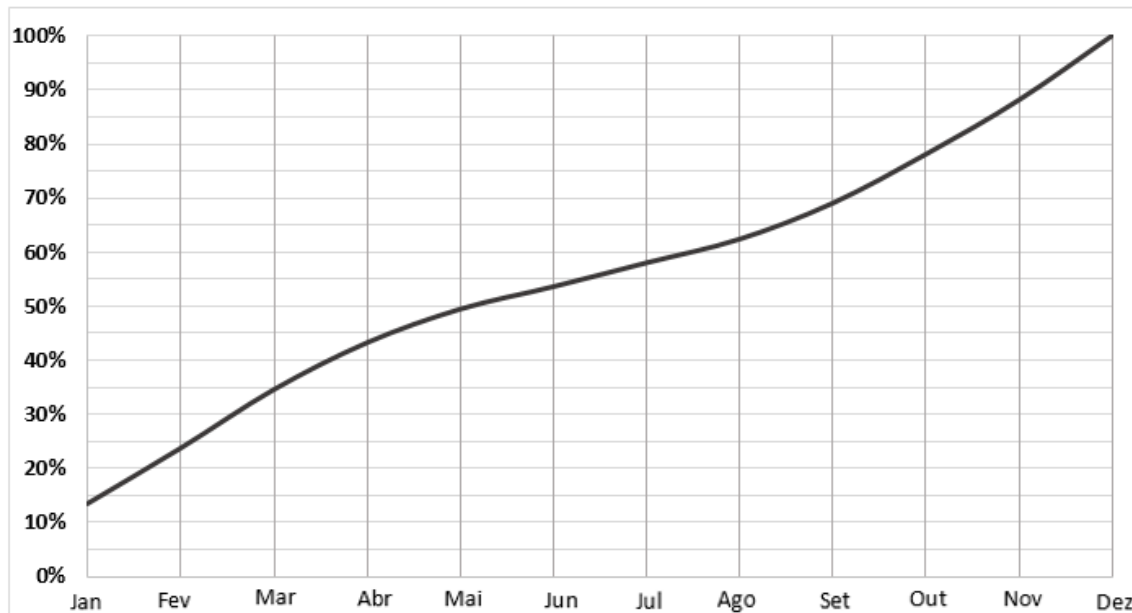
No site Hidroweb (ANA) é possível consultar e baixar séries históricas de estações pluviométricas e fluviométricas do Brasil. Sendo o posto 'Patrimônio' o mais próximo ao local de interesse, foi baixada sua série histórica de dados pluviométricos, compreendendo o período de janeiro de 1972 a janeiro de 2005, a fim de analisar seu regime de chuvas. O gráfico de precipitação média mensal de Patrimônio, assim como sua distribuição acumulada durante o ano estão dispostos a seguir, através dos quais se observa o elevado índice pluviométrico na região, com médias mensais mínimas de 100 mm em época de estiagem, concentrando 50% da chuva precipitada nos primeiros 5 meses do ano.

Gráfico 5 - Precipitações Médias Mensais - Patrimônio (Jan/72 a Jan/05).



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ANA (Hidroweb)

Gráfico 6 - Distribuição Acumulada Pluviométrica - Patrimônio (Jan/72 a Jan/05)



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ANA (Hidroweb)

5.1.2. Caracterização da Bacia

A área de estudo consiste na sub-bacia do corpo hídrico que passa dentro da Reserva Indígena da Aldeia Guarani Mbya Araponga, com exutório delimitado no local previsto para instalação da Central Geradora Hidrelétrica proposta. A aldeia é isolada, localizada próxima ao bairro de Patrimônio. O acesso ao local ocorre pela BR-101, Rodovia Governador Mário Covas, que liga Parati ao bairro Patrimônio por um trecho de 18 km. De Patrimônio até a Aldeia, percorre-se uma estrada de terra de aproximadamente 6 km até um ponto onde não há mais estrada e então percorre-se 500 m de trilha a pé.

A sub-bacia está localizada na cabeceira da bacia do rio Parati-Mirim, que deságua na Praia de mesmo nome, a aproximadamente 16,5 km de distância.

A delimitação dessa área, assim como sua localização em relação à Patrimônio podem ser observados na Figura 15.

Como descrito no item 2.3, a Aldeia está localizada no litoral leste do país, no município de Parati, e é cercada pela cadeia montanhosa da Serra do Mar. A região, inserida na Unidade de Conservação do Parque Nacional da Serra da Bocaina, está submetida ao clima tropical úmido, com estação seca definida de abril a setembro. Sua posição geográfica, a barlavento da Serra do Mar, é propícia a precipitações distribuídas ao longo do ano, conferindo à região um índice pluviométrico total anual superior a 2.000 mm, como observado no gráfico 5, de modo que não se esperam períodos longos sem chuva. Em geral, a região possui uma rede de drenagem densa, embora não mapeada, com uma elevada disponibilidade hídrica superficial. Além disso, o curso d'água onde se localiza a queda é caracterizado por ter uma declividade acentuada, e com pouca presença de sedimentos. Entretanto, devido à existência de vários pontos com afloramento rochosos e à declividade acentuada do terreno, são previstos eventuais rolamentos de rocha, transportadas pelos corpos hídricos.

A declividade acentuada da bacia é responsável também por elevadas vazões de pico, conforme evidenciado ao longo do capítulo.

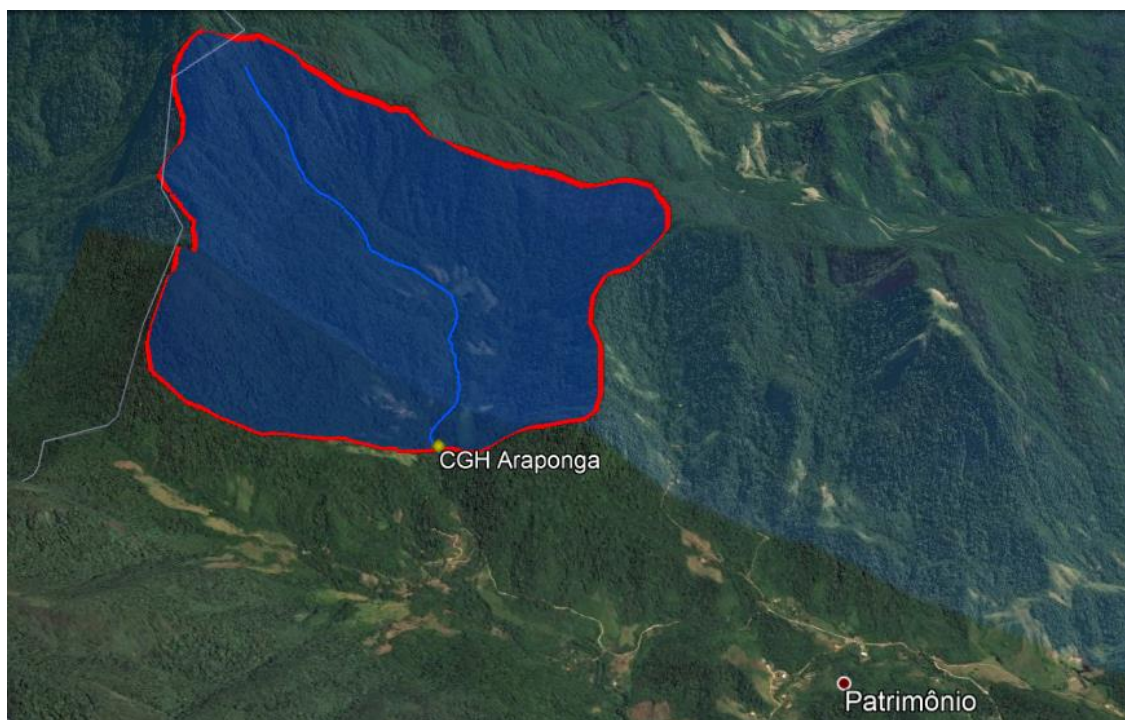


Figura 14 - Localização e hidrografia da Bacia Araçuaia.

Fonte: Elaboração própria a partir do Google Earth

Bacia Hidrográfica

Define-se bacia hidrográfica como sendo a área de captação natural da água precipitada, convergindo o escoamento deste volume para um único ponto de saída definido. Compõe-se de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no seu exutório (**Tucci**, 1997).

A área da bacia estudada foi definida, com auxílio dos softwares ArcGIS e Google Earth, pelo método de divisor de águas percorrendo o percurso com maiores altitudes, encontrando os resultados abaixo.

- Área da bacia: 5,9 km²;
- Perímetro da bacia: $P_{BH} = 9,37$ km;
- Comprimento do rio principal: 3,011 km;
- Altitude na cabeceira: 1.160 m;
- Altitude no exutório: 336 m;
- Desnível: 824 m;
- Declividade baseada nos extremos: $S = 0,28$ m/m

Foram realizadas duas visitas ao local, durante as quais foram marcadas as coordenadas geográficas dos dois possíveis pontos para instalação da CGH, nomeados Sítio 01 e Sítio 02, utilizando o GPS Garmin. Como os dois pontos são bem próximos, traçou-se o perímetro da bacia passando pelo segundo, nomeado CGH Araponga, evidenciado na Figura 15.

Para caracterizar o comportamento hidrológico da bacia, é necessário definir conceitos e parâmetros físicos, descritos a seguir.

A Figura 16 abaixo ilustra a rede de drenagem da bacia, com uma área de 5,9 km², localizada na cabeceira do morro.

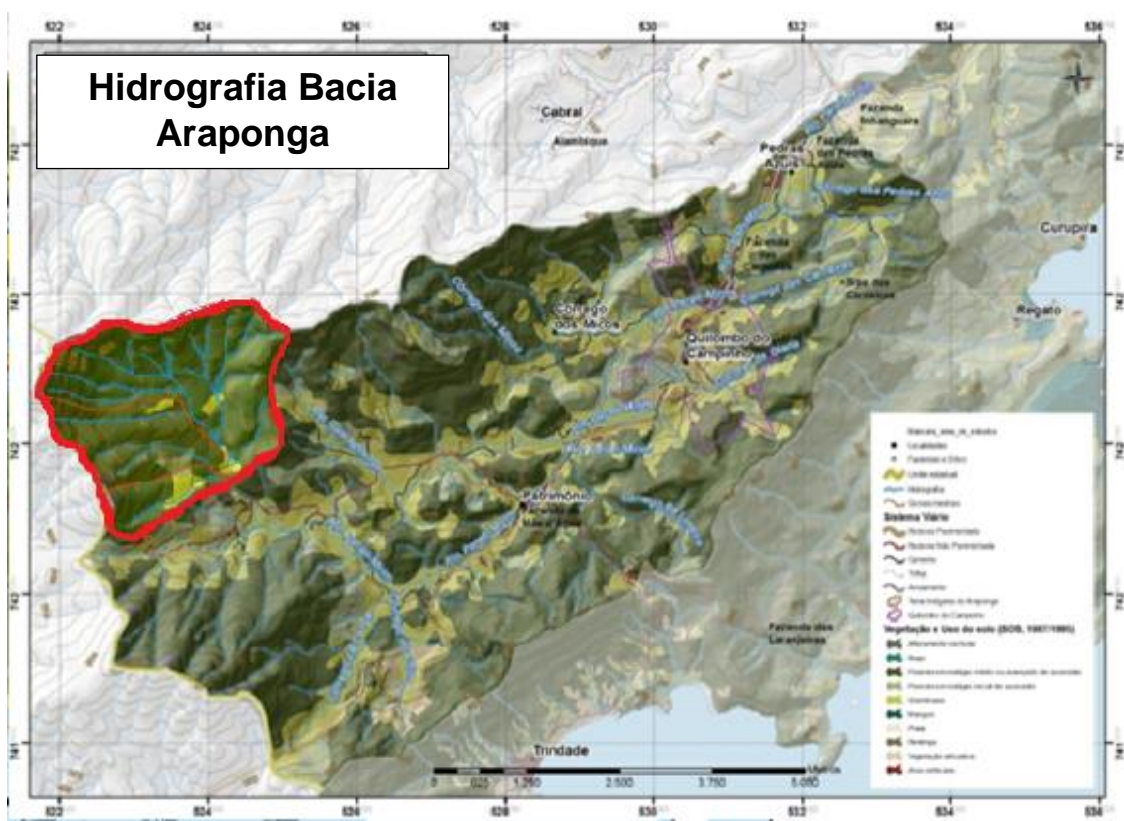


Figura 15 - Localização e hidrografia da Bacia Araponga.

Fonte: CPRM - Adaptada

Coeficiente de Escoamento Superficial (C)

O coeficiente de escoamento superficial, também conhecido como coeficiente de runoff ou coeficiente de deflúvio, representa a relação entre o volume total escoado superficialmente e o volume total precipitado em um dado evento (Tucci, RBRH, 2000). É possível encontrar na literatura diversas maneiras de se obter esse coeficiente, variando bastante a ordem de grandeza dos valores encontrados. Para uma boa

aproximação do seu valor, são consideradas características topográficas, geológicas e de ocupação do solo na região.

Para definição do coeficiente de escoamento superficial da bacia analisada, foi considerado o método de cálculo baseado na área impermeável da bacia (Schuler, 1987), bastante utilizado na prática (Plinio, 2012):

$$C = 0,05 + 0,009 * A_{impermeável}$$

Considerando a área impermeável da bacia igual ao somatório da área da aldeia e de possíveis afloramento rochosos, estipulou-se esse valor sendo 2%. O coeficiente de escoamento superficial obtido foi então de $C=0,068$.

Fator de Forma (Kf)

Representa a influência da forma da bacia sobre a vazão de pico observada na mesma. É definido como o quociente entre a largura média da bacia e o comprimento de seu eixo (da foz ao ponto mais longínquo da área). Como essa largura média representa sua área sobre o comprimento de seu eixo, o coeficiente é resultado então da divisão da área da bacia pelo seu comprimento ao quadrado, como explicitado abaixo. Quando menor for o seu valor, mais alongada é sua forma e, portanto, menos sujeita a picos de enchente.

$$K_F = \frac{A}{L^2}$$

O fator de forma encontrado para a sub-bacia Araponga foi de 0,65. Esse valor indica uma forte probabilidade que uma chuva intensa cubra toda a extensão dessa bacia, estando esta mais sujeita a picos de enchentes.

Coeficiente de Compacidade (Kc)

O coeficiente de compacidade é outro parâmetro que busca relacionar a forma da bacia com o comportamento de escoamento da água precipitada (Júnior, A.). Definido pela razão entre o perímetro da bacia e o perímetro de um círculo de mesma área que a bacia, esse coeficiente é sempre um número maior que a unidade. Sendo assim, quanto menor for o seu valor, ou seja, mais próximo a unidade, menor será o tempo de

concentração (T_c) característico da bacia e maior será a tendência de haver picos de enchente.

$$K_c = \frac{P_{BH}}{P_c}$$

Ou ainda,

$$K_c = 0,28 \frac{P_{BH}}{\sqrt{A}}$$

Onde,

P_{BH} – Perímetro da bacia analisada (m);

P_c – Perímetro de um círculo de mesma área da bacia (m);

A – Área da bacia analisada.

O Coeficiente da bacia analisada, utilizando ambas as fórmulas acima e os dados levantados e calculados sobre a área, é igual a 1,08. O valor obtido representa uma bacia compacta, com tendência a concentrar o escoamento, ficando mais susceptível a inundações.

Tempo de Concentração (T_c)

O tempo de concentração é uma informação importante, porém muito difícil de ser precisado, sendo observadas grandes variações nos resultados de acordo com o método utilizado. O T_c corresponde à duração da trajetória da partícula de água que demora mais tempo para percorrer o percurso mais longo da bacia. O tempo de concentração estimado da bacia Araponga é de aproximadamente 123 min, aplicando a fórmula de McCuen descrita abaixo, e a velocidade média de escoamento de 0,42m/s.

$$T_c = \frac{L}{V \times 60}$$

Onde,

L – Comprimento do rio (m);

V – Velocidade média de escoamento na bacia (m/s), calculada por:

$$V = 0,08 x S^{0,5}$$

Sendo S a declividade da bacia mencionada acima de 0,28 m/m.

Conclui-se, portanto, com os dados obtidos acima, que a bacia analisada apresenta um formato semelhante ao de um círculo, pouco alongada e com declividade acentuada, estando sujeita a picos de enchentes.

Intensidade de Chuva (I)

A intensidade da chuva é uma variável importante para avaliar potenciais enchentes na região e dimensionar estruturas hidráulicas, garantindo projetos seguros (CARDOSO et al., 1998). Esses valores são obtidos de curvas denominadas Curvas IDF, na qual estão relacionadas a intensidade, a duração e a frequência da chuva. A Equação de intensidade de chuvas é descrita abaixo.

$$I = \frac{K \cdot TR^a}{(t + b)^c}$$

Onde,

I – Intensidade da chuva (mm/h);

K, a, b, c – Coeficientes específicos de cada localidade;

TR – Tempo de retorno de um evento (anos);

T – Tempo de duração da chuva (min), sendo valida a relação $t = T_c$ para bacias pequenas.

Os parâmetros K,a,b,c foram obtidos através do software Plúvio 2.1, desenvolvido e disponibilizado pela Universidade Federal de Viçosa, no qual entrando com dados das coordenadas do local, são gerados os valores dessas constantes.

Os valores obtidos foram:

$$K = 951,053$$

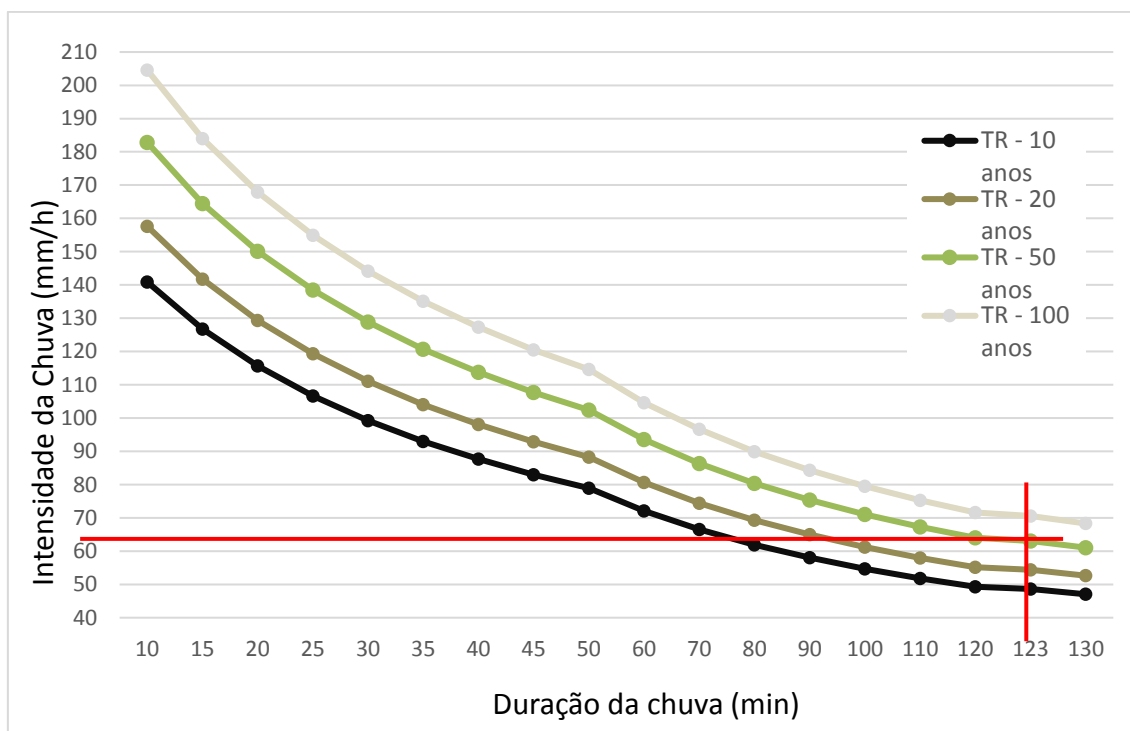
$$a = 0,162$$

$$b = 19,417$$

$$c = 0,675$$

Abaixo estão representadas as curvas característica da Bacia Araponga. No gráfico está destacado o ponto da curva com duração de chuva igual a 123 min e TR igual a 50 anos, equivalente ao tempo de retorno considerado ideal para o dimensionamento das estruturas hidráulicas da CGH Araponga, tendo em vista um sistema simples e economicamente viável. O valor da intensidade da chuva neste ponto é aproximadamente 63 mm/h.

Gráfico 7 - Curva IDF Bacia Araponga



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do Pluvio 2.1 (Universidade Federal de Viçosa).

5.2. Métodos Utilizados

5.2.1. Estimativas de Vazões

Na ausência de estações pluviométricas no corpo hídrico analisado, foi necessário recorrer a métodos de estimativa da vazão, sendo importante o entendimento da gestão dos recursos hídricos em âmbito nacional, estadual e municipal.

No Brasil, com o intuito de facilitar a gestão de Recursos Hídricos, dividiu-se o território em Regiões, Bacias e Sub-bacias Hidrográficas, em âmbito nacional e regional, de acordo com a abrangência do órgão gestor.

Segundo a Resolução nº 32/2003 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), responsável pela Divisão Hidrográfica Nacional, o estado do Rio de Janeiro, onde se localiza a área de estudo, faz parte da Região Hidrográfica Atlântico Sudeste, destacada na Figura 17. Essa região foi delimitada compreendendo as bacias dos rios que deságuam no Oceano Atlântico, no trecho sudeste do país, abrangendo uma área de 214.629km², o equivalente a 2,5% do país. Devido ao elevado contingente populacional e atividades industriais observados, essa região é caracterizada por apresentar uma das menores disponibilidades hídricas relativas.

Em âmbito estadual, a região do Rio de Janeiro foi dividida em outras 9 regiões hidrográficas pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERHI), através da Resolução CERHI-RJ nº 107/2003. Nesta divisão, a área de interesse se encontra na Região Hidrográfica RH-1, Baía de Ilha Grande, caracterizada na Tabela 14 e apresentada na Figura 18.



Figura 16 - Divisão hidrográfica nacional.

Fonte: Res. N° 32/2003 CNRH

Tabela 14 - Divisão Hidrográfica Estadual – Rio de Janeiro.

Região Hidrográfica	Nome	Área (km ²)	Área relativa
RH - I	Baía da Ilha Grande	1.758,6	4,0 %
RH - II	Guandu	3.712,9	8,5 %
RH - III	Médio Paraíba do Sul	6.429,1	14,7 %
RH - IV	Piabanha	3.459,2	7,9 %
RH - V	Baía de Guanabara	4.813,6	11,0 %
RH - VI	Lagos São João	3.650,7	8,3 %
RH - VII	Dois Rios	4.462,4	10,2 %
RH - VIII	Macaé e das Ostras	2.012,9	4,6 %
RH - IX	Baixo Paraíba do Sul	13.467,6	30,8 %
Total		43.767	100,0 %

Fonte: Plano Estadual de Recursos Hídricos-RJ (2012) – adaptado

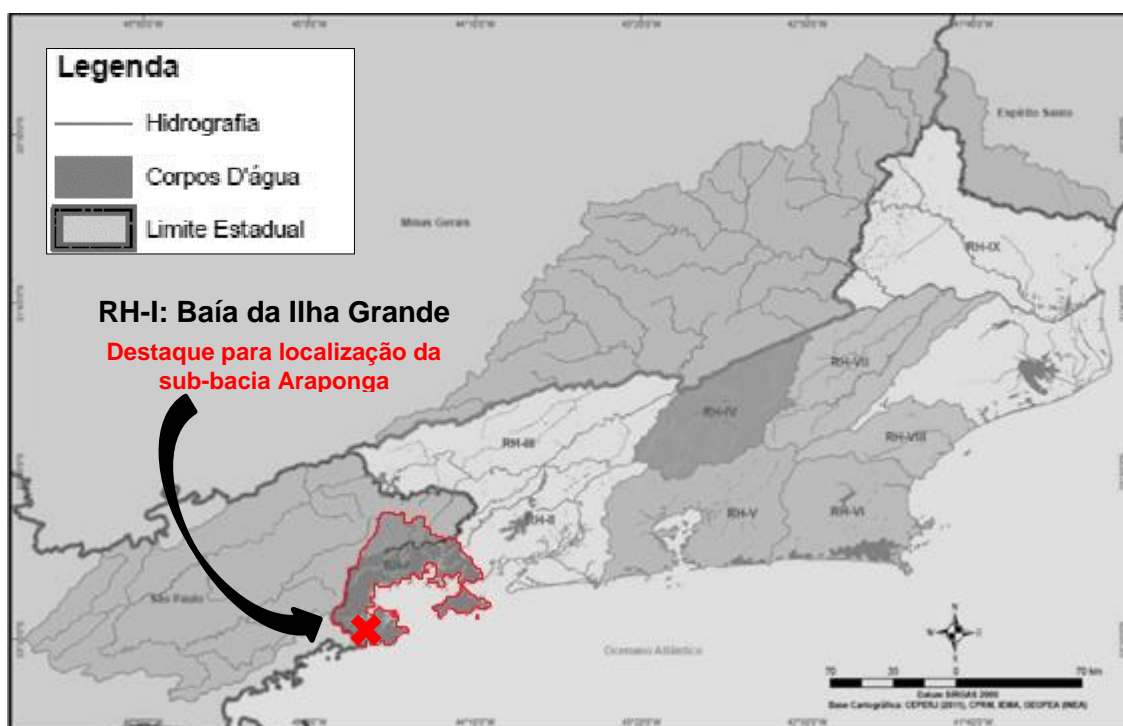


Figura 17 - Divisão hidrográfica estadual.

Fonte: Plano Estadual de Recursos Hídricos-RJ (2012)- Adaptado

Há ainda a subdivisão do território nacional em 89 pequenas sub-bacias, realizada pela ANEEL. A sub-bacia 59, onde se encontra a Aldeia Araponga, está localizada ao sul da RH Atlântico Sudeste e é cercada pela Serra do Mar. Essa formação geológica é o grande divisor de águas do Estado, dividindo a drenagem natural em duas vertentes: rio Paraíba do Sul e região litorânea. Devido à proximidade entre a Serra do Mar e o litoral, as sub-bacias compreendidas na região litorânea apresentam extensão e áreas de

drenagem relativamente pequenas, motivo pelo qual não há presença de muitos aproveitamentos hidrelétricos de grande porte na região.

Embora o Brasil possua uma hidrografia densa, monitorada por estações hidrológicas composta por pluviômetros e fluviômetros, estas estão concentradas nos rios principais e de maior porte. Sendo assim, mesmo que essa rede hidrológica possua muitas estações, não é capaz de suprir totalmente as necessidades de informação.

Para estimativa de vazões neste trabalho, recorreu-se então ao Método Racional, indicado para estimar vazões de pico em bacias de pequeno porte, e ao método de regionalização de vazões aplicado à sub-bacia 59, desenvolvido pela CPRM/ANEEL.

Método Racional

Utilizado para calcular a vazão de pico de uma determinada bacia, a partir da relação entre a chuva e o escoamento superficial, o Método Racional é indicado para bacias com áreas de drenagem pequenas (McCuen, 1998).

A fórmula utilizada para o cálculo da vazão de pico é descrita abaixo:

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{360}$$

Onde,

Q – Vazão de pico da bacia (m³/s);

C – Coeficiente de escoamento superficial;

I – Intensidade da chuva (mm/h);

A – Área de drenagem da bacia (ha).

Utilizando os dados calculados ao longo deste capítulo, obtemos uma vazão de pico para um Tempo de Retorno (TR) de 50 anos no valor de 7,24 m³/s.

Regionalização de Vazões

O termo 'regionalização de vazão' representa, na comunidade hidrológica, a denominação da transferência de informações de uma região com dados para outra, geralmente não monitorada ou com dados inconsistentes ou escassos, desde que o comportamento hidrológico de ambas seja semelhante.

Diversos estudos hidrológicos visando a ‘transferência’ de informações para determinação de vazões médias (QMLT) e mínimas (Q7,10, Q95%, Q90%) têm sido desenvolvidos ao longo dos anos, sendo a maioria apoiada em estudos de regionalização de vazões. Cada um, no entanto, apresenta determinadas características e limitações, que devem ser levadas em consideração na hora da escolha do método.

Para determinação da vazão de projeto da sub-bacia da Aldeia Araponga, foi analisado o Estudo de Regionalização da Sub-Bacia 59, desenvolvido pela CPRM/ANEEL, por sua vez baseado na metodologia descrita por TUCCI em Regionalização de Vazões. O estudo utiliza dados pluviométricos e fluviométrico de estações tanto da ANEEL quanto da SERLA, além de algumas estações do DNOS e do INMET.

O método empregado nesse estudo da CPRM, genericamente denominado de método da cheia-índice ou *index-flood*, é baseado na regionalização da curva adimensional de probabilidades para o qual é recomendado a utilização do maior número possível de dados.

Foram selecionadas 75 estações pluviométricas e 13 estações fluviométricas da sub-bacia 59, depois de analisadas suas respectivas séries de dados e descartadas as estações com séries menores do que 5 anos. As séries selecionadas passaram então por uma análise de qualidade de dados, utilizando o critério de avaliação constante de TUCCI (2000).

Ainda foram realizados na seleção das estações para a análise regional, testes de independência serial (coeficiente de autocorrelação) e estacionariedade (t – Student para as médias e F – Fisher para as variâncias) das séries anuais de vazões médias, máximas, e mínimas de 7 dias de duração.

Como variáveis independentes, foram consideradas a área de drenagem e a precipitação total anual média de cada estação para a análise de regressão das variáveis de longo termo, utilizadas como fatores de adimensionalização das distribuições de probabilidades. A análise das curvas e equações geradas possibilitou a definição da região homogênea para a qual foram atribuídas versões de equações e curvas adimensionais de probabilidade (CPRM, 2002).

Na regionalização de vazões médias foi utilizado um total de apenas dez estações fluviométricas. Estações cujos dados foram considerados não confiáveis não foram incluídas na análise, embora sejam consideradas pertencentes à mesma região homogênea.

Tabela 15 - Cálculo da vazão média de longo termo.

Equação de Regionalização	R ²	Área de Validade (Km ²)
$Q_{MLT} = 0,0211 \cdot A^{1,0196} \cdot P^{0,7917}$	0,9862	22 a 597
$Q_{MLT} = 0,0421 \cdot A^{1,0053}$	0,9768	

Fonte: Estudo de regionalização da sub-bacia 59 – CPRM/ANEEL

O coeficiente de ajuste máximo disponibilizado, para um tempo de retorno de 10 anos, é 1,5843.

Já nos modelos sugeridos para cálculo de vazões máximas, foram consideradas apenas 8 postos fluviométricos no ajuste. Da mesma forma que para o modelo de vazões médias, as funções regionais também foram consideradas válidas para as bacias cujos dados foram descartados.

Tabela 16 - Cálculo da vazão máxima de cheia.

Equação de Regionalização	R ²	$\frac{Q_{m\acute{a}x\ anual}}{Q_{MC}}$	Área de Validade (Km ²)
$Q_{MC} = 0,3482 \cdot A^{1,0206} \cdot P^{0,1733}$	0,9857	Tr (10) = 1,3868 Tr (20) = 1,5096	22 a 597
$Q_{MC} = 0,3865 \cdot A^{1,0259}$	0,9429	Tr (50) = 1,6443	

Fonte: Estudo de regionalização da sub-bacia 59 – CPRM/ANEEL

Assim como na análise de vazões médias, não foram consideradas algumas estações, embora sejam consideradas constituintes da mesma região homogênea.

O coeficiente de ajuste para um tempo de retorno de 50 anos é 2,4332.

Tabela 17 - Cálculo da vazão mínima.

Equação de Regionalização	R ²	$\frac{Q_{min,d\ anual}}{Q_{min,d}}$	Área de Validade (Km ²)
$Q_{min,d} = 0,0118 \cdot A^{1,0168} \cdot P^{0,008} \cdot d^{0,0860}$	0,9722	0,7151	22 a 597
$Q_{min,d} = 0,0118 \cdot A^{1,0168} \cdot d^{0,0860}$	0,9727		

Fonte: Estudo de regionalização da sub-bacia 59 – CPRM/ANEEL

Para as curvas de permanência, assim como para vazões mínimas médias e máximas, também se obteve apenas uma região homogênea, excluindo as sub-bacias dos rios Guandu e Macabu. Os dados das estações Quizanga e Fazenda da Posse também não foram considerados na regionalização das curvas de permanência.

O coeficiente de ajuste para um tempo de retorno de 50 anos é 0,5812.

Tabela 18 - Vazão correspondente à 95% de permanência em (m³/s).

Equação de Regionalização	R ²	Área de Validade (Km ²)
$Q_{95} = 0,0144 \cdot A^{1,003} \cdot P^{-0,1085}$	0,9713	22 a 597
$Q_{95} = 0,0144 \cdot A^{1,003}$	0,9747	

Fonte: Estudo de regionalização da sub-bacia 59 – CPRM/ANEEL

Tabela 19 - Vazão correspondente à 50% de permanência em (m³/s).

Permanência de 50%			
Nº de variáveis	Modelo	R ² ajustado	Erro padrão
2	$Q_{50} = 0,0189 \cdot A^{1,0015} \cdot P^{0,6905}$	0,9785	0,1455
1	$Q_{50} = 0,0345 \cdot A^{0,989}$	0,9729	0,1634

Fonte: Estudo de regionalização da sub-bacia 59 – CPRM/ANEEL

Para cálculo das vazões da sub-bacia Araponga foram utilizados dados pluviométricos do bairro Patrimônio, cuja precipitação anual média é 2100 mm (CPRM, 2012), além da área da bacia medida igual a 5,9km².

A aplicação deste método para estimativa de vazões na sub-bacia Araponga gerou os seguintes valores expostos na Tabela 20 abaixo.

Tabela 20 - Vazões Sub-bacia Araponga pelo Método de Regionalização.

Vazão	(m ³ /s)
Q_{MLT}	0,252
$Q_{MLT,10}$	0,3992
Q_{MC}	2,3876
$Q_{MC,50}$	5,807
$Q_{7,10}$	0,0607
$Q_{50\%}$	0,2005
$Q_{95\%}$	0,077

Fonte: Elaboração própria.

Definiu-se a Q95% deste estudo como a vazão de projeto da CGH Araponga, pois embora a área mínima de validade recomendada pelo estudo seja maior do que a área da bacia analisada, os resultados estão de acordo com as vazões estimadas a partir de avaliações visuais durante as visitas de campo realizadas ao local, tanto na época de cheia quanto na época de estiagem. Deve-se considerar que as vazões obtidas com a aplicação desse método não são precisas e essas estimativas só devem ser utilizadas, portanto, quando o local de interesse não dispuser de uma série histórica com pelo menos 5 anos de dados.

A vazão de pico utilizada para o dimensionamento do vertedouro, no entanto, foi a obtida pela aplicação do Método Racional, pois, uma vez sendo esse valor maior do que vazão de cheia para 50 anos do método de regionalização, garante maior segurança no dimensionamento de estruturas hidráulicas.

5.2.2. Estimativa de Demanda

A Distribuidora de energia da região, Enel Distribuidora Rio de Janeiro, antiga Ampla, disponibiliza em seu site a Instrução Técnica Ampla (ITA), cujo conteúdo objetiva estabelecer critérios de cálculo de demanda para se especificar ramais e tipo de medição com fornecimento de energia em baixa tensão na área de concessão da

empresa. Embora o presente trabalho se trate de um sistema de autoprodução, serão considerados os valores de alguns parâmetros indicados na ITA.

Durante visita à Aldeia, além de um levantamento do número de habitantes, buscou-se saber quais tipos e quantidades de aparelhos que demandam energia são utilizados, assim como entender os hábitos locais e frequência de utilização desses aparelhos a fim de se traçar um perfil consumidor da comunidade. Posteriormente, foram calculadas suas respectivas potências nominais, obtendo-se a potência instalada ¹⁰da Aldeia, apresentada na tabela 21.

Para estimar o consumo¹¹ de energia elétrica total da Aldeia foi utilizada a Tabela 22 como referência de potência de cada aparelho. O somatório das potências nominais multiplicadas pelas estimativas de períodos de utilização de cada aparelho durante um mês, em fração de hora, representa o valor do consumo mensal de energia na Aldeia Araponga.

$$\text{Consumo (kWh)} = \frac{\sum [\text{Potência do aparelho (W)} \times \text{horas de funcionamento por mês (h)}]}{1.000}$$

Vale ressaltar que não foi considerado o Fator de Diversidade e nem o de Localização especificados na ITA por se tratar de um sistema de autoprodução.

¹⁰ Entende-se como potência instalada, a soma das potências nominais de cada equipamento elétrico de mesma espécie que estejam em condições de entrar em funcionamento, não sendo, portanto, computadas aquelas de aparelhos de reserva. A potência Instalada é expressa em kW e é importante para definir a tensão de atendimento do consumidor

¹¹ Consumo ou demanda aqui é o termo utilizado para se referir à média das potências elétricas ativas ou reativas, solicitadas ao sistema elétrico pela parcela da potência instalada em operação na unidade consumidora, durante um intervalo de tempo especificado.

Tabela 21 - Relação de pontos de consumo na Aldeia Araponga.

APARELHO	Quantidade	Potência (W)	Pot. Total (W)
Lâmpada	15	100	1500
Freezer	1	400	400
Geladeira	2	300	600
Tomada	10	100	1000
Chuveiro	2	4400	8800
TV a cores	2	100	200
Microondas	1	1200	1200
Máquinas	2	50	100
Potência instalada			13,8 kW

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 22- Potência de eletrodomésticos.

APARELHO	POTÊNCIA (Watt)
Ar condicionado – ¼ HP	1125
Ar condicionado – 1 HP	1500
Ar condicionado – 7500 BTU/h	1250
Aparelho de som	120
Aquecedor de água – até 80 litros	1500
Aquecedor de água – de 100 a 150 litros	2500
Aspirador de pó	200
Aquecedor de ambiente	1000
Batedeira	100
Boiler elétrico	2500
Cafeteira elétrica	600
Circulador de ar	150
Chuveiro elétrico	4400
Enceradeira	300
Ferro elétrico automático	1000
Forno à resistência	1500
Forno de microondas	1300
Freezer	400
Geladeira 1 porta	200
Geladeira 2 portas	300
Lavadora de louças	1500
Lavadora de roupas	1000
Liquidificador	200
Secadora de roupas	3500
Torneira elétrica	2500
Torradeira	800
TV em cores – 20 polegadas	90
TV em cores 14 polegadas	60
TV preto e branco	40
Ventilador	100

Fonte: ITA –Enel Distribuição

Além de considerar algumas fontes da tabela acima, foram incluídas lâmpadas incandescentes e tomadas, ambas com potências nominais de 100W.

A pesquisa sobre os hábitos e rotina diária da comunidade foi fundamental para poder estimar o perfil de consumo de energia atual e futuro.

Na cozinha comunitária, o freezer e duas geladeiras permanecerão constantemente ligados, enquanto pontos de luz e outros eletrodomésticos, como o microondas, serão utilizados em frações do dia.

A casa de reza conta com dois pontos de luz, além de tomadas, que, em horários alternados, também serão utilizados apenas em frações do dia.

Luzes e tomadas dentro de cada uma das nove casas residenciais serão utilizadas majoritariamente durante a noite.

O ambiente da escola é utilizado principalmente durante o dia, utilizando iluminação natural da luz do sol. Tomadas possibilitarão a utilização de aparelhos, como projetores, quando necessário.

Prevê-se ainda, a pedidos da comunidade, a instalação de 2 chuveiros elétricos, um em cada banheiro, sendo um dos principais consumos da Aldeia.

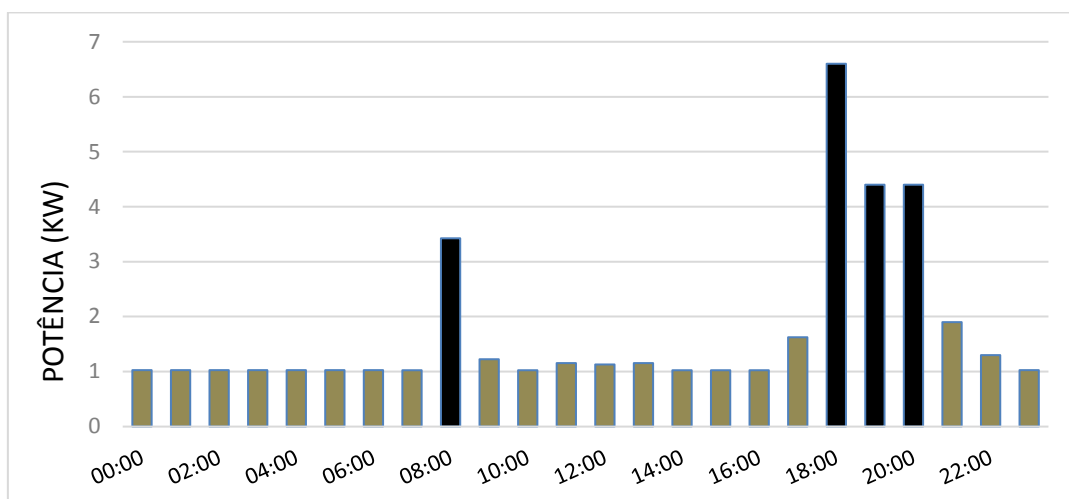
O centro de saúde, pouco utilizado, conta com 2 tomadas cujos consumos serão praticamente nulos em um balanço mensal.

Além de luz e aparelhos domésticos, foram contados nove celulares na Aldeia e estima-se que com o fornecimento de energia mais moradores virão a adquirir esses aparelhos também.

Pretende-se ainda, com o fornecimento de energia, adquirir ferramentas elétricas que facilitem os trabalhos artesanais da Aldeia.

Em posse dessas informações, foi traçado o gráfico de consumo futuro estimado abaixo.

Gráfico 8 - Projeção da variação diária de consumo energético.



Fonte: Elaboração própria.

A partir do gráfico acima é possível identificar os horários de pico de consumo de energia às 8:00, 18:00, 19:00 e 20:00.

Como já se esperava, a comunidade apresenta um baixo consumo de energia elétrica, sendo essa usada apenas em serviços básicos e para utilização de ferramentas e aparelhos elétricos que lhes permitam o acesso às necessidades básicas.

5.2.3. Medição da Queda

Os desníveis tanto do Sítio 1 quanto do Sítio 2 foram medidos com o Altimetro Garmin. Deve-se considerar que estes aparelhos possuem certa imprecisão, agravada, inclusive, pelo local de medição ser em mata fechada. Os valores obtidos pelo GPS, no entanto, foram ao encontro das estimativas visuais realizadas.

Tabela 23 - Desníveis dos sítios estudados.

Nº Queda	H_b Sítio 1 (m)	H_b Sítio 2 (m)
1	2	7
2	-	6
3	-	5
Desnível total (m)	2	18

Fonte: Elaboração própria.

Sítio 01:

Desnível: aproximadamente 2,00 m que queda, exibido na Figura 20 utilizando escala humana.

Vantagem: Por não ser a queda principal do rio, não impactaria em atividades recreativas.

Desvantagem: Queda e aproveitamento menor, além de dificuldade para construção de cada de máquinas.

Sítio 02:

Desnível (Somatórios das três quedas): $7,00 + 6,00 + 5,00 = 18,00$ m

Vantagem: Queda maior, resultando em um potencial hidráulico maior que pode ser aproveitado.

Desvantagem: Por ser a queda principal do rio, impactaria em atividades recreativas da comunidade, principalmente em época de estiagem.



Figura 18 - Queda Sítio 1 em época de cheia.

Fonte: Acervo pessoal.



Figura 19 - Queda Sítio 2 em época de cheia e época de seca.

Fonte: Acervo pessoal.

5.2.4. Estimativa da Potência Disponível

O potencial hidráulico de um rio pode ser previamente estimado a partir da sua vazão de projeto, igual a Q90% para pequenos aproveitamentos, e o desnível presente no local, calculado pela diferença de cotas de montante e jusante (H) à queda d'água (ELETROBRÁS, 1985). A equação é dada por:

$$Pd = 7,5 \times Qp \times H \text{ (kW)}$$

Onde,

Pd – Potência hidráulica estimada (kW);

Qp - Vazão de projeto – Q95% para empreendimentos de pequeno porte (m³/s);

H – Desnível entre NA montante e jusante (m).

O fator constante 7,5 é o produto do peso específico da água dividido por 10³ para ajuste de unidade, multiplicado pelo rendimento global do sistema, que considera possíveis

perdas na captação e adução e um rendimento estimado do conjunto gerador (ELETROBRÁS, 1985).

O valor da potência hidráulica da queda analisada é de aproximadamente 10,8 kW, sendo a vazão de projeto $Q_{95\%} = 80\text{L/s}$, e a altura da queda bruta (H_b) igual a 18 metros.

É importante salientar que a potência disponível pode variar devido a variações de vazão, que influenciam nos níveis d'água de montante e jusante do sistema. Em pequenos aproveitamentos, entretanto, essas variações não são muito acentuadas.

Para calcular a potência que de fato será gerada pela central hidrelétrica, é necessário considerar o rendimento global dos equipamentos. Além disso, deve-se considerar as perdas de carga nos sistemas de captação.

A equação da potência instalada abaixo representa, portanto, a potência máxima gerada, dada a seleção de um conjunto gerador selecionado.

$$P_i = \eta \times \gamma \times Q_{tur} \times H_u \text{ (W)}$$

$$\eta = \eta_{turbina} \times \eta_{gerador} \times \eta_{mecânico}$$

Onde,

P_i – Potência instalada (W);

γ – Peso específico da água – 9810 (kg/m³)

Q_{tur} – Vazão máxima turbinável (m³/s);

η - Rendimento global sistema;

$\eta_{turbina}$ – Rendimento interno da turbina hidráulica;

$\eta_{gerador}$ – Rendimento do gerador;

H_u – Altura da queda útil, considerando as perdas no sistema de captação e adução;

$\eta_{mecânico}$ – Rendimento mecânico.

A altura útil (H_u) é resultado da diferença da queda bruta menos as perdas de carga (h_f) no sistema de captação e adução ($H_b - h_f$), sendo a queda bruta o desnível entre a cota do nível d'água a montante da adutora a cota do eixo da turbina.

Perdas de Carga

Perda de carga, segundo Streeter e Wylie, 1984, é o termo usado para representar parte da energia potencial, de pressão e de velocidade que é transformada em outros tipos de energia, tal como o calor, durante o processo de condução da água. Essas perdas são de suma importância, uma vez que influenciam diretamente no dimensionamento hidráulico do sistema.

São observadas perdas de carga em todas as etapas de geração, sendo a etapa do conduto forçado a única na qual há qual ocorre perda distribuída. A perda de carga distribuída em uma tubulação é a perda de energia dinâmica do fluido e ocorre devido ao choque das partículas do fluido entre si e ao atrito com as paredes do canal. Sendo assim, quanto maior for a rugosidade do material da tubulação, maior será a turbulência do escoamento e, logo, maior será a perda de carga. Essas relações entre o tipo de escoamento e perda de carga são descritas pelas equações do Número de Reynolds e pela Fórmula Universal de Darcy-Weibach, evidenciadas abaixo.

$$R_e = \frac{\rho \times V \times D}{\mu}$$

Onde,

ρ : Densidade do fluido (kg/m^3);

D: Diâmetro da adutora (m);

μ : Viscosidade dinâmica do fluido (Kg.m/s);

V: Velocidade média do escoamento (m/s).

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

Onde,

h_f : Perda de Carga distribuída (m);

f: Coeficiente de atrito (adimensional);

L: Comprimento da canalização (m);

D: Diâmetro da canalização (m);

V: Velocidade média do escoamento (m/s).

$$f = F \left(Re, \frac{\varepsilon}{D} \right)$$

O coeficiente de atrito f é obtido através do Diagrama de Moody uma vez calculados o Número de Reynolds (Re) e a rugosidade relativa da tubulação ($\frac{\varepsilon}{D}$).

As perdas de carga localizadas são originadas devido às variações bruscas da geometria do escoamento, como alterações da seção do fluxo ou mudanças de direção do escoamento. Podem ser calculadas aplicando o conceito de comprimento equivalente, utilizando a Fórmula Universal de perda de carga de Darcy-Weisbach, ou através da fórmula que utiliza o coeficiente de perda de carga localizada.

$$h_{ac} = f \cdot \frac{L_{eq}}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

$$h_{ac} = K \cdot \frac{V^2}{2g} \quad \text{sendo}$$

$$K = f \cdot \frac{L_{eq}}{D}, \text{ para distâncias equivalentes e}$$

$$K = 0,9457 \cdot \text{sen}^2 \left(\frac{\theta}{2} \right) + 2,05 \cdot \text{sen}^4 \left(\frac{\theta}{2} \right), \text{ para conexões de joelhos.}$$

A perda de carga total do sistema é dada pelo somatório das perdas contínuas e das perdas localizadas.

Deve ser considerado ainda, que ao longo de um período analisado, o sistema pode gerar uma potência menor do que sua potência instalada, descrita acima, devido a variações de caudal. Para relacionar a potência média gerada e a potência instalada, utiliza-se o fator de capacidade, que representa o valor adimensional da potência média gerada sobre a potência instalada, como apresentado na fórmula abaixo.

$$fc = \frac{Pm}{Pi}$$

Pm – Potência média gerada;

fc – Fator de capacidade

Por fim, para saber a energia elétrica gerada pelo sistema, considerando o tempo (t) em horas e o fator de carga da CGH, tem-se a seguinte equação:

$$E = P \times t \times fc$$

E – Energia gerada em um tempo *t* (Wh).

Convém usar a unidade kWh para energia.

6 RESULTADO DO ESTUDO

6.1. Escolha do Local

A escolha do local para implantação da CGH foi feita analisando as características físicas, hidrológicas e os impactos relacionados a cada sítio.

Optou-se então pelo Sítio 2 devido a dois fatores determinantes que lhe conferem um potencial hidráulico maior. O primeiro é a presença de um curso d'água afluente ao Sítio 2, aumentando a vazão observada nesse ponto. A segunda, e mais influente, é a diferença de desnível entre o Sítio 1 e 2 de aproximadamente 16 metros. Aplicando a equação de potencial hidráulico explicitada no item 5.3.5, chega-se ao resultado de aproximadamente 10 kW de diferença entre o potencial de cada sítio. Além disso, o Sítio 1 está cercado por mata fechada, sendo necessário ainda a retirada de vegetação de uma certa área para a construção da casa de máquinas.

Do ponto de vista de impactos causados com o desvio do caudal, entretanto, o Sítio 2 se mostra mais vulnerável. A cachoeira e a piscina natural que se forma após a terceira queda fazem parte de uma área utilizada para lazer da comunidade, além de ser um potencial atrativo turístico que poderia ser explorado pela comunidade.

6.2. Escolha do Conjunto Gerador

Foram analisadas duas propostas de conjunto gerador de duas empresas diferentes, uma utilizando uma BFT e a outra uma Turbina Pelton. Em ambos os orçamentos foi

solicitado um conjunto gerador para uma vazão de projeto de 80L/s e queda bruta de 18m.

A primeira opção, composta por uma BFT, operando à vazão constante, possui rotação de 900 rpm, rendimento do conjunto de 80% e potência elétrica instalada de 10 KW. O conjunto gerador incluindo itens, como válvula borboleta, foi orçado em R\$ 112.920,00.

O segundo conjunto analisado se trata de uma turbina de fabricação própria de eixo horizontal do tipo Pelton, composta por dois rotores, operando com variações de vazão de 50 a 240 L/s. O sistema de adução é composto por duas adutoras de 300 mm que podem ser utilizadas simultânea- ou alternadamente, mediante controle da vazão. Com um rendimento do conjunto de 73%, fornecido pela empresa, o sistema tem capacidade de 30 kW, sem considerar as perdas, e foi orçado em R\$38.000,00

Diante da potência gerada por cada conjunto e da diferença expressiva em seus valores, optou-se pela segunda proposta, dada pela empresa Alterima.

Vale ressaltar que, embora a empresa se responsabilize pela montagem dos equipamentos e pelas obras civis necessárias às instalações das máquinas e estruturas, tanto hidráulicas quanto de transmissão, esses valores não estão incluídos no preço do orçamento mencionado acima.

A Figura 22 ilustra a turbina composta por dois rotores, proposta pela empresa Alterima.



Figura 20 - Turbina Pelton – Alterima.

Fonte: Site Alterima

6.3. Dimensionamento do Sistema

Uma vez fornecido pela empresa Alterima o modelo e especificações do conjunto gerador, foi realizada a proposta de arranjo abaixo, e seu respectivo dimensionamento.

6.3.1. Arranjo Proposto

A CGH será construída em um local cuja área de drenagem da bacia, como mencionado no item 5.1, é igual a 5,9 km² e apresenta as seguintes características:

- Queda bruta – 18,0 m;
- Vazão de projeto – 80 L/s;
- Vazão máxima turbinável – 240 L/s;
- Vazão pico de cheia com TR = 50 anos – 7.240 L/s

A casa de força, assim como o canteiro de obras, será implantada na cota inferior da queda, como indicado na Figura 23 a) e b), após a piscina natural formada pela queda d'água. Essa área, embora estável, deverá ser nivelada devido à enorme quantidade de rochas.

O local, hoje com difícil acesso, deverá contar ainda com pequenas obras de infraestrutura, como trilhas e escadas, a fim de possibilitar o transporte dos materiais e equipamentos.

Sugere-se a implantação do sistema em época de estiagem, principalmente entre junho e agosto, quando as vazões observadas são mais baixas, facilitando a captação e desvio do caudal para construção das estruturas previstas.



Figura 21 - a) Local sugerido para instalação da casa de força e canteiro de obras e **b)** Arranjo proposto e impacto visual do sistema de geração.

Fonte: Elaboração própria.

6.3.2. Sistema de Captação

Como mencionado no item 4.5.2, o sistema de captação será composto por barragens, incluindo estruturas de filtragem e de captação e vertimento d'água. Vale ressaltar que na impossibilidade de medição precisa das distâncias e cotas no local com os equipamentos disponíveis nas visitas, os valores apresentados são aproximações, porém de acordo com a realidade do local.

Os cortes das estruturas estão apresentados Apêndice B.

Barragens, Filtros e Vertedouro

O sistema não prevê a construção de reservatório para acúmulo de água. Contará apenas com dois barramentos, um com a função de reter materiais mais grosseiros e outro com a função de manter o nível d'água necessário para sua captação através do filtro fino Coanda, descrito no item 4.5.2, mantendo a submergência das adutoras dentro da caixa.

Optou-se pela barragem de gravidade em concreto devido a fundação ser composta por rocha sã e a seção transversal, além de ser pequena, se assemelhar a um triângulo. Como mencionado no item 4.5.2, esse tipo de barragem é frequentemente utilizado em centrais geradoras hidrelétricas por resistir às variações de pressão da vazão afluyente.

A primeira estrutura, também construída em concreto, está localizada a 4,0 m da primeira queda d'água e tem a função de reter materiais de dimensões maiores que possam ser carregadas pelo corpo hídrico, como pequenas pedras, galhos e animais. Espera-se com essa estrutura reter também parte de sedimentos menores, como areias, reduzindo a frequência de limpeza do filtro em sequência. Essa estrutura possui dimensões aproximadas de 0,4 x 3,0 x 0,2. O corte e a planta da estrutura podem ser consultados no Apêndice B.

O segundo barramento, onde estão dispostos o vertedouro e o sistema de filtragem Coanda, está localizado 2,5 m a jusante do primeiro barramento e possui dimensões aproximadas de 2,1 x 3,2 x 0,2. Nesta estrutura está previsto um vertedouro retangular com ogiva, conhecido como vertedouro tipo Creager, apresentado no item 4.5.2, a fim de direcionar o fluxo para o filtro Coanda de modo que este percorra o filtro sem descolar. Suas dimensões aproximadas são 0,325 x 1,0 x 0,2, sendo dimensionado,

portanto, para uma vazão de aproximadamente 407 L/s. Este valor foi obtido utilizando a fórmula abaixo (FRANCIS).

$$Q = 2,196 \times L \times H^{3/2}$$

Onde,

Q – Vazão que passa pelo vertedor (m³/s);

L – Largura do vertedor (m);

H – Altura de água vertida (m).

Para vazões superiores, prevê-se o vertimento por cima da barragem e possíveis extravasamentos pelas laterais do barramento, podendo comprometer o acesso à essas estruturas em eventos de vazão de pico. Essa condição ocorre naturalmente nesse curso d'água em situações de cheia, mesmo na ausência de barramento, devido à proximidade da trilha e ausência de uma proteção entre esse acesso e a queda d'água. O sistema previsto de filtração de materiais mais finos é o *Coanda Effect Screen*, detalhado no item 4.5.2.

O dimensionamento do filtro, detalhado em Apêndice B, foi feito a partir dos dados sobre o corpo hídrico dispostos no início deste subitem. Foram consideradas também as características do conjunto gerador selecionado, ou seja, duas adutoras de 300 mm de diâmetro e vazão máxima turbinável de 120 L/s por adutora.

Utilizou-se para a seleção do filtro o manual *Design Guidance for Coanda-Efecct Scrrrens* (Bureau of Reclamation, 2003), seguindo os passos descritos no Anexo I, obtendo as seguintes dimensões:

- Altura e extensão da ogiva e placa de aceleração – 0,152 m e 0,135 m;
- Comprimento x largura da superfície filtrante - 1,0 m x 1,0 m;
- Inclinação e raio de curvatura da superfície filtrante – 35° e 2,5 m;
- Inclinação individual das grades – 5°;
- Espessura e espaçamento entre grades – 1,524 mm e 1,0 mm;
- Porosidade da superfície filtrante – 39,6%.

As curvas de *by-pass* podem ser consultadas também no Anexo I.

Obtidos esses valores, foi possível projetar a estrutura onde o fluxo filtrado é captado, apresentando as dimensões acima, detalhadas no Apêndice B.

6.3.3. Sistema de Adução

O sistema de adução da CGH Araponga é composto pela tomada d'água e pelo conduto forçado de alta pressão.

Tomada D'água

De acordo com o arranjo proposto, a tomada d'água está localizada acoplada à estrutura de filtração. As adutoras previstas, ambas com 300mm de diâmetro, estão fixadas a 0,13 m da base da estrutura. Dispostas em lados diferentes da estrutura, possuem submersão máxima de 0,18 m.

Os cálculos das perdas de carga verificadas na adução estão evidenciados nas Tabelas 24 a) e b).

Os detalhes das estruturas, assim como seus dimensionamentos, estão apresentados no Apêndice B.

Conduto Forçado de Alta Pressão

Estão previstos dois condutos forçados de PVC, diâmetro de 300 mm (12") cada, e extensões aproximadas de 50 m. A presença de dois condutos, proposta pelo fabricante da turbina, baseia-se no aproveitamento de vazões superiores à de projeto (80 L/s) em época de cheia.

O dimensionamento do conduto forçado depende não só da vazão de projeto, mas da distância entre o barramento e a casa de força e da seleção do melhor arranjo. Sendo assim, propõe-se o direcionamento das adutoras para a rocha sã presente ao longo da queda d'água a fim de facilitar sua ancoragem.

Os cálculos necessários foram realizados com as medidas e cotas observadas no corte e planta do arranjo presentes no Apêndice B. Foram consideradas perdas contínuas e

localizadas, calculadas a partir das fórmulas apresentadas no subitem 5.2.4. O arranjo proposto apresenta perda de carga máxima total, ou seja, considerando operação com vazão máxima turbinável, igual a aproximadamente 5,60 m, como resumido na Tabela 24. A maior perda de carga é observada redução abrupta dos diâmetros das adutoras, próximo à turbina, quando há intenção de ganho cinético.

Tabela 24 – a) e a) Perdas de carga localizadas e distribuídas por adutora.

ADUTORA 1					
PONTO DE PERDA	QUANTIDADE	K	Leq (m)	f	H (m)
Joelho 30°	1	0,072	X	X	0,0106
Joelho 45°	3	0,182	X	X	0,0804
Joelho 90°	1	0,985	X	X	0,1450
Captação em Reservatório	1	0,45	X	X	0,066
Válvula Borboleta Aberta 12''	1	0,24	X	X	0,035
Perda Confusor ¹	1	0,1		X	4,76
Perda Distribuída	1	X	50	0,0155	0,38
PERDA MÁXIMA TOTAL	X	X	X	X	5,48

ADUTORA 2					
PONTO DE PERDA	QUANTIDADE	K	Leq (m)	f	H (m)
Joelho 45°	3	0,182	X	X	0,0804
Joelho 90°	2	0,985	X	X	0,29
Captação em Reservatório	1	0,45	X	X	0,066
Válvula Borboleta Aberta 12''	1	0,24	X	X	0,035
Perda Confusor ¹	1	0,1		X	4,76
Perda Distribuída	1	X	50	0,0155	0,38
PERDA MÁXIMA TOTAL	X	X	X	X	5,58

* Foi considerada a situação de regime constante.

* Velocidade referente ao fluxo no trecho de 4''.

Fonte: Elaboração própria

A altura útil deve ser recalculada subtraindo as perdas, a fim de se obter a potência instalada correta.

Chaminé de Equilíbrio

Para avaliar a necessidade de instalação de chaminé de equilíbrio foi utilizado o critério de Canambra para uma avaliação inicial, recomendado pela Eletrobrás.

$$\frac{L_{cf}}{H_b} \leq 5$$

Segundo indicações do manual da Eletrobrás para “Diretrizes para Estudos e Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas”, para valores inferiores a 5, não há necessidade de instalação de chaminés de equilíbrio, sendo o caso observado, uma vez que se obteve o valor de 1,53 (27,5 m / 18 m).

6.4. Impactos ambientais e sociais da implantação da CGH Araponga

Com a implantação da CGH proposta acima, parte do caudal será desviado pelas adutoras para o conjunto gerador, privando a comunidade do aproveitamento da cachoeira como área de lazer em épocas com vazão reduzida. Em época de cheia, entretanto, com a vazão observada maior do que a vazão máxima turbinável pelo sistema, esse outro uso da queda d’água volta a ser possível.

Vale ressaltar que o sistema de filtração selecionado apresenta uma curva de by-pass (%) a partir de aproximadamente 240 L/s de vazão afluyente. Além disso, é possível operar a CGH com apenas uma adutora, reduzindo a vazão máxima turbinável para 120L/s. Em ambos os casos haveria uma vazão remanescente na cachoeira para aproveitamento da comunidade.

Embora com a construção da barragem seja observada uma pequena elevação do nível d’água próxima ao sistema de captação, não haveria perda significativa de vegetação, uma vez que a área é caracterizada por afloramentos rochosos.

Em contrapartida, a Aldeia Guarani Mbya Araponga terá acesso à energia necessária para promover suas atividades cotidianas, garantindo o acesso à serviços básicos e o desenvolvimento da comunidade.

7 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

7.1. Conclusões

O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de estudar a viabilidade técnica e propor um possível arranjo para um sistema de aproveitamento hidrelétrico da queda d'água localizada dentro da Aldeia indígena Araponga, situada no município de Paraty. Para o desenvolvimento do trabalho foram necessários alguns estudos, divididos em etapas, sendo elas: caracterização da bacia e estudo hidrológico para estimativa de vazões e potencial hidráulico disponível; estudo da demanda de energia elétrica da comunidade e impacto social desse atendimento; análise das tecnologias presentes no mercado e seleção do conjunto gerador e arranjo do sistema mais adequados ao local, considerando o uso múltiplo da cachoeira e impactos ambientais.

Os estudos hidrológicos utilizaram diferentes modelos de estimativa de vazão a fim de encontrar o que melhor representava a sub-bacia, caracterizada pela ausência de dados de monitoramento. Foi considerada a vazão de pico obtida pelo Método Racional por ter apresentado um valor maior, embora o barramento proposto preveja o vertimento por cima da crista para vazões superiores a 407 L/s. A vazão de projeto, presente 95% do tempo, foi obtida pelo Método de Regionalização de Vazões (CPRM, 2002), se mostrando realista com a análise visual realizada em diferentes épocas do ano hidrológico no local.

A análise de demanda de energia elétrica da comunidade considerou não só a demanda atual, mas anseios da comunidade, como poder utilizar ferramentas elétricas para confecção de artesanatos e instalação de chuveiros elétricos. Essa análise evidenciou o baixo consumo de energia elétrica da comunidade, sendo necessário apenas um sistema classificado como Micro Central Hidrelétrica (MCH), com capacidade instalada inferior a 75kW.

A seleção do conjunto gerador contou com um estudo prévio das tecnologias disponíveis no mercado, dentre elas as BFTs, as turbinas de Fluxo Cruzado e as Turbinas Pelton. Embora todas tenham apresentado vantagens pertinentes, optou-se pelo conjunto oferecido pela empresa Alterima, que utiliza Turbina Pelton, devido a fatores como custo 70% mais barato do conjunto gerador, e operação do sistema a vazões variáveis.

Além de parâmetros geológicos e hidrológicos, o arranjo proposto considerou a dificuldade de acesso ao local e a baixa instrução técnica da comunidade, optando pelo sistema de gradeamento auto filtrante, cuja frequência de manutenção é pequena.

Os múltiplos usos do corpo hídrico também foram considerados, dimensionando o sistema para que uma parte do caudal percorra seu curso natural, mantendo a cachoeira como área de lazer da comunidade. Vale ressaltar que o sistema proposto permite seu funcionamento parcial, o que possibilita a comunidade optar entre uma geração maior de energia ou um caudal remanescente, para vazões entre 120 e 240 L/s.

Este trabalho serviu para reforçar a viabilidade do aproveitamento de pequenos corpos hídricos para geração de energia elétrica em sistemas isolados. Embora a classificação de aproveitamentos hidrelétricos em relação a capacidade instalada não seja consenso mundial (IPCC, 2011), observa-se um maior aproveitamento de micro potenciais hidráulicos em países como Estados Unidos, Canadá e Alemanha em relação ao Brasil. Espera-se, no entanto, com as atualizações das legislações do setor elétrico e implantações de programas de incentivo à essa modalidade de geração, que a microgeração de energia elétrica por autoprodutores ganhe mais espaço no cenário brasileiro.

Ao final do estudo, foi possível propor a implantação de um sistema de microgeração hidrelétrica capaz de operar entre as vazões de 50 a 240 L/s, gerando em torno de 6kW a 21 kW. Considerando a vazão de 80 L/s observada 95% do tempo no curso d'água, prevê-se a geração mínima em torno de 10 KW. A estimativa da demanda diária da comunidade considera um consumo de pico inferior a 7 kW, sendo o sistema proposto suficiente para atender a demanda de energia elétrica local.

Diante de um adequado fornecimento de energia elétrica que atenda a demanda dessa população, espera-se que a procura por serviços básicos, como saúde, fora da aldeia não seja mais necessária. Dessa forma, contribui para fixação dessa comunidade no local, preservando a cultura e tradição dos índios Mbya Guarani, e evitando que essa comunidade se instalasse em regiões periféricas de Parati, caracterizadas pelo elevado índice de criminalidade.

7.2. Trabalhos Futuros

Durante o desenvolvimento do presente trabalho, constatou-se a carência de dados hidrológicos da bacia estudada, principalmente de vazões, sendo sugerida a medição local de vazão em diferentes épocas do ano hidrológico, além da caracterização mais aprofundada da bacia, incluindo sua densidade hídrica e análise sedimentológica, fundamental para o dimensionamento de estruturas de filtração na tomada d' água. Em posse de dados mais precisos, recomenda-se refazer o dimensionamento hidráulico do projeto.

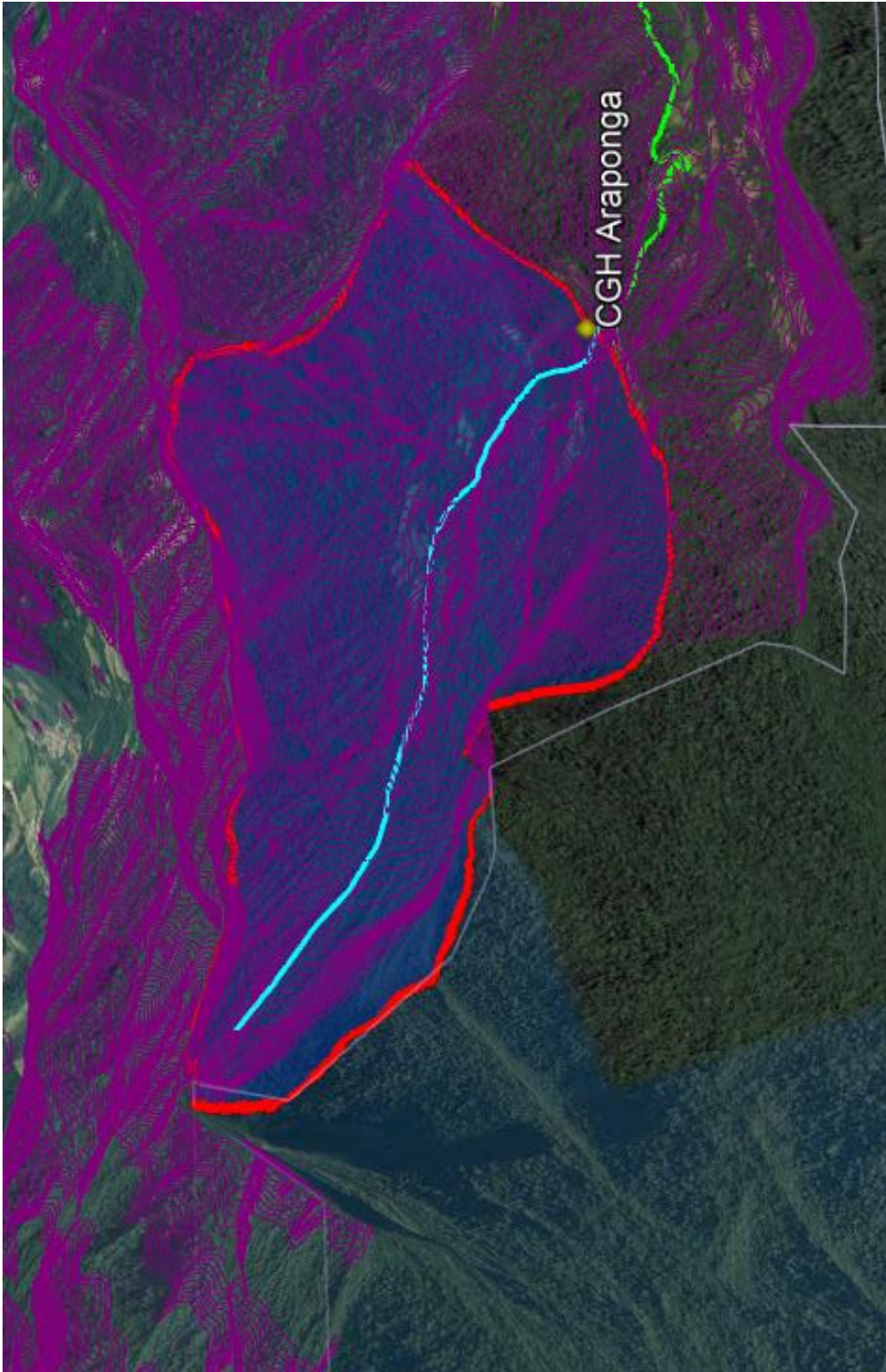
Além disso, sendo este trabalho uma proposta preliminar de seleção do conjunto gerador e arranjo da CGH Araçuaia, recomenda-se o detalhamento do projeto, desenvolvendo análises estruturais e o estudo e proposição do arranjo do sistema de transmissão da energia gerada até as casas.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, disponível em <http://www.aneel.gov.br/>.
- ANA., 2010, *Manual de Estudos de Disponibilidade Hídrica para Aproveitamentos Hidrelétricos* – Manual do Usuário. Brasília.
- BUREAU OF RECLAMATION, 1987, *Design of Small Dams*. 3 ed. Washington.
- BUREAU OF RECLAMATION, 2003, *Design Guidance for Coanda-Effect Screens*. 1 ed. Denver, Colorado.
- CHAPALLAZ, J.-M., 1992, *Manual on Pumps Used as Turbines*. 1 ed. Eschborn, Alemanha.
- DIAS, Israel Oliveira. *Procedimentos para Implantação de uma Pequena Central Hidrelétrica, do Estudo de Inventário à Outorga*. 2014. 97 f. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- EPE, 2017. *Balanço Energético Nacional, Relatório Síntese Ano Base 2016.*, Empresa de Pesquisa Energética.
- MANCIBO, Elizabeth Wiltigen. *Avaliação da Viabilidade Econômica de Reativação de uma Central Geradora Hidrelétrica: um Estudo de Caso*. 2013. 100 f. Dissertação (Graduação Engenharia de Produção) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- MME/CEPEL, 2007., *Manual de Inventário Hidroelétrico de Bacias Hidrográficas*. Ed. 2007.
- NEVES, Eurico T., 1979. *Curso de Hidráulica*, 6 ed. Porto Alegre, Editora Globo.
- QUEIROZ, Guilherme B. R. *Análise de Viabilidade Econômica de Centrais Geradoras Hidrelétricas*. 2010. 94 f. Dissertação (Graduação em Engenharia Elétrica) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília.
- ROCHA, João Pedro C. Pinto. *Metodologia de Projecto de Sistemas de Produção de Electricidade Descentralizada Baseados em Energia Hídrica*. 2008. 167 f. Tese (Mestrado em Energia) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- TOMAZ, P., 2014 “Vertedores de Pequena Barragem”. *Curso de Manejo de Águas Pluviais*, 1 ed., capítulo 146.

APÊNDICE A

Delimitação da área de drenagem da Bacia Araponga utilizando shapefile de curvas de nível exportados em formato kmz. e trabalhados no Google Earth.

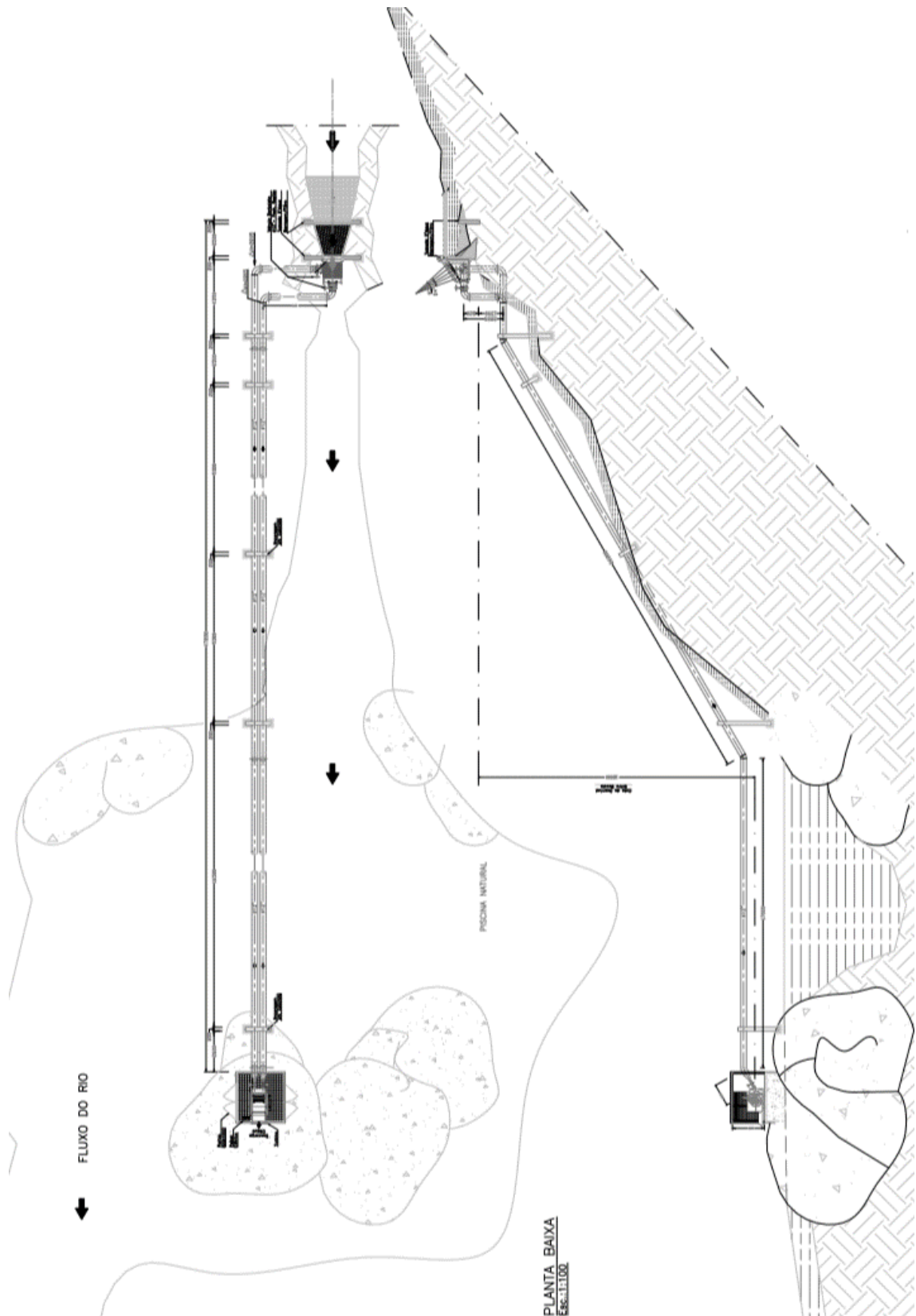


Área da Bacia Araponga é percurso de estrada de terra entre a Aldeia Araponga e o bairro Patrimônio.

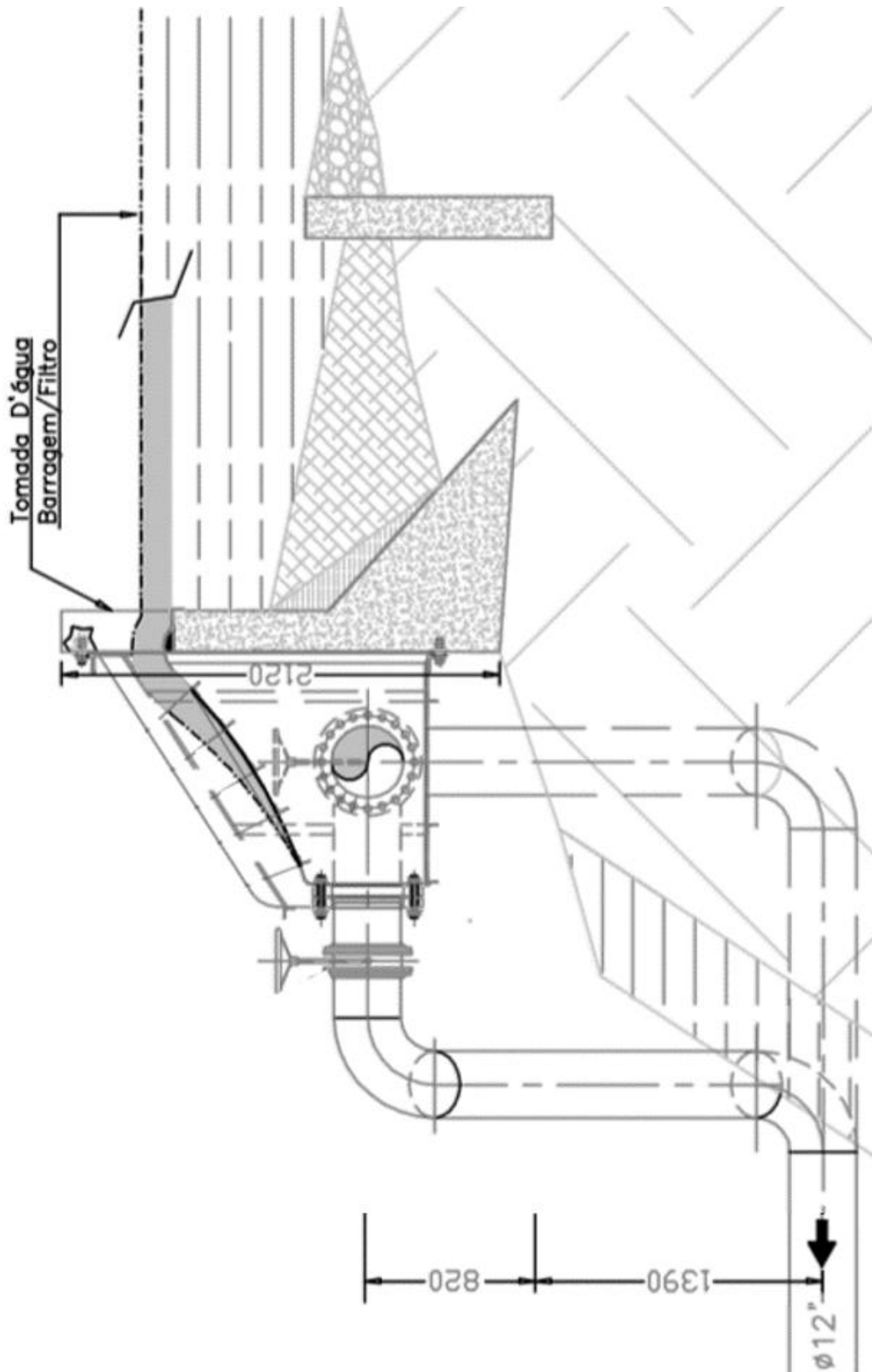


APÊNDICE B

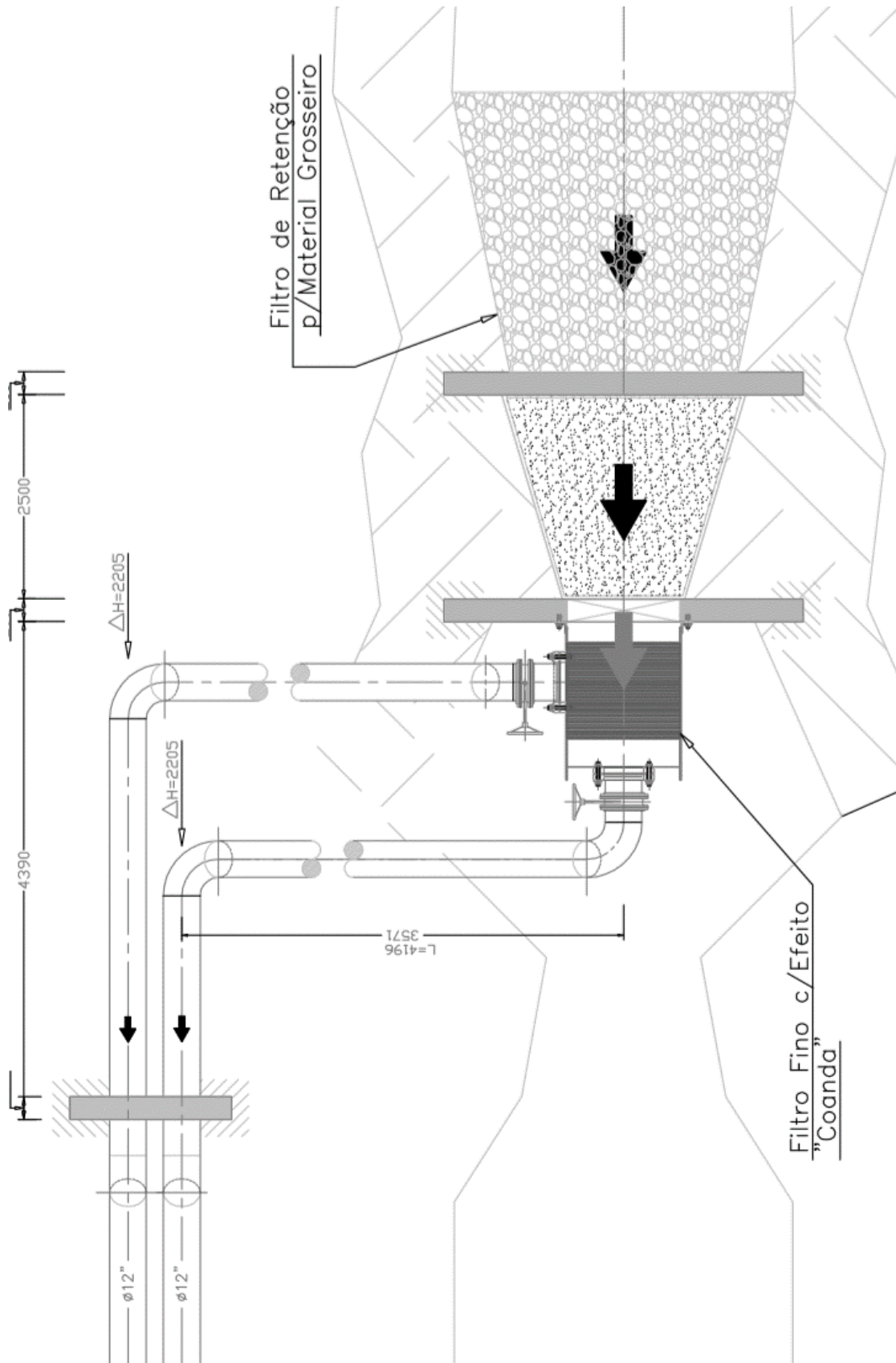
Arranjo geral corte e planta.



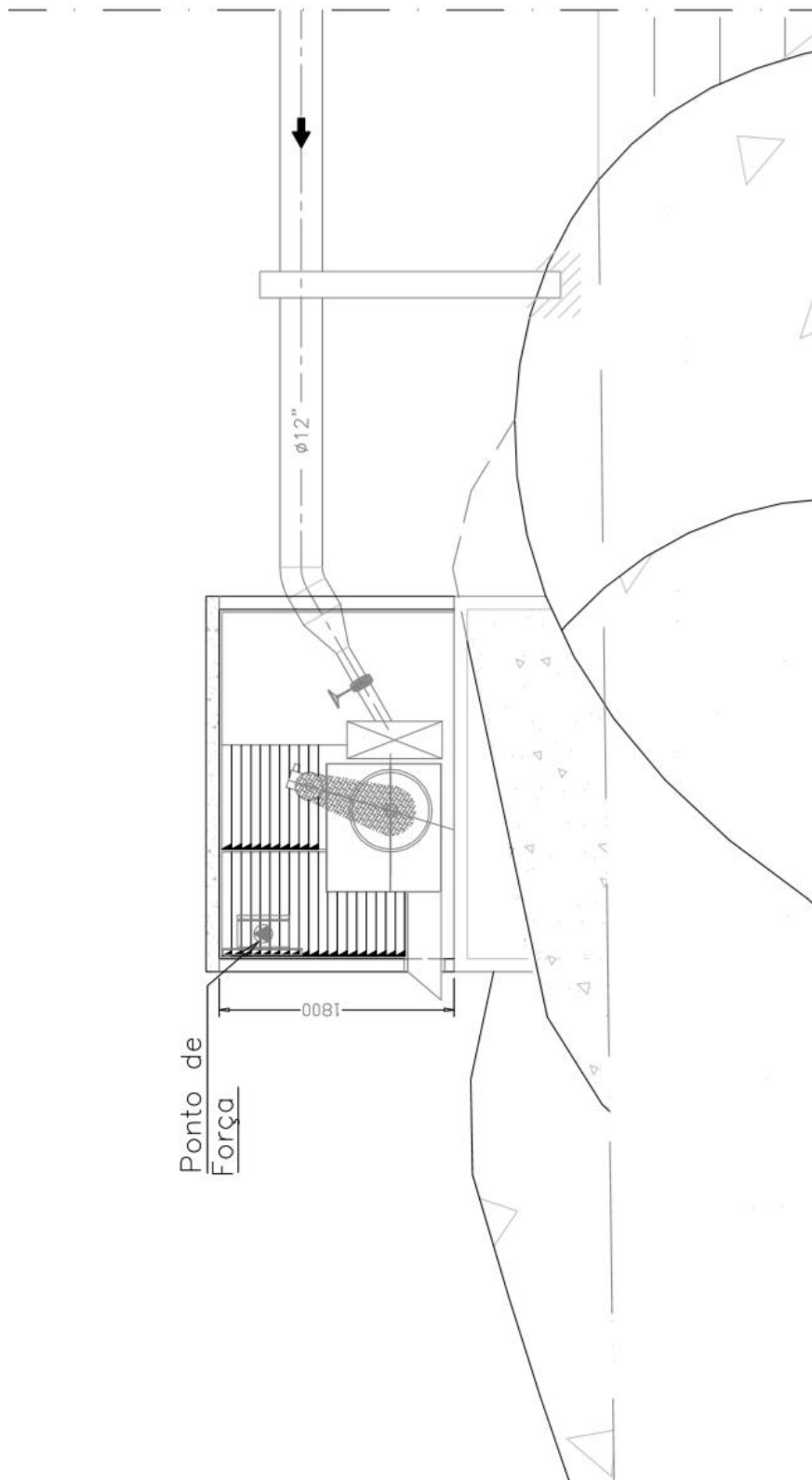
Tomada d'água e Coanda Effect Screen



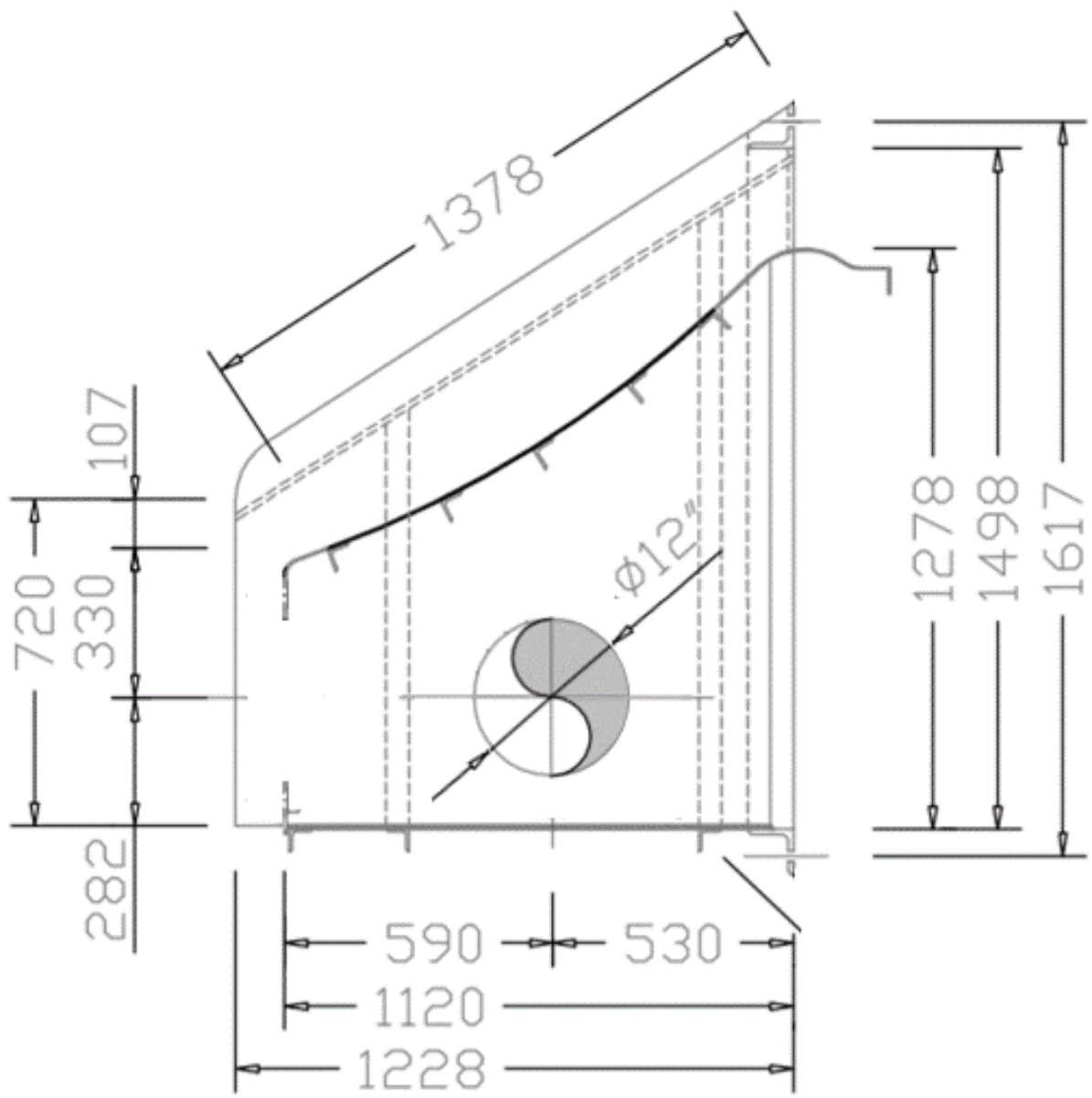
Tomada d'água e Coanda Effect Screen



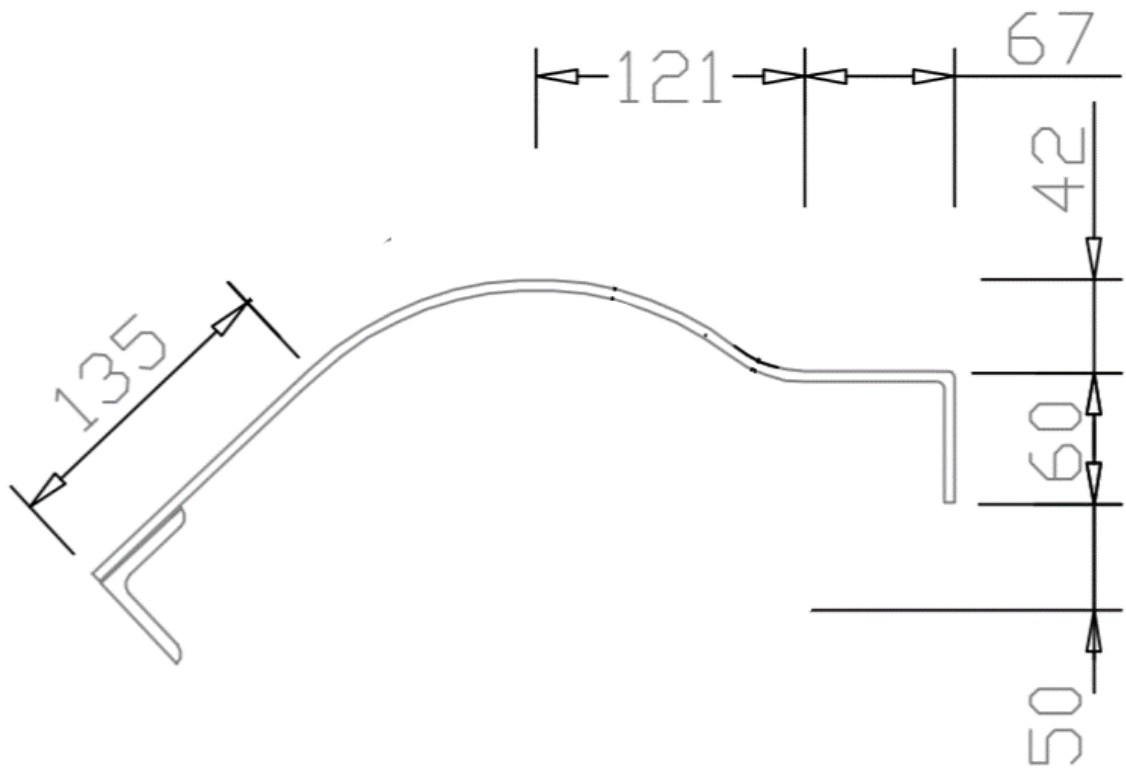
Casa de Força



Coanda Effect Screen

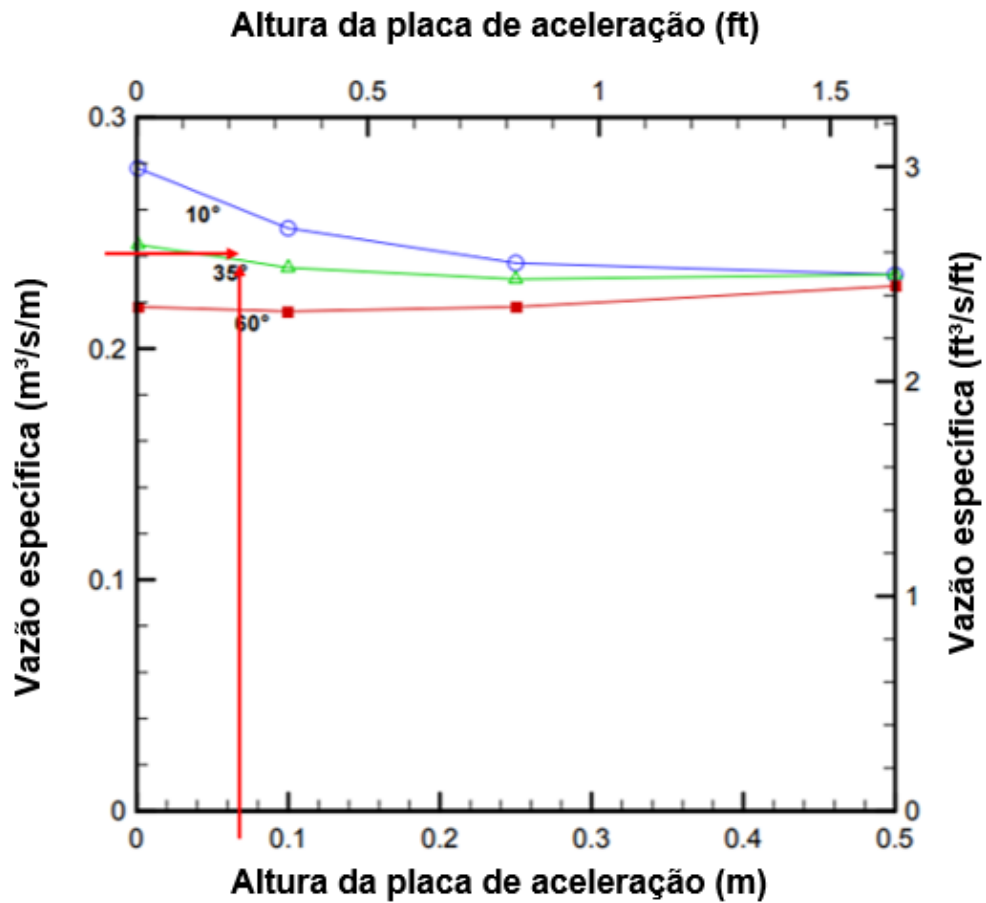


Ogiva – Barramento da Tomada d'água



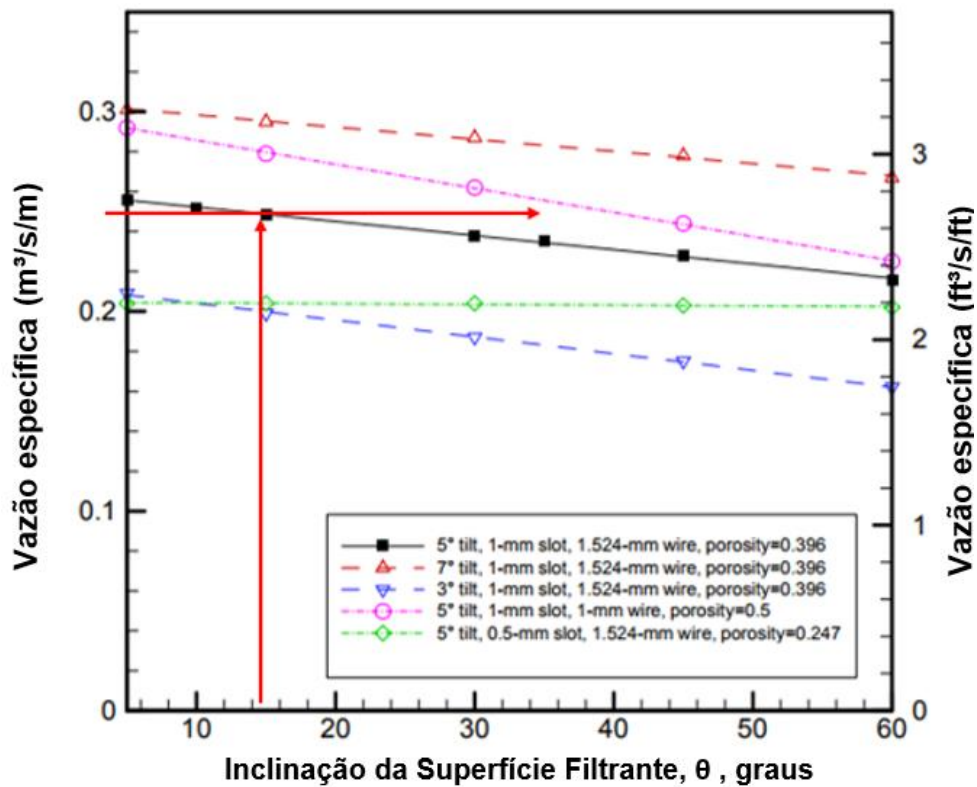
ANEXO I

- a) Influência da altura da placa de aceleração na vazão específica através da superfície filtrante.



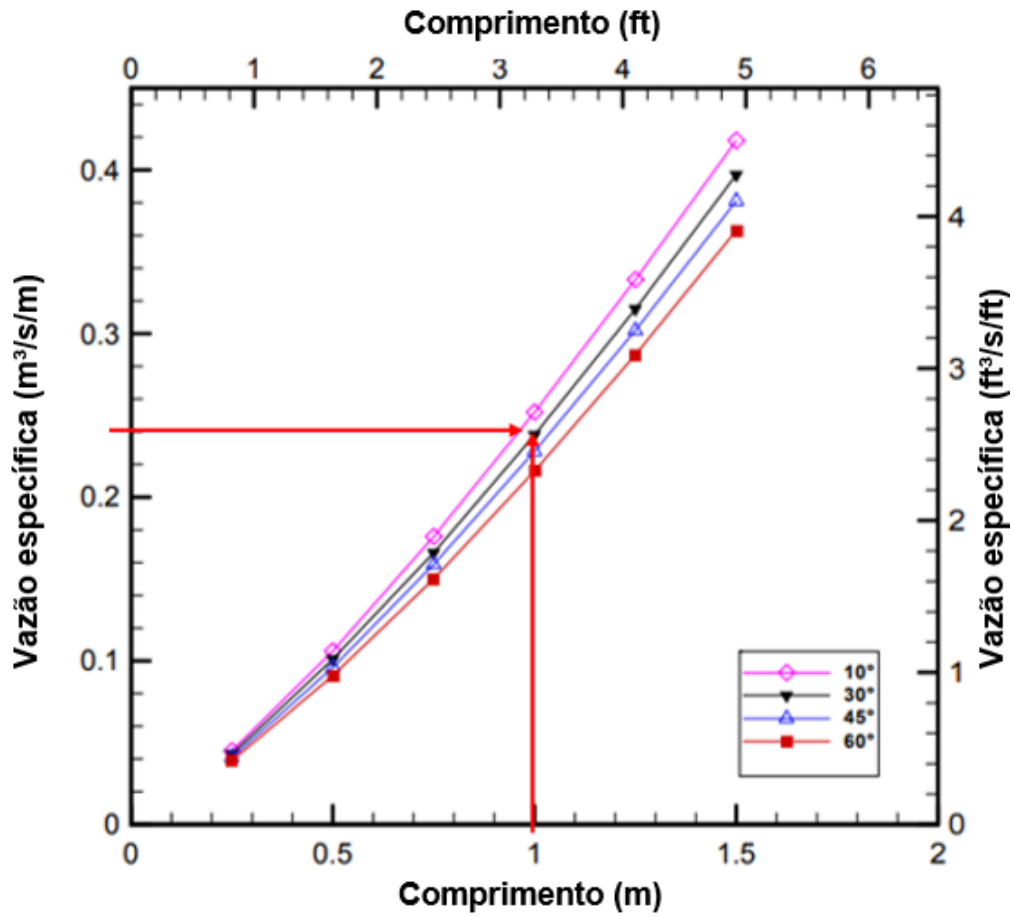
Fonte: *Design Guidance for Coanda-Efect Screens (Bureau of Reclamation, 2003)*

- b) Influência da inclinação da superfície filtrante na vazão específica através da superfície filtrante.



Fonte: *Design Guidance for Coanda-Efect Screens (Bureau of Reclamation, 2003)*

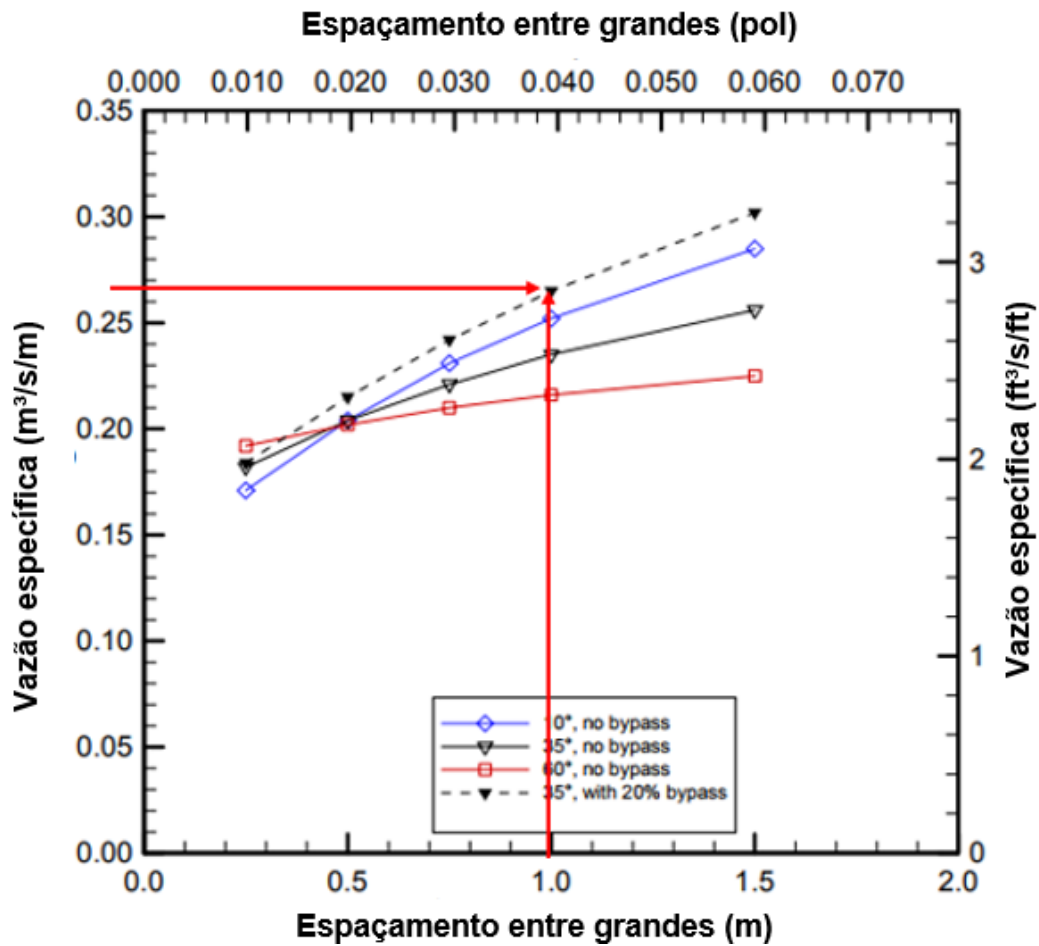
- c) Influência do comprimento da superfície filtrante na vazão específica através da superfície filtrante, sob condição de 0 bypass.



Fonte: *Design Guidance for Coanda-Efect Screens (Bureau of Reclamation, 2003)*

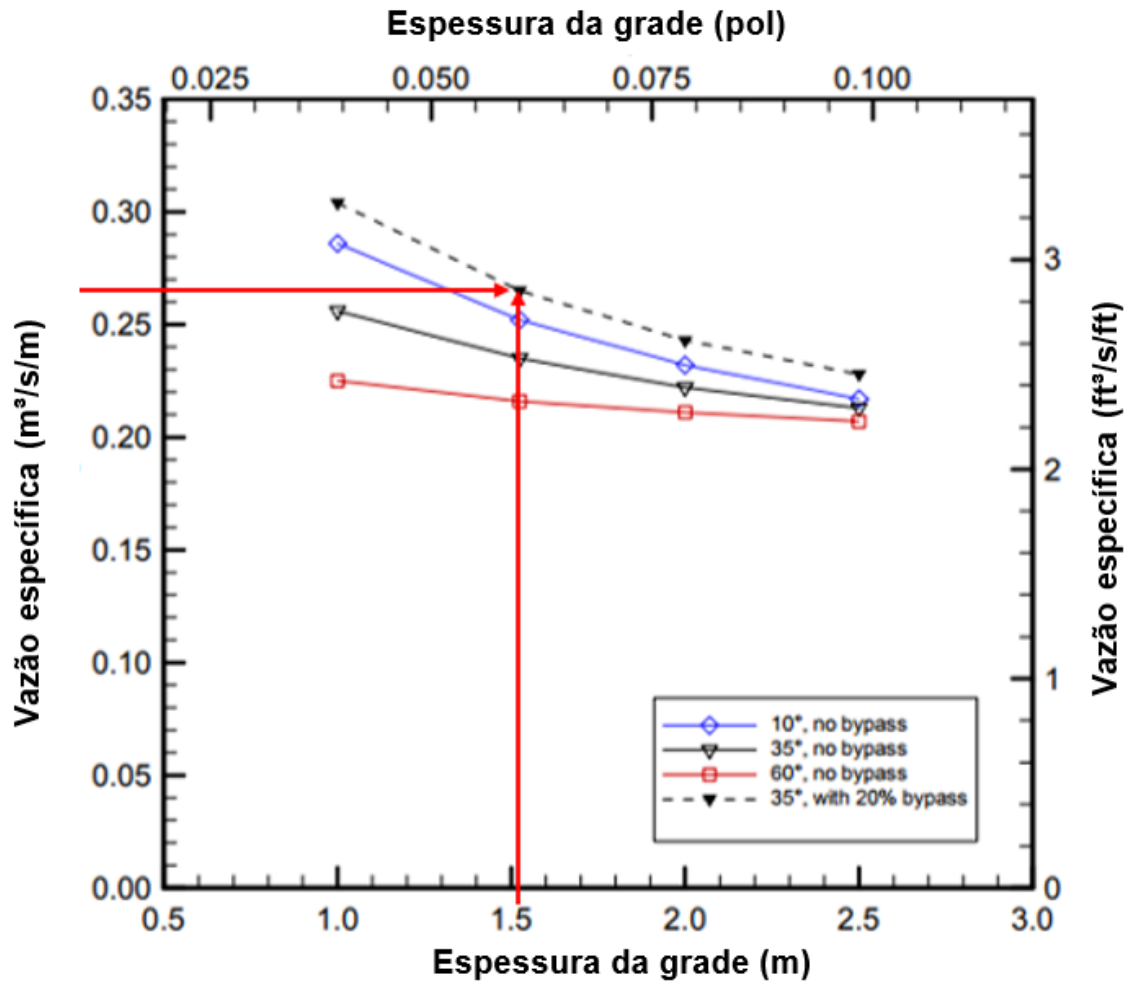
d)

e) Influência do espaçamento entre grades na vazão específica através da superfície filtrante.



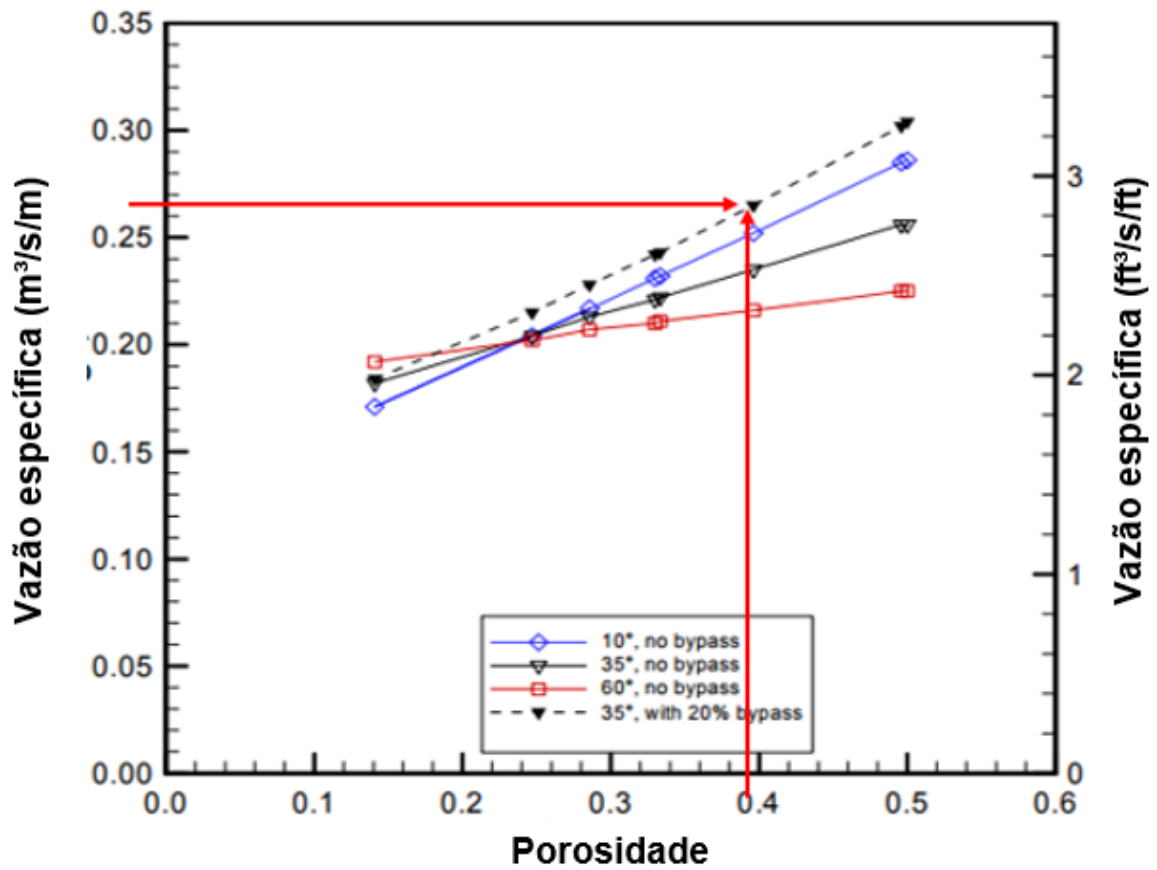
Fonte: *Design Guidance for Coanda-Efecct Screens (Bureau of Reclamation, 2003)*

- f) Influência da espessura da grade na vazão específica através da superfície filtrante.



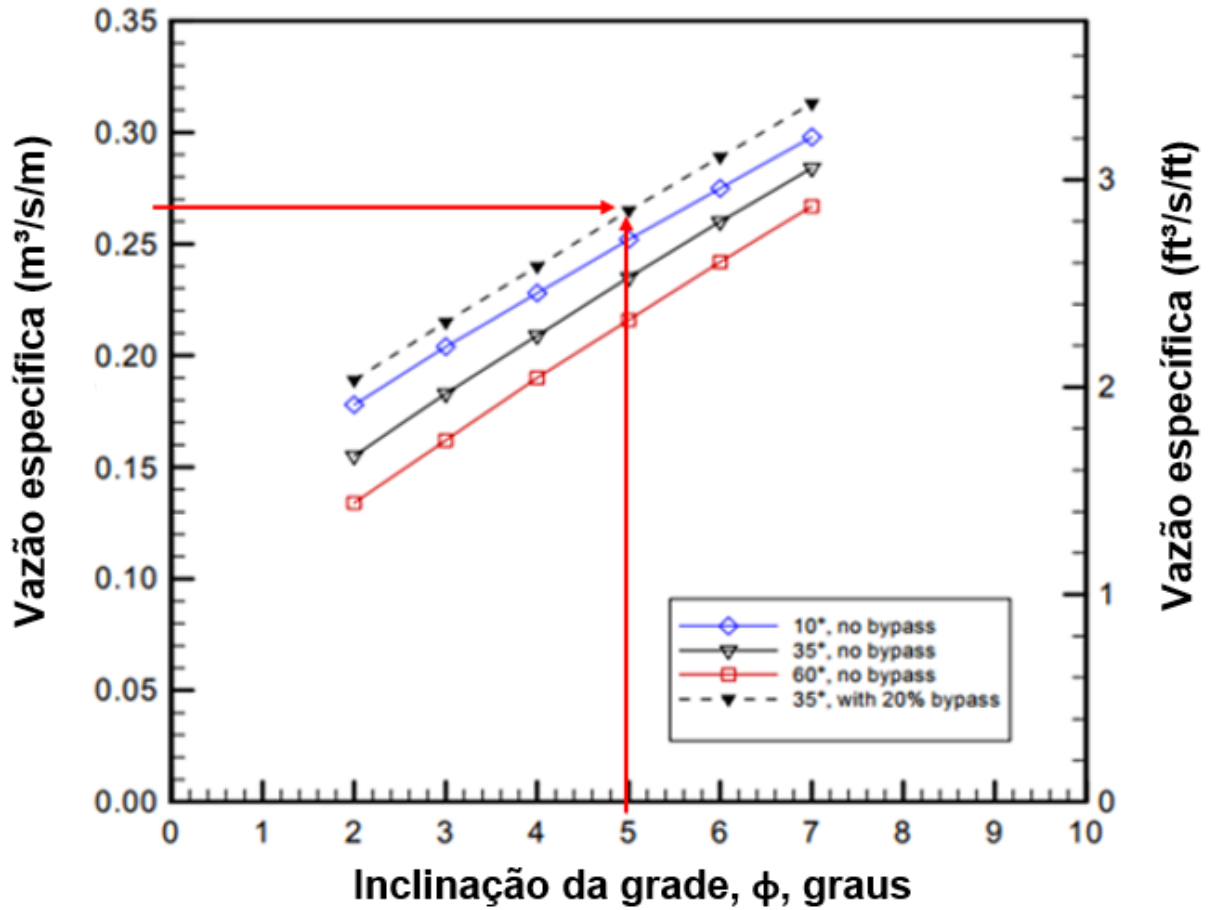
Fonte: *Design Guidance for Coanda-Efect Screens* (Bureau of Reclamation, 2003)

g) Influência da porosidade na vazão específica através da superfície filtrante.



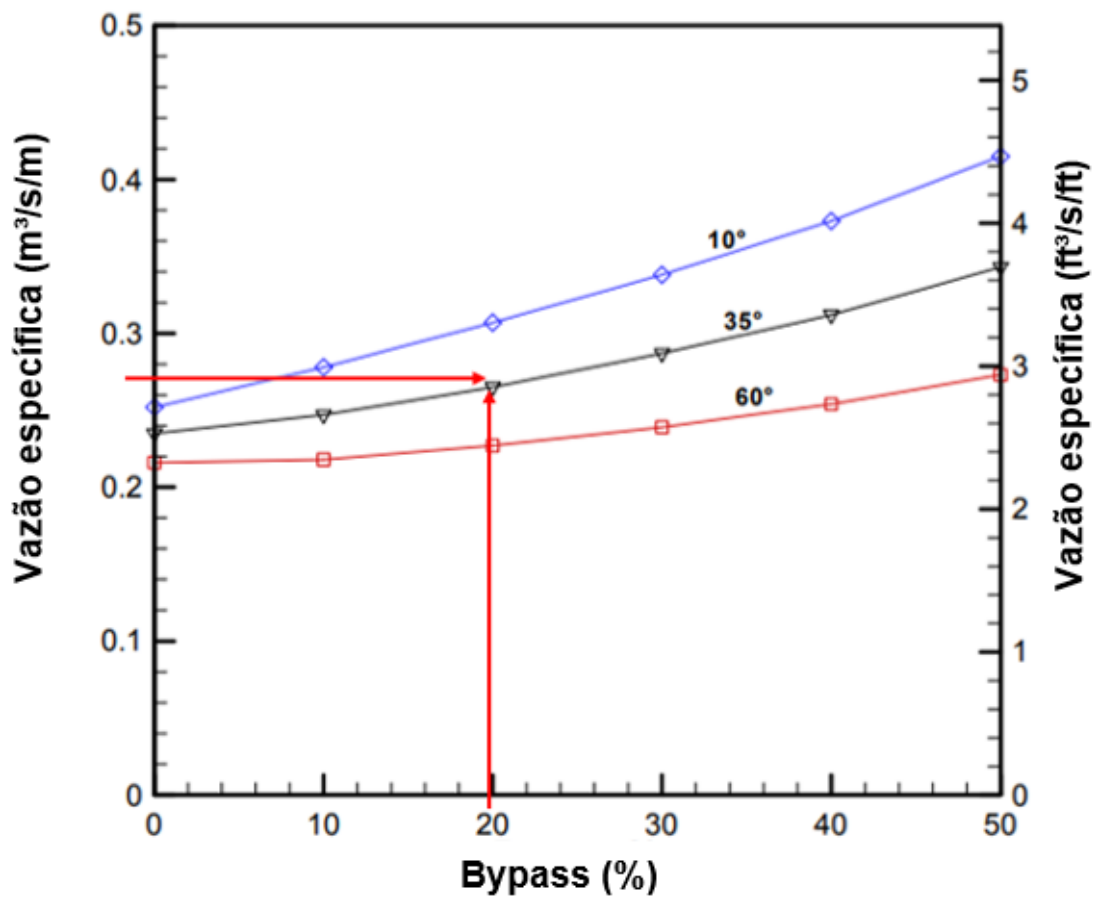
Fonte: *Design Guidance for Coanda-Efect Screens (Bureau of Reclamation, 2003)*

- h) Influência da inclinação de cada grade na vazão específica através da superfície filtrante.



Fonte: *Design Guidance for Coanda-Efect Screens (Bureau of Reclamation, 2003)*

- i) Influência do bypass na vazão específica através da superfície filtrante.



Fonte: *Design Guidance for Coanda-Efect Screens* (Bureau of Reclamation, 2003)