

**FACULDADE DOCTUM  
Richard Strauss da Silva**

**APROVEITAMENTO DO POTENCIAL DO SISTEMA HIDRÁULICO PREDIAL  
PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

Juiz de Fora  
2018

**Richard Strauss da Silva**

**APROVEITAMENTO DO POTENCIAL DO SISTEMA HIDRÁULICO PREDIAL  
PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

Projeto do Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado à Faculdade Doctum de Juiz de Fora, como requisito parcial para conclusão do curso de Engenharia Elétrica

Orientação: Prof. Mestre Eng. Renato Ribeiro Aleixo

Juiz de Fora  
2018

Strauss, Richard.  
Aproveitamento do potencial do hidráulico predial para geração  
de energia elétrica / Richard Strauss da Silva. - 2018.  
No folhas 64  
Monografia (Curso de Engenharia Elétrica)  
Faculdade Doctum Juiz de Fora.  
1. Microgeração. 2. Geração alternativa  
I. Título. II Faculdade Doctum Juiz de  
Fora

**Richard Strauss da Silva**

**APROVEITAMENTO DO POTENCIAL DO SISTEMA HIDRÁULICO PREDIAL  
PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

Curso,

Monografia de Conclusão de

submetida à Faculdade Doctum de Juiz de Fora, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica e aprovada pela seguinte banca examinadora.

---

Prof. ou Prof.a. (Mestre Eng. Renato Ribeiro Aleixo)  
Orientador (a) e Docente da Faculdade Doctum - Unidade Juiz de Fora

---

Prof. ou Prof.a. (Mestre Eng. Marlon Lucas Salmento)  
Docente da Faculdade Doctum - Unidade Juiz de Fora

---

Prof. ou Prof.a. (Mestre José Carlos Miranda Grizende)  
Docente da Faculdade Doctum - Unidade Juiz de Fora

Examinada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_.

## **AGRADECIMENTOS**

*Primeiramente quero agradecer à minha família, que sempre foi minha estrutura. Obrigado por me incentivarem e me ajudarem a sempre ir mais longe. Após esse caminho percorrido consigo compreender o motivo de cada cobrança, e sou grato por isso também.*

*A minha namorada, que esteve presente comigo em momentos difíceis e sempre me ajudou e incentivou a nunca desistir.*

*Ao meu orientador, Prof. Mestre Eng. Renato Ribeiro, pela dedicação como orientador. Poucos aceitarem o desafio de me orientar neste trabalho, e tenho a convicção que não poderia ter sido melhor orientado.*

*Não poderia deixar de agradecer a DOCTUM, por me oferecer um ensino de qualidade.*

*Aos meus colegas de curso, que durante 5 anos estiveram do meu lado, dividindo as alegrias e tristezas, típicas de um curso de graduação em Engenharia Elétrica.*

*Por fim a todos os meus amigos que sempre me incentivaram.*

## RESUMO

STRAUSS, Richard. **Aproveitamento do potencial do sistema hidráulico predial para geração de energia elétrica**. 14 páginas. Projeto do Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica). Faculdade Doctum, Juiz de Fora, 2018.

Atualmente a busca por novas fontes geradoras de energia elétrica tem aumentado devido ao crescimento da demanda. As normas ambientais para a implantação de um novo sistema de geração de energia estão mais rigorosas e a busca por sistemas mais eficientes e mais baratos, faz com que seja necessário o estudo de novas formas de geração em que se tenha baixos impactos ambientais e pequeno custos com transmissão e distribuição. Visando isso as concessionárias estão se adaptando ao sistema de microgeração, que permite ao consumidor a capacidade de poder gerar energia em pequena escala e injetar na rede. Avaliando este cenário, este trabalho busca verificar a possibilidade da geração de energia elétrica em pequena escala, utilizando como energia potencial a ser transformada, o sistema de abastecimento de água das residências e edifícios.

**Palavras-chave:** Microgeração. Geração Alternativa. Geração distribuída. Sistema de distribuição de água. Mini central Hidrelétrica

## **ABSTRACT**

Currently the search for new sources of electricity has been increasing due to the growth of demand. The environmental issues to implement a new power generation system are more rigorous, and the search for more efficient and cheaper systems, makes it necessary to study new forms of generation that have low environmental impacts and small transmission and distribution costs. Aiming at this, utilities are adapting to the microgeneration system, where consumers can also generate small scale energy and inject into the network. Evaluating this scenario, this work seeks to verify the possibility of small-scale electric power generation, using as potential energy to be transformed, the water supply system of homes and buildings.

**KEYWORDS:** Alternative Generation. Distributed generation. Primary network.  
Spherical turbine. Water Pipe. Small Hydropower

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Comparativo matriz energética Brasileira e Mundial .....	17
Figura 2 Matriz Elétrica Brasileira.....	22
Figura 3 Partição das energias renováveis na matriz elétrica .....	23
Figura 4 Prospecção do uso de fontes renováveis no mundo.....	23
Figura 5 Sistema de microgeração Fotovoltaica .....	29
Figura 6 Etapas de acesso de microgeradores ao sistema de distribuição da Cemig D.....	30
Figura 7 Esquema de conexão à rede de BT da Cemig.....	31
Figura 8 Requisitos de proteção para Microgeração.....	32
Figura 9 Esquema simplificado do medidor bidirecional .....	33
Figura 10 Diagrama unifilar para a conexão da medição com mais de uma unidade .....	34
Figura 11 Modelo placa de aviso.....	35
Figura 12 Sistema de distribuição de água predial.....	37
Figura 13 Sistema direto .....	38
Figura 14 Sistema direto com bombeamento.....	38
Figura 15 Sistema indireto Reservatório Superior.....	39
Figura 16 Sistema indireto Reservatório Superior com bombeamento .....	40
Figura 17 Sistema indireto Reservatório Superior e Inferior.....	40
Figura 18 Tabela de consumo diário médio por pessoa.....	42
Figura 19 Partes da Turbina Pelton.....	44
Figura 20 Turbina Pelton aplicada na PCH Ervália .....	45
Figura 21 Partes da turbina Francis .....	46
Figura 22 Gráfico Eficiência em função da vazão em turbinas Hidráulicas .....	47
Figura 23 Turbina Francis Aplicada na PCH Passo do Meio .....	48
Figura 24 Partes da turbina Michell Banki.....	50
Figura 25 Aplicação das turbinas dado por queda e vazão.....	52
Figura 26 Aplicação dos diversos tipos de turbina .....	53
Figura 27 Mapa de Localização da residência em estudo .....	54
Figura 28 Faixada do edifício .....	54
Figura 29 Manômetro de Bourdon.....	55

Figura 30 Arduino UNO .....	56
Figura 31 Sensor de Fluxo YF-S201b .....	56
Figura 32 Esquema de Montagem .....	57
Figura 33 Montagem e medição .....	57
Figura 34 Multímetro Digital Fluke 107 .....	58
Figura 35 Microgerador F50-12V .....	59
Figura 36 Rotor com pás .....	59
Figura 37 Enrolamentos do microgerador .....	59
Figura 38 Gráfico Rendimento por vazão .....	60
Figura 39 Gráfico Tensão por vazão .....	60

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	9
1.1	Motivação.....	11
1.2	Objetivos.....	12
1.3	Objetivos Específicos.....	12
1.4	Metodologia.....	12
2	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	13
2.1	Microgeração de energia elétrica.....	13
2.1.2	Geração Distribuída.....	14
2.1.2	Regulamentação.....	16
2.1.2.1	PRODIST.....	17
2.1.2.2	Resolução normativa 482/2012.....	19
2.1.2.3	Acesso ao sistema de Distribuição.....	20
2.1.2.4	Etapas para Viabilização do Acesso.....	21
2.1.2.5	Forma de Conexão.....	22
2.1.2.6	Requisitos de proteção para sistemas com inversores.....	23
2.1.2.7	Sistema de Medição.....	24
2.1.2.8	Requisitos de Qualidade.....	25
2.1.2.9	Segurança.....	26
2.2	Instalação predial de água.....	26
2.2.1	Classificação dos sistemas.....	29
2.2.1.1	Sistema Direto.....	29
2.2.1.2	Sistema Indireto.....	30
2.2.1.3	Sistema Indireto por gravidade.....	30
2.2.2	Dimensionamento do sistema de abastecimento para um sistema indireto com reservatório superior.....	32
2.2.2.1	Estimativa de consumo diário de água.....	32
2.2.2.2	Verificação da Pressão existente na rede pública.....	33
2.3	Turbinas aplicadas a Microgeração.....	34
2.3.1	Turbina Pelton.....	34
2.3.2	Turbina Francis.....	37

2.3.3	Turbina Michell-Banki.....	40
2.4	Seleção do Tipo de Turbina.....	42
2.4.1	Escolha da Turbina.....	43
3	<b>Estudo de caso</b> .....	45
3.1	Equipamentos e instrumentos utilizados.....	46
3.2	Sistema de geração.....	49
3.3	Energia gerada.....	53
3.4	Custo do protótipo.....	54
3.5	Custo Para implantação do projeto.....	54
	<b>CONCLUSÃO</b> .....	55
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	56
	<b>ANEXOS</b> .....	58

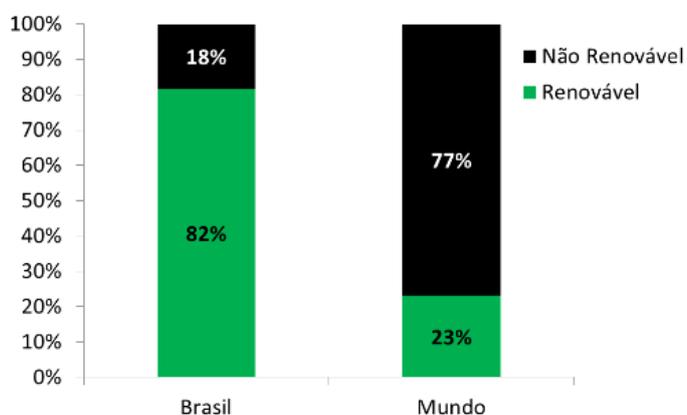
## 1 INTRODUÇÃO

Após a Revolução Industrial (século XVIII), a economia de um país e a qualidade de vida de seus habitantes sofrem influência direta da energia elétrica. Preocupando-se com o meio ambiente, essa influência se torna ainda mais decisiva, de tal modo que os países são forçados a buscar por fontes de energia com menor impacto ambiental e simultaneamente com menor custo.

O grande crescimento econômico e social no Brasil no século XX (MAURICIO,2007) gerou uma crescente por demanda de energia elétrica, tornando maior a busca por novas fontes limpas e seguras. Além da busca por fontes de geração de baixo impacto ambiental, a eficiência com que esta energia é gerada, transmitida e consumida, é um dos fatores que vem influenciando nas decisões para novos projetos de sistema de geração.

Como pode se observar na Figura 1, a matriz elétrica brasileira tem sua base em fontes renováveis, com 82% de sua energia gerada por fontes renováveis, lugar de destaque para o Brasil em relação à média Mundial onde somente 23% da energia gerada são de fontes renováveis.

Figura 1 Comparativo matriz energética Brasileira e Mundial



Fonte: EPE (2018)

Mesmo com 82% de sua energia gerada através de fontes renováveis, a busca por fontes alternativas vem crescendo juntamente com o conceito de microgeração. Uma vez que no Brasil já é possível produzir energia em baixa escala e vendê-la para a concessionária da região (ANELL, 2012).

A microgeração tem se destacado no mercado de energia elétrica despertando o interesse de investidores, haja vista seus baixos custos de implantação e transmissão, além de apresentar um índice consideravelmente baixo de impacto ambiental.

Além de aumentar a geração do sistema, a micro geração impacta diretamente no meio como a energia elétrica chega ao consumidor final. O sistema de transmissão é responsável por altos índices de perdas no sistema. As perdas técnicas como são conhecidas, são oriundas da operação do sistema onde as maiores perdas são dadas devido as grandes distâncias, entre o ponto de geração e os grandes centros de consumo. Devido à grande extensão territorial e a localização dos potenciais de geração, as perdas técnicas chegam a 8% da energia total gerada (BELATI, 2018) no sistema elétrico interligado brasileiro. A micro geração é uma alternativa que permite a geração de energia em pequena escala dentro dos grandes centros como shoppings, condomínios, propriedades rurais e até mesmo residências. Esta é caracterizada por um sistema de geração de energia elétrica, com potência gerada de até 75 KW utilizando fontes renováveis, com a regulamentação da ANEEL 482/12, o sistema de microgeração pode ser conectado à rede de distribuição por meio das instalações da unidade consumidora.

Por analogia, a necessidade de obter maior geração de energia elétrica e a decorrente pressão dos órgãos ambientais quanto às grandes obras, faz com que a demanda por novas fontes de energia renováveis seja ainda mais intensa.

Fontes renováveis como hidráulica, solar e eólica ainda são os maiores focos de estudos. O potencial hidráulico vem sendo aproveitado a décadas para a geração de energia elétrica, no século XVIII, Thomas Edison colocou em operação a primeira central hidroelétrica com capacidade de produção de 12,5 quilowatts, utilizados para abastecer pequenos clientes privados e comerciais. Em 1889 aconteceu a inauguração da primeira usina hidroelétrica no Brasil, idealizada por Bernardo Mascarenhas, instalada na cidade de Juiz de fora.

Aproveitar o potencial hidráulico para geração de energia elétrica, é uma das formas mais limpas de gerar energia. Na microgeração o baixo custo e o pequeno impacto ambiental são essenciais para se viabilizar um projeto.

A fonte mais conhecida para a implementação de um projeto de microgeração é o painel solar, devido a eficiência de geração, porém há um alto custo de implementação. Desse modo torna-se necessário o estudo da viabilidade de novas formas de microgeração, com baixo custo e alto rendimento, no que tange a potência gerada.

### **1.1 Motivação**

Em decorrência da expansão do consumo de energia elétrica mundial, a crescente demanda por um planeta mais sustentável e ecologicamente correto tem forçado o setor elétrico a se adequar as novas políticas ambientais, tornando necessário a inserção de novas fontes renováveis nas matrizes elétricas.

O conceito de microgeração ganhou destaque no mercado haja vista a possibilidade do cliente de se tornar concomitantemente consumidor e produtor. No Brasil a ANEEL já regulamentou este tipo de consumidor através da resolução normativa N°482/12, onde estabelece as condições gerais para o processo de microgeração. Nesse sentido, os consumidores podem impactar diretamente na matriz energética.

Buscando novas formas de microgeração, com menor custo e maior eficiência, este estudo tem como base avaliar as possibilidades de instalação de geradores hidráulicos no circuito principal de distribuição de água de um prédio, onde se tem uma única caixa d'água para abastecer todos os moradores.

## **1.2 Objetivos**

Neste estudo, será apresentado a análise da instalação de geradores hidráulicos no sistema indireto de distribuição de água de um edifício ou condomínio, onde haja uma única caixa d'água.

## **1.3 Objetivos Específicos**

- Estudo dos modelos do sistema de distribuição de água em edificações;
- Estudo detalhado dos modelos de turbinas hidráulicas;
- Estudo das normas vigentes no Brasil para microgeração;
- Análise da viabilidade da implantação do sistema em questão;

## **1.4 Metodologia**

Para a verificação da viabilidade de instalação dos geradores de rede de distribuição de água, foi necessário realizar um estudo dessa rede afim de avaliar as tubulações utilizadas, as faixas de pressões e perdas de cargas admissíveis.

Nesta situação, a escolha da melhor turbina para aplicação leva em consideração o modelo de tubulação existente, com o objetivo de reduzir custos com obras e atender as necessidades de perda de carga admissível.

O local para melhor instalação levou em consideração a necessidade de obras civis e o local onde a perda de carga provenientes das turbinas não afetassem de modo a prejudicar o sistema já existente. O ponto de instalação levou em consideração a perda de carga proveniente da turbina e a menor necessidade de obras civis.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Microgeração de energia elétrica

Na atualidade a geração hidroelétrica no Brasil é baseada em grandes usinas fazendo-se necessário a utilização de grandes sistemas de transmissão para atingir os centros de carga, que na maioria das vezes estão afastados do ponto de geração, de tal modo, elevados investimentos somente com a transmissão são necessários.

Segundo Walter et.al (2000) os sistemas de microgeração estão sendo adotados e discutidos devido aos impactos econômicos e ambientais. Como a geração é realizada mais próxima da carga, os custos com a transmissão da energia são pequenos além do custo do empreendimento gerador também ser baixo quando comparado com o sistema convencional de uma hidroelétrica.

De acordo com Moreira (2010) a geração distribuída traz benefícios tanto para o consumidor final quanto para as concessionárias de energia, destacando-se:

- O consumidor poderá reduzir suas despesas com energia elétrica;
- Indicado para locais com difícil acesso da rede pública;
- Redução das perdas o sistema de distribuição e transmissão;
- Aumento da confiabilidade do sistema elétrico;
- Redução dos impactos ambientais;

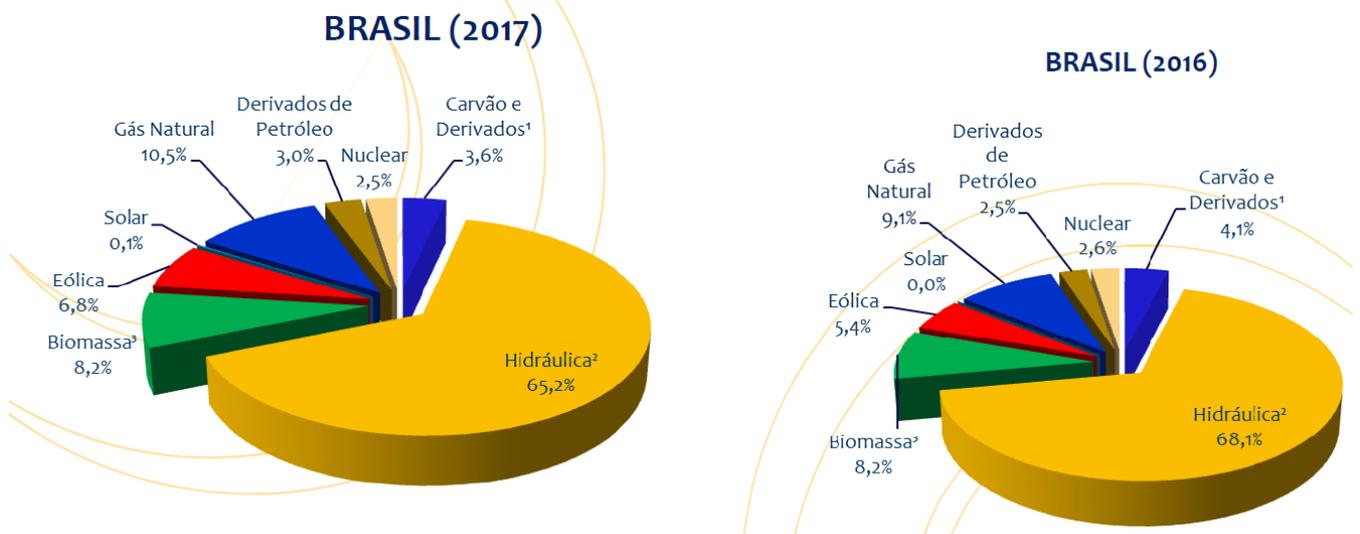
Conforme Duarte (2010), embora a microgeração seja uma ótima alternativa de geração de energia elétrica, alguns problemas técnicos e econômicos necessitam ser superados:

- Maior complexidade na operação da rede elétrica, com fluxo bidirecional;
- Necessidade de um controle de tensão quando houver baixa demanda;
- Alteração dos parâmetros de curto-circuito do sistema;
- Aumento das harmônicas incidentes no sistema;
- Alto custo de implantação em alguns casos;

### 2.1.2 Geração Distribuída

É possível observar na Figura 2 que o Brasil tem sua produção energética baseada em fontes renováveis e em sua grande maioria fontes hidráulicas, devido a seu tamanho e necessidade de armazenamento de potencial hídrico, se localizam em lugares afastados dos centros de consumo, assim gerando altos gastos com o transporte de energia, perdas na linha e custos com subestações. (VINÍCIUS & DIAS, 2004). Juntamente com a busca por novas fontes de geração, devido a questões ambientais e econômicas, faz se necessário a diversificação da matriz de geração, pensando em garantir o suprimento de energia a longo prazo.

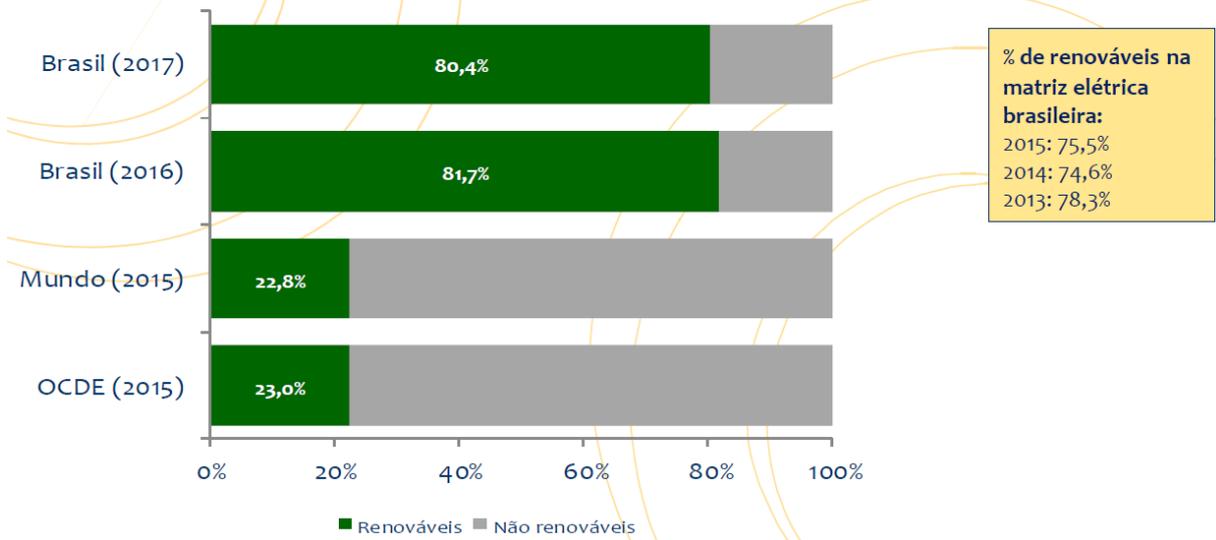
Figura 2 Matriz Elétrica Brasileira



Fonte: EPE-BEN (2018)

No ano de 2017 a energia eólica passou por grande expansão no Brasil, contudo, como mostra a figura 3 a participação de fontes renováveis na matriz elétrica sofreu uma queda, devido ao avanço da geração térmica. (EPE-BEN 2018).

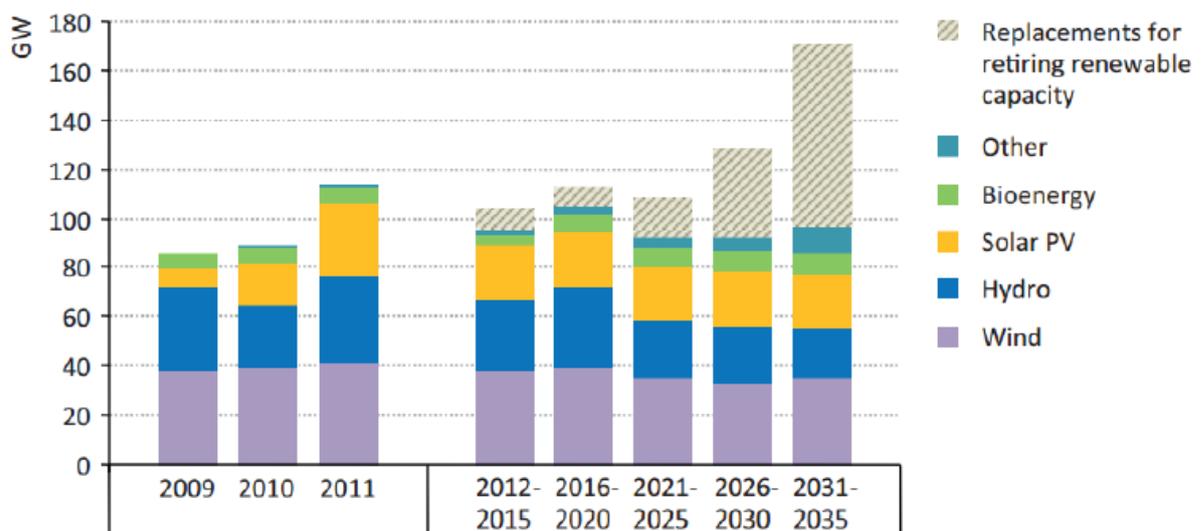
Figura 3 Partição das energias renováveis na matriz elétrica



Fonte: EPE-BEN (2018)

Mundialmente o incentivo para utilização de fontes renováveis de energia, é cada dia maior, a Figura 4 retirada do relatório do World Energy Outlook 2012, publicação anual do EIA (Energy Information Administration), descreve a prospecção do crescimento do uso de fontes renováveis no mundo para os próximos anos (EIA,2012).

Figura 4 Prospecção do uso de fontes renováveis no mundo



Fonte: EIA (2012)

No contexto de busca por fontes renováveis e de menor custo, a geração distribuída e o conceito de microgeração, vem ganhando forças, pois não há necessidade de construção de grandes parques de geração e de longas linhas de transmissão. Existem diversas definições para geração distribuída, a mais validade e aceita entre os especialistas, é que a geração distribuída, é uma fonte geradora que acopla diretamente através do consumidor, à linha de distribuição a qual o consumidor pertence.

### **2.1.2 Regulamentação**

Desde 2012 quando entrou em vigor a resolução normativa 482/2012, o consumidor de energia elétrica localizado no Brasil, pode gerar sua própria energia e em caso de excedente pode fornecê-lo para a concessionária da sua região. A resolução normativa 482/2012, estabelece as diretrizes que caracterizam um sistema de microgeração distribuída sendo ele com potência gerada menor que 75KW, conforme descrito no artigo 2º, a partir de fontes baseadas em energia Hidráulica, solar, eólica ou cogeração qualificada e que também seja conectada à rede de distribuição através das unidades consumidoras. Complementada pelo módulo três do PRODIST (ANEEL,2012b), o qual trata do acesso ao Sistema de distribuição.

Cada distribuidora por sua vez, possui suas normas específicas. Na região do estudo realizado a CEMIG é a distribuidora responsável pela distribuição de energia. A CEMIG disponibiliza a ND 5.30 que trata dos assuntos pertinentes a conexão ao sistema de distribuição em baixa potência.

### **2.1.2.1 PRODIST**

Os procedimentos de distribuição PRODIST (procedimentos de distribuição de distribuição de energia elétrica no sistema nacional), foram elaborados pela ANNEL em 2012, visando normatizar e padronizar as atividades técnicas relacionadas ao funcionamento e desempenho do sistema de distribuição nacional (ANEEL, 2012b).

O PRODIST foi dividido em 11 módulos visando garantir que o sistema opere com segurança, eficiência e confiabilidade.

#### **1. INTRODUÇÃO**

De acordo com o módulo 1 nesta seção são definidos os propósitos gerais e o âmbito de aplicação dos Procedimentos de Distribuição (PRODIST), com informações resumidas dos módulos que os integram para proporcionar uma visão global de sua constituição e organização

#### **2. PLANEJAMENTO DA EXPANSÃO DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO**

De acordo com o módulo 2 esta seção define as bases sobre as quais as distribuidoras devem desenvolver os estudos de previsão da demanda, compreendendo periodicidade, horizontes de abrangência, coleta de informações e pontos de interesse.

#### **3. ACESSO AO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO**

De acordo com o módulo 3 esta seção estabelece as condições de acesso, compreendendo a conexão e o uso, ao sistema de distribuição, não abrangendo as Demais Instalações de Transmissão – DIT, e definir os critérios técnicos e operacionais, os requisitos de projeto, as informações, os dados e a implementação da conexão, aplicando-se aos novos acessantes bem como aos existentes.

#### **4. PROCEDIMENTOS OPERATIVOS DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO**

De acordo com o módulo 4 esta seção estabelece procedimentos de operação dos sistemas de distribuição, para que as distribuidoras e demais agentes, incluindo os agentes de transmissão detentores das DIT cujas instalações

não pertencem à rede de operação do SIN, formulem os planos e programas operacionais dos sistemas de distribuição, incluindo previsão de carga, programação de intervenções em instalações, controle da carga em situação de contingência ou emergência, controle da qualidade do suprimento de energia elétrica e coordenação operacional dos sistemas.

#### 5. SISTEMAS DE MEDIÇÃO

De acordo com o módulo 5 esta seção estabelece os requisitos mínimos para medição das grandezas elétricas do sistema de distribuição aplicáveis ao faturamento, à qualidade da energia elétrica, ao planejamento da expansão e à operação do sistema de distribuição.

#### 6. INFORMAÇÕES REQUERIDAS E OBRIGAÇÕES

De acordo com o módulo 6 esta seção define e detalha como as informações serão trocadas entre as distribuidoras, os acessantes, outros agentes e as entidades setoriais. São estabelecidas as obrigações das partes interessadas, visando atender os procedimentos, critérios e requisitos dos módulos técnicos.

#### 7. CÁLCULO DE PERDAS NA DISTRIBUIÇÃO

De acordo com o módulo 7 esta seção estabelece a metodologia e os procedimentos para obtenção das informações e dados necessários para cálculo das perdas dos sistemas de distribuição de energia elétrica.

#### 8. QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA

De acordo com o módulo 8 esta seção estabelece os procedimentos relativos à qualidade da energia elétrica - QEE, abordando a qualidade do produto e a qualidade do serviço prestado e a qualidade do tratamento de reclamações.

#### 9. RESSARCIMENTO DE DANOS ELÉTRICOS

De acordo com o módulo 9 esta seção estabelece os procedimentos a serem observados pelas distribuidoras na análise de processos de ressarcimento de danos elétricos.

## 10. SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA REGULATÓRIO

De acordo com o módulo 10 esta seção estabelece o conjunto mínimo de informações da distribuidora, as quais compõem o Sistema de Informação Geográfica Regulatório – SIG-R.

## 11. FATURA DE ENERGIA ELÉTRICA E INFORMAÇÕES SUPLEMENTARES

De acordo com o módulo 11 esta seção estabelece os procedimentos que devem ser observados na emissão e apresentação das faturas de energia elétrica, detalhando e exemplificando o estabelecido nas Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica.

### **2.1.2.2 Resolução normativa 482/2012**

Desde 2012 quando entrou em vigor a resolução normativa 482/2012, o consumidor de energia elétrica localizado no Brasil, pode gerar sua própria energia, e em caso de excedente pode fornecê-lo para a concessionária da sua região.

A resolução normativa 482/2012, estabelece as diretrizes que caracterizam um sistema de microgeração distribuída sendo ele com potência gerada menor que 75KW, conforme descrito no artigo 2º, a partir de fontes baseadas em energia Hidráulica, solar, eólica ou cogeração qualificada, e que também seja conectada à rede de distribuição através das unidades consumidoras.

Buscando reduzir os custos e o tempo para a liberação da conexão com a rede de distribuição, para aumentar o público alvo e melhorar as informações na fatura, em 2015 a ANEEL liberou a Resolução Normativa nº687/2015 em revisão a nº482/2015. (ANEEL,2018).

As novas regras entraram em vigor em 1º de março de 2016 e uma das principais mudanças foi a alteração do valor da potência gerada que para se encaixar dentro da microgeração passou a ser de no máximo 75 KW.

Outra mudança que gerou grande impacto no mercado, foi a possibilidade de geração distribuída em condomínios (empreendimentos com múltiplas unidades consumidoras), assim a energia gerada pode ser compartilhada entre os moradores.

Em relação aos procedimentos para conexão da microgeração à rede de distribuição, foram criados formulários padrões para realização da solicitação junto a

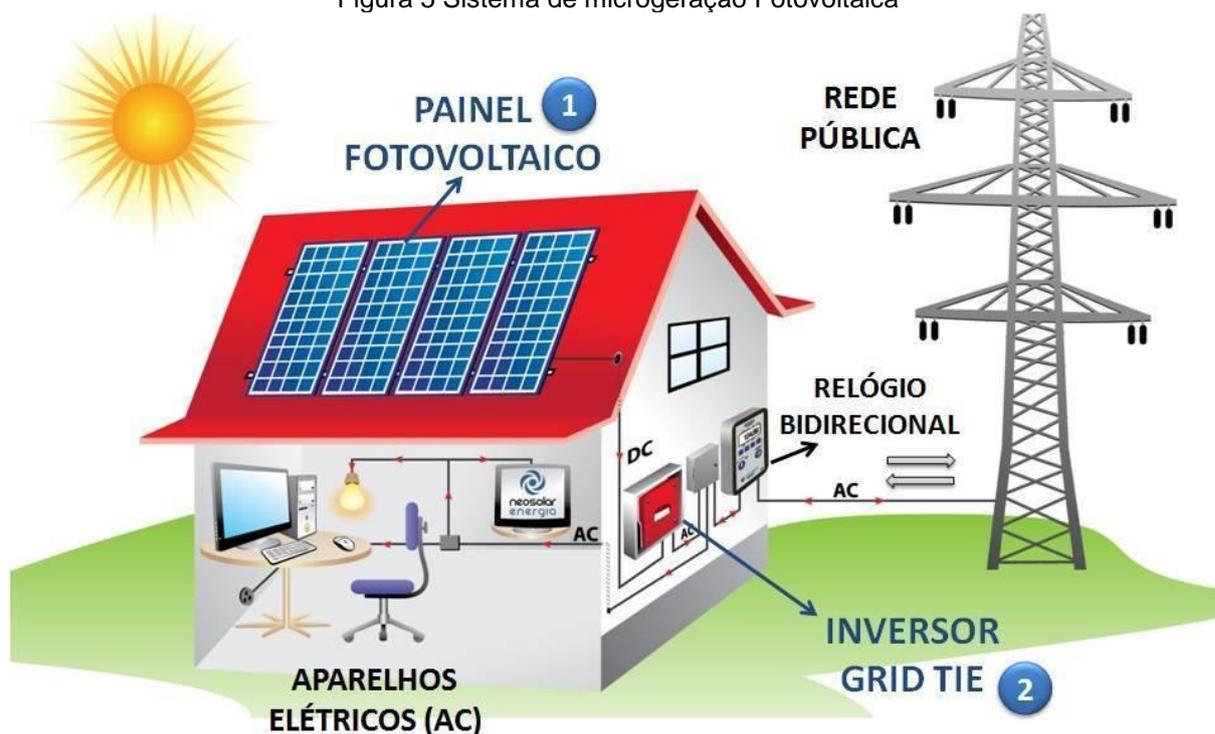
distribuidora responsável e o prazo para atendimento foi reduzido de 82 dias para 34 dias.

A resolução normativa nº687/2015, também trata sobre a energia excedente de um sistema de microgeração. Caso a produção de energia seja superior ao consumo, a energia excedente é medida e enviada a concessionária e retornará para o consumidor em forma de créditos. Em um sistema com geração fotovoltaico isso é muito comum, porque durante o dia a geração é elevada e o consumo na maioria dos casos é menor. Assim sendo, a energia excedente é injetada na rede gerando créditos. Durante a noite, onde o consumo tende a ser maior e o sistema de geração fotovoltaico fica praticamente inativo a energia consumida é abatida dos créditos.

### **2.1.2.3 Acesso ao sistema de Distribuição**

A CEMIG (DISTRIBUIDORA DA REGIÃO ONDE O ESTUDO ESTÁ SENDO REALIZADO), teve que se adequar, elaborar procedimentos e normas técnicas para tratarem dos assuntos pertinentes a microgeração distribuída em concordância com o PRODIST, normas técnicas brasileiras e em alguns casos normas internacionais. Para cumprir essa exigência feita pela ANEEL a CEMIG liberou a ND 5.30 “ Requisitos para a Conexão de Acessantes ao Sistema de Distribuição Cemig D – Conexão em Baixa Tensão” (ND 5.30 2016). Onde “estabelece os critérios e procedimentos para a conexão de micro geração distribuída em instalações de consumidores atendidos em baixa tensão e que fação adesão ao sistema de compensação de energia” (ND 5.30 2016).

Figura 5 Sistema de microgeração Fotovoltaica



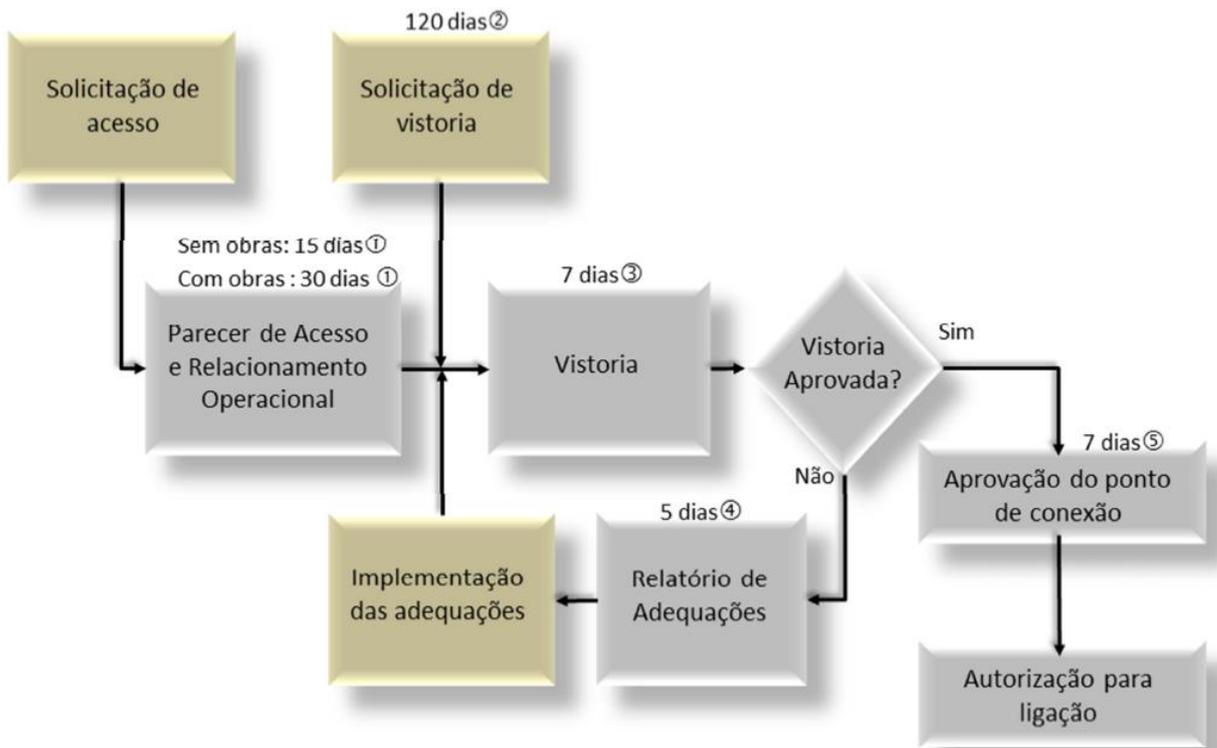
Fonte: Neosolar (2018)

Na figura 5 pode-se observar um sistema de microgeração fotovoltaica, conectado à rede elétrica de distribuição, utilizando um inversor. O sistema fotovoltaico é capaz de gerar energia elétrica através da radiação solar, podendo ser caracterizado como microgeração se englobado nos parâmetros definidos no PRODIST.

#### 2.1.2.4 Etapas para Viabilização do Acesso

Os procedimentos da CEMIG Distribuidora, são baseados no Módulo 3 do PRODIST e consistem nas várias etapas necessárias para obtenção do acesso ao sistema de distribuição. Como ilustrado na Figura 6, para se obter o acesso é necessário cumprir as etapas de solicitação de acesso, parecer de acesso, vistoria e aprovação do ponto de conexão (ND 5.30).

Figura 6 Etapas de acesso de microgeradores ao sistema de distribuição da Cemig D



- (1) a partir da solicitação de acesso por parte do acessante.
- (2) a partir da emissão do parecer de acesso.
- (3) a partir da solicitação de vistoria por parte do acessante.
- (4) a partir da realização da vistoria.
- (5) após a aprovação da vistoria.

Fonte: CEMIG N.D 5.30

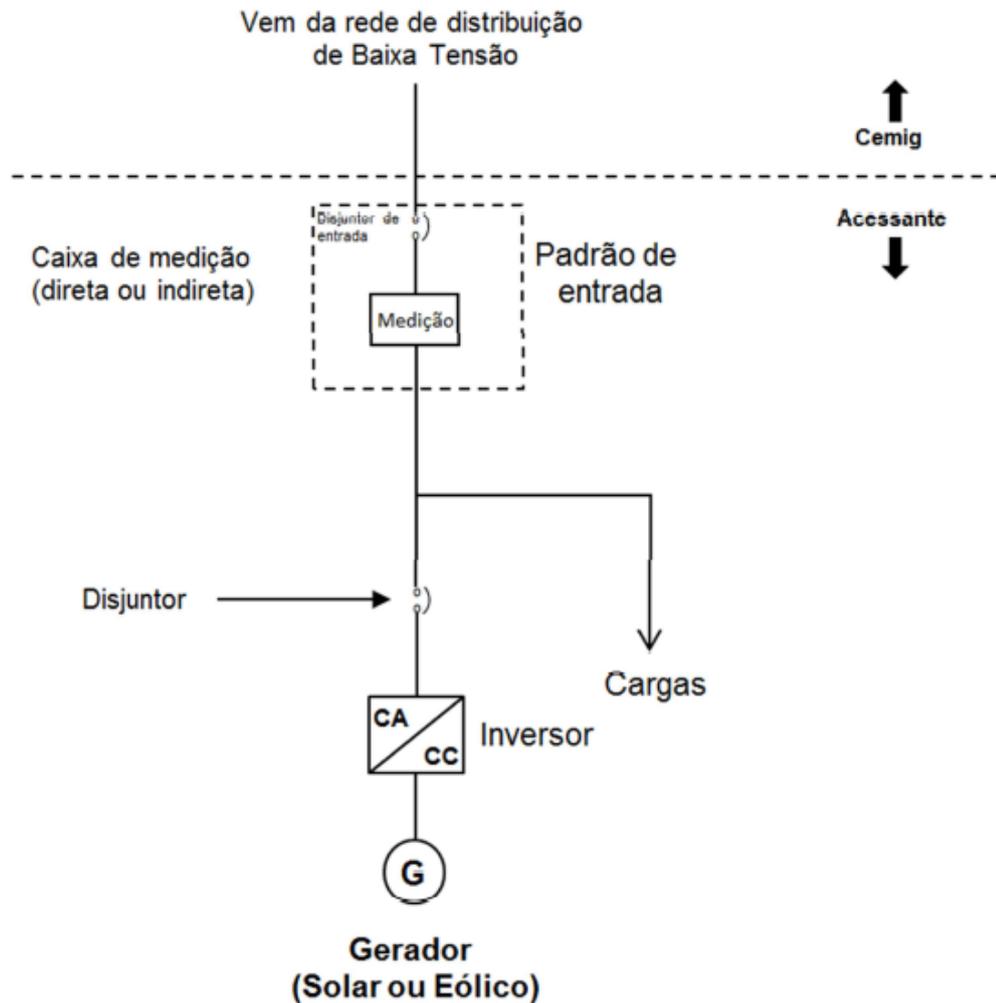
As regras se aplicam tanto para novos acessantes quanto para alterações no projeto, sejam elas de carga ou geração.

### 2.1.2.5 Forma de Conexão

A conexão pode ser realizada através de inversores, como nos casos de geração fotovoltaica, eólica e microturbinas, ou diretamente em corrente alternada como nos casos de geração hidrelétrica ou térmica. O acesso deve ser realizado no ponto de conexão da unidade consumidora.

Nos casos de conexão utilizando como interface o inversor, a instalação deve ser realizada conforme esquema simplificado mostrado na Figura 7.

Figura 7 Esquema de conexão à rede de BT da Cemig



Fonte: CEMIG N.D 5.30

Os inversores utilizados para interligação do sistema gerador com a rede de distribuição devem atender os requisitos da NBR 16149 e aos requisitos estabelecidos pelo Inmetro.

### 2.1.2.6 Requisitos de proteção para sistemas com inversores

A proteção exigida para as unidades que façam a adesão ao sistema de compensação e estejam conectadas ao sistema de baixa tensão através de inversores são apresentadas abaixo conforme determinações da seção 3.7 do PRODIST. Os ajustes devem ser realizados no inversor, sendo a redundância de proteções desnecessárias.

Figura 8 Requisitos de proteção para Microgeração

<b>Requisito de Proteção</b>
Elemento de interrupção <sup>(1)</sup>
Proteção de sub e sobretensão <sup>(2)</sup>
Proteção de sub e sobrefrequência <sup>(2)</sup>
Relé de sincronismo <sup>(3)</sup>
Anti-ilhamento <sup>(4)</sup>

(1) Elemento de interrupção automático acionado por proteção.

(2) Não é necessário relé de proteção específico, mas um sistema eletroeletrônico que detecte tais anomalias e que produza uma saída capaz de operar na lógica de atuação do elemento de interrupção.

(3) Não é necessário relé de sincronismo específico, mas um sistema eletroeletrônico que realize o sincronismo com a frequência da rede e que produza uma saída capaz de operar na lógica de atuação do elemento de interrupção, de maneira que somente ocorra a conexão com a rede após o sincronismo ter sido atingido.

(4) No caso de ausência de tensão na rede da Cemig D e/ou operação isolada do acessante, o sistema de proteção deve garantir a desconexão física entre a rede de distribuição e as instalações elétricas internas à unidade consumidora, incluindo a parcela de carga e de geração, sendo vedada a conexão ao sistema da distribuidora durante a interrupção do fornecimento.

**IMPORTANTE: Não é permitido ao microgerador atender a outras cargas do sistema Cemig D de forma ilhada.**

Fonte: CEMIG N.D 5.30

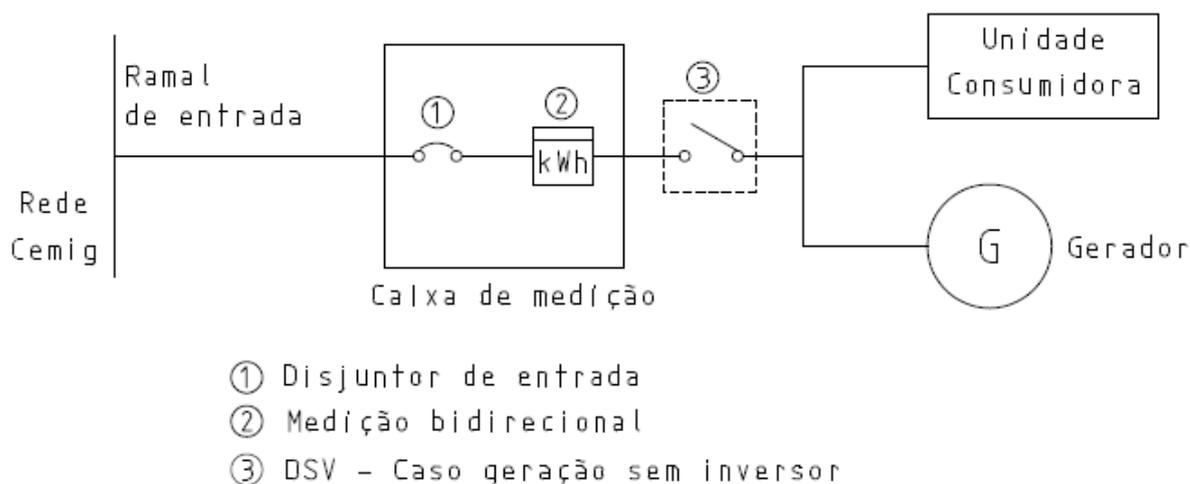
### 2.1.2.7 Sistema de Medição

O padrão de entrada da unidade consumidora optante pelo sistema de compensação de energia, deve estar em conformidade com as Normas de Distribuição ND 5.1 e ND 5.2, conforme o cliente, no que diz respeito à disposição dos elementos, aterramento e entre outros. (ND 5.30,2016)

Novas construções, que possuam microgeração deveram construir o padrão de entrada já considerando a existência de uma fonte microgeradora.

Novas construções, que possuam microgeração devem construir o padrão de entrada já considerando a existência de uma fonte microgeradora. As unidades consumidoras que optarem pelo sistema de compensação, devem utilizar o sistema de medição bidirecional (ND 5.30,2016), em que o medidor contabiliza de forma independente a energia ativa injetada e consumida da rede para a apuração independente ( ND 5.30,2016 ).

Figura 9 Esquema simplificado do medidor bidirecional

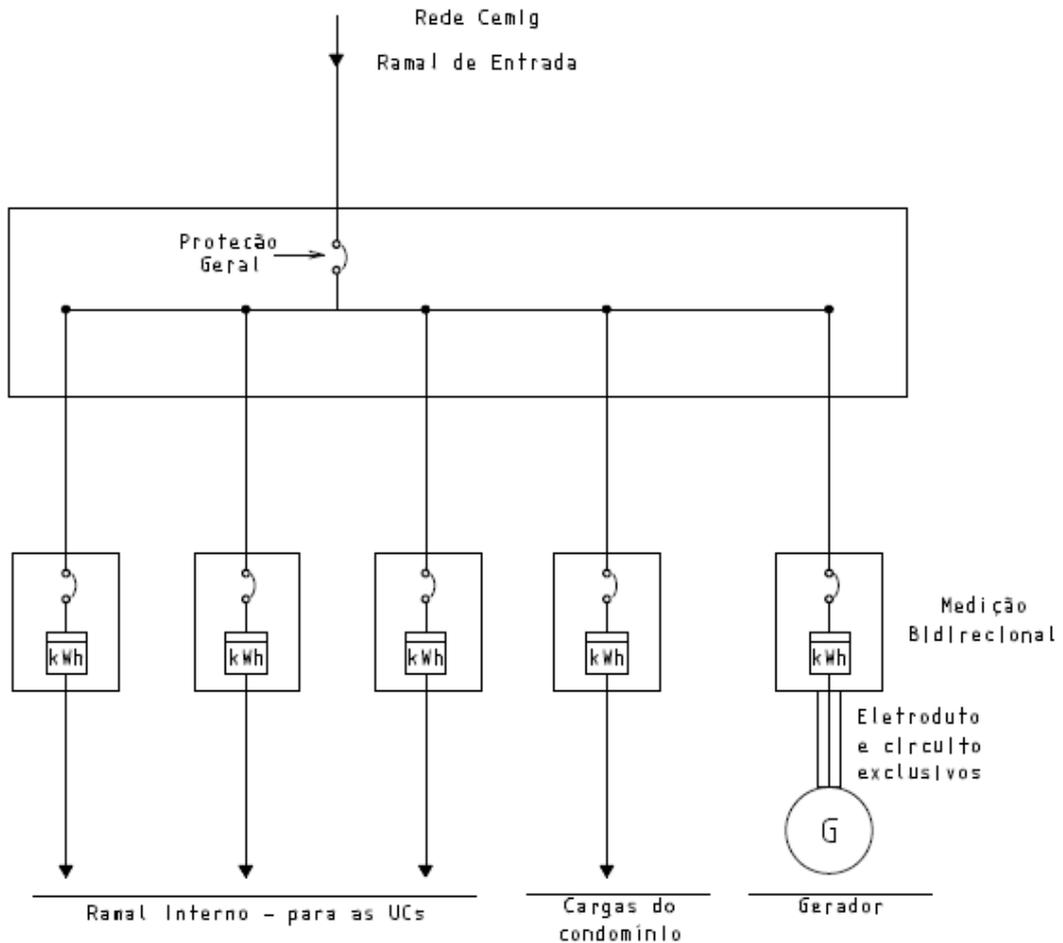


Fonte: CEMIG N.D 5.30

Em empreendimentos com várias unidades consumidoras ou geradoras, faz-se necessário a utilização de um circuito exclusivo para a conexão da unidade geradora ao medidor de energia que irá apurar a geração do empreendimento. A conexão deverá ser realizada através de um eletroduto dedicado ao mesmo, abrangendo-se todo o circuito de CA (CORRENTE ALTERNADA), desde a geração até a caixa de medição.

Caso o sistema utilize inversor o circuito CA é contabilizado a partir do inversor. Neste caso onde há várias unidades consumidoras, deverá ser providenciado uma caixa de medição adicional para abrigar o medido conforme modelos especificados pela Cemig que contem no PEC 11. A instalação da caixa deverá ser no térreo.

Figura 10 Diagrama unifilar para a conexão da medição com mais de uma unidade



Fonte: CEMIG N.D 5.30

### 2.1.2.8 Requisitos de Qualidade

A qualidade da energia fornecida pelos sistemas de microgeração distribuída aos consumidores (CARGAS) e à rede de distribuição da CEMIG, são baseadas nos requisitos da tensão em regime permanente, fator de potência, harmônica, variação de tensão e variação da frequência.(ND 5.30 , 2016).

Os sistemas que utilizam inversores para conexão com a rede e os valores de referência para qualidade de energia, devem estar de acordo com a NBR 16149. Para os sistemas que não utilizarem inversores os valores de referência são estabelecidos no modulo 8 secção 8.1 do PRODIST – QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA.

### 2.1.2.9 Segurança

O aterramento do sistema de microgeração deverá ser feito juntamente com o sistema de aterramento do consumidor seguindo os padrões estabelecidos na ND 5.1 e ND 5.2.

É recomendado a utilização de dispositivos conta corrente de curto-circuito em sistemas de micro geração, afim de limitar e interromper o fornecimento de energia, protegendo a rede interna do consumidor e a rede da CEMIG, contra eventuais falhas no sistema de geração. Proteção esta que deve estar coordenada com a proteção principal do consumidor (ND 5.30, 2016).

Juntamente com o padrão de entrada, próximo a caixa de medição, deverá ser fixada uma placa de aviso conforme o modelo abaixo:

Figura 11 Modelo placa de aviso



Fonte: CEMIG N.D 5.30

## 2.2 Instalação predial de Água

Em um edifício o projeto de sistemas de distribuição de água é feito a fim de garantir que a água chegue a todos os pontos de consumo, em quantidade e qualidade adequadas ao uso (Mariana & Orestes ).

As instalações prediais configuram se como um conjunto de conexões, peças e tubulações existentes a partir de um ramal principal que permite levar a água disponibilizada em um reservatório até o ponto de consumo (MARCO E RODRIGO ). Em suma seus principais objetivos são fornecimento contínuo de água, limitação à certos valores de pressões e vazões conforme NBR 5626 e preservação da água.

A água utilizada no sistema de abastecimento predial, pode ser captada por meio da rede pública, ou através de fontes próprias, como por exemplo um poço artesiano. Caso a captação seja feita por fontes próprias, faz-se necessário um sistema de tratamento de água para garantir a qualidade da água para uso humano

( Mariana & Orestes).

Dada a possibilidade de utilização da rede de fornecimento público, a rede particular pode ser utilizada em sistemas secundários, como em combate a incêndios, higienização de ambientes, uso industrial, dentre outras utilidades.

Dentro da concepção de utilização para captação a partir da rede pública, o sistema predial de água pode ser dividido em dois sub-sistemas:

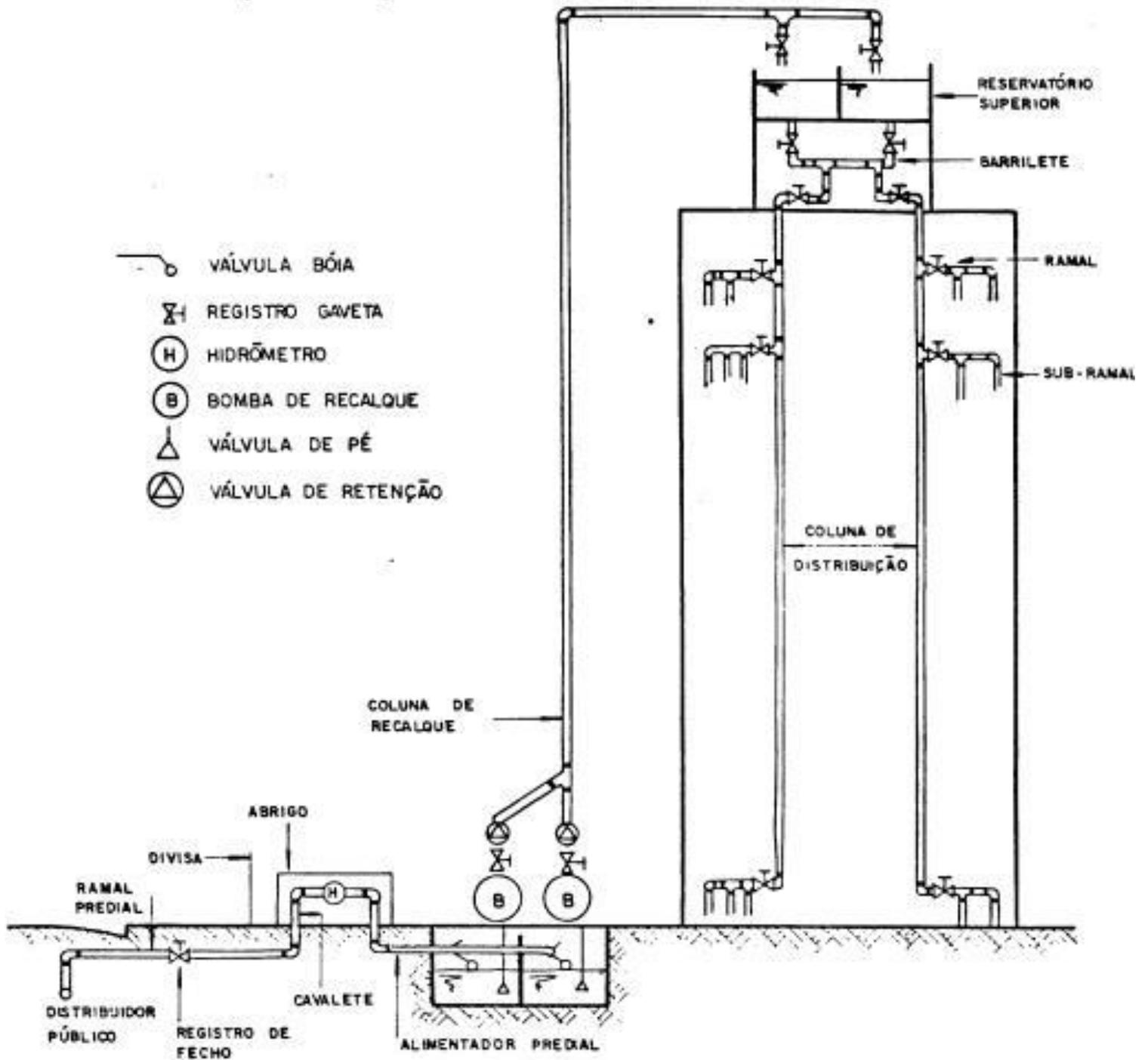
- Rede de abastecimento (opção de estação elevatória caso necessário)
- Rede de distribuição.

O sistema completo é realizado por uma ligação predial, compreendido por:

- Ramal predial, ou ramal externo, trecho onde se realiza a captação da água da rede pública, e local de instalação do medidor;
- Alimentador predial, ou ramal interno, trecho entre o medidor e a primeira derivação, ou até a válvula flutuador na entrada de um reservatório.
- Caso possua reservatório inferior, faz-se necessário a instalação de uma central elevatória.

A rede de distribuição compreende os elementos responsáveis por levar a água do reservatório até o ponto de consumo, conforme mostrado na figura 12.

Figura 12 Sistema de distribuição de água predial



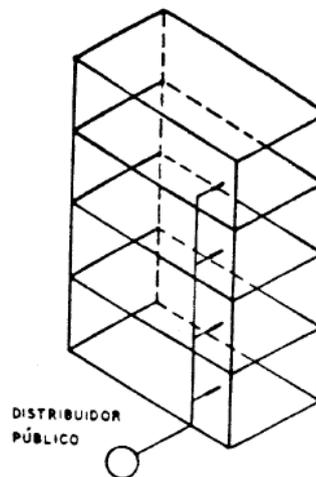
Fonte: Mariana &amp; Orestes

## 2.2.1 Classificação dos sistemas de distribuição de água

### 2.2.1.1 Sistema Direto

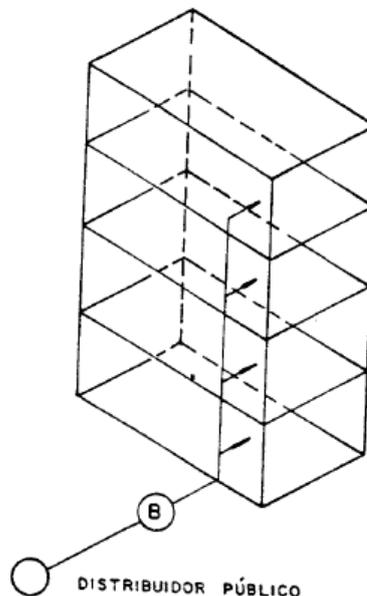
No sistema direto de distribuição de água predial figura 13, os apartamentos são interligados diretamente ao sistema de abastecimento, de modo que não se faz necessária a utilização de um reservatório. Caso seja utilizado um sistema particular de aquisição de água, a instalação de um sistema de bombeamento será necessária, o mesmo deve se aplicar quando a pressão da rede pública não é suficiente para atender todos os usuários (Mariana & Orestes).

Figura 13 Sistema direto



Fonte: Mariana & Orestes

Figura 14 Sistema direto com bombeamento



Fonte: Mariana & Orestes

### 2.2.1.2 Sistema Indireto

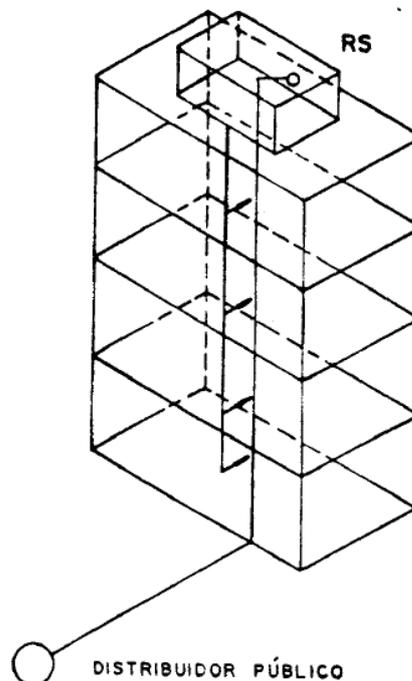
Diferente do sistema direto, o sistema indireto alimenta a rede de distribuição através do reservatório de água. A pressurização do sistema pode ocorrer por gravidade ou por um sistema hidropneumático caso necessário (Mariana & Orestes).

### 2.2.1.3 Sistema Indireto por gravidade

No sistema Indireto por gravidade, um reservatório localizado no ponto mais alto do edifício, é responsável por alimentar a rede de distribuição. O mesmo pode ser alimentado diretamente pela rede pública, ou por um reservatório inferior utilizando um sistema de bombeamento.

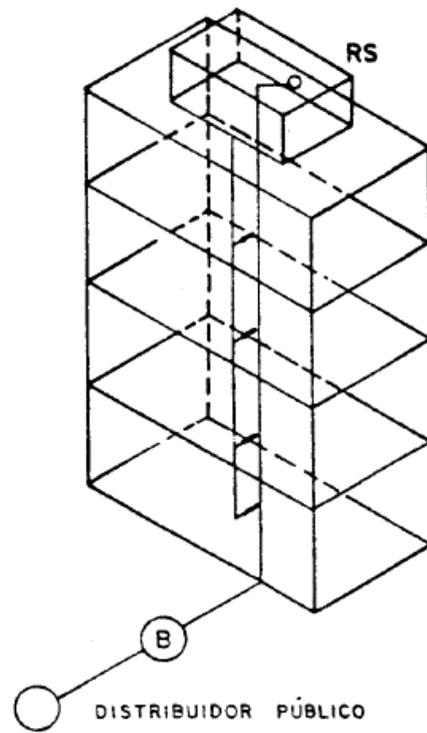
Deste modo é possível classificar o sistema indiretos por gravidade de duas formas distintas, sistema indireto RS (RESERVATÓRIO SUPERIOR) apresentado da Figura 15 e 16, sistema indireto com bombeamento, e sistema indireto RI-RS (RESERVATÓRIO INFERIOR E RESERVATÓRIO SUPERIOR) Figura 17.

Figura 15 Sistema indireto Reservatório Superior



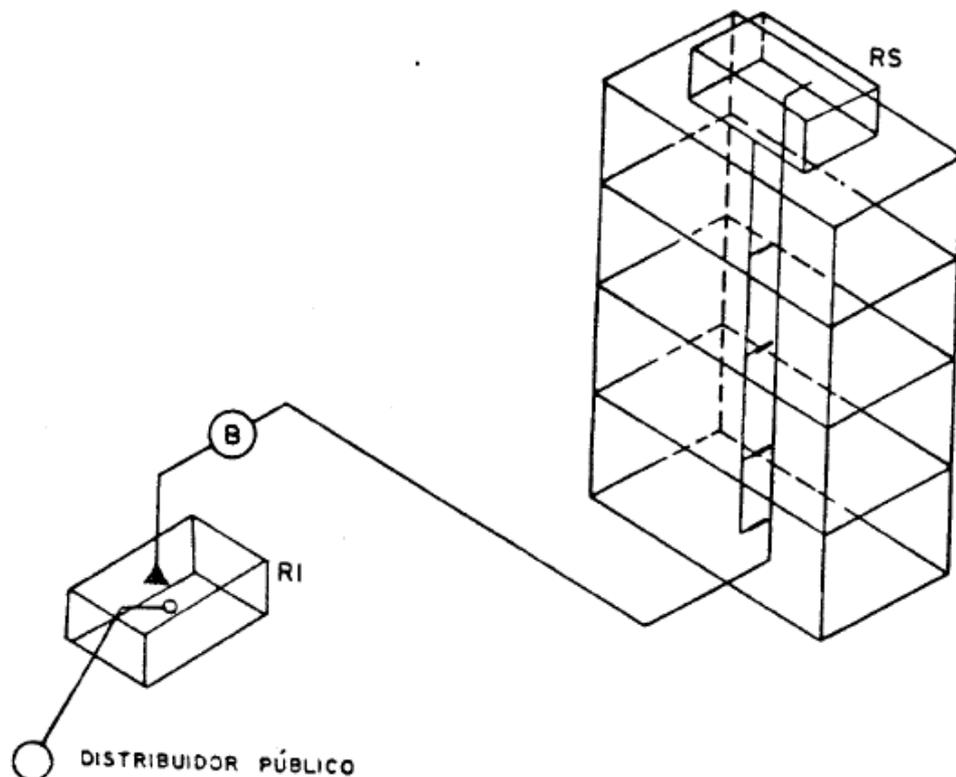
Fonte: Mariana & Orestes

Figura 16 Sistema indireto Reservatório Superior com bombeamento



Fonte: Mariana &amp; Orestes

Figura 17 Sistema indireto Reservatório Superior e Inferior



Fonte: Mariana &amp; Orestes

### 2.2.2 Dimensionamento do sistema de abastecimento para um sistema indireto com reservatório superior

Para este modelo de sistema, o alimentador tem a extremidade à jusante equipada com uma válvula do tipo boia e um reservatório superior. A energia potencial necessária para o funcionamento do mesmo deve ser fornecida pela rede pública. Em síntese o funcionamento do sistema é simples, conforme ocorre consumo, a válvula boia é parcialmente ou totalmente aberta, de modo que o suprimento dependa apenas da rede pública (Mariana & Orestes).

O dimensionamento é realizado a partir das seguintes determinações:

- Estimativa de consumo diário de água.
- Verificação da pressão disponível na rede pública de abastecimento.
- Dimensionamento do sistema de abastecimento.
- Dimensionamento do sistema de armazenamento.

#### 2.2.2.1 Estimativa de consumo diário de água

O consumo de água é calculado tendo em vista o tipo de edificação utilizando a seguinte formula (1):

$$C_D = C \times P \quad (1)$$

ONDE:

$C_D$  = consumo diário total (l/dia);

$C$  = consumo diário “per capita” (l/dia);

$P$  = população do edifício (pessoas);

Para o valor P (pessoas), deve-se realizar um levantamento de moradores do edifício.

Os valores de consumo diário  $C_D$  podem ser extraídos na tabela da figura

18:

Figura 18 Tabela de consumo diário médio por pessoa

TIPO DE EDIFICAÇÃO	CONSUMO (L/DIA)
Alojamentos provisórios	80
Apartamento de padrão médio	250
Apartamento padrão luxo	300
Edifícios públicos, comerciais	80
Escolas	50
Garagens e postos de serviços	150/automóvel
Hospitais e hotéis	250
Matadouros	300/animal
Templos	2/lugar

Fonte: ( DEA 7833 – CAP4)

#### 2.2.2.2 Verificação da Pressão existente na rede pública

De acordo com a NBR 12218/1194, a pressão estática nas tubulações distribuidoras deve ser de 500Kpa, e a pressão dinâmica mínima de 100Kpa. Valores estes que podem sofrer alterações se comprovado tecnicamente a necessidade.

A CESAMA companhia de saneamento básico, responsável pela rede pública da cidade de Juiz de Fora, em virtude da topografia da cidade, trabalha com a pressão entre 10 e 70mca. De acordo com o “RELATÓRIO DE PERDAS DE ÁGUA EM JUIZ DE FORA, 2018”, CESAMA o ponto de estudo “BAIRRO SANTA TEREZINHA”, tem uma pressão de 60mca no ponto de entrega.

## 2.3 Turbinas aplicadas a Microgeração

Atualmente as turbinas mais aplicadas em estudos com microgeração hidroelétrica são:

- Turbina Pelton;
- Turbina Francis;
- Turbina de fluxo cruzado;

Resumidas apresentações sobre as turbinas acima citadas permitirão ampla visualização sobre as necessidades físicas para a implantação de cada modelo, de maneira que haja aproveitamento do potencial hídrico para gerar energia elétrica, visando impactos econômicos, sociais e ambientais.

### 2.3.1 Turbina Pelton

A turbina Pelton, também conhecida como roda de Pelton, foi nomeada e patenteada pelo norte americano Lester Pelton(1829-1908) em 1880. Assim como a de fluxo cruzado, a turbina Pelton é classificada como uma turbina de ação (GONÇALVES,2000). Sua forma construtiva é similar às rodas d'água utilizadas em moinhos, porém o fluxo de água é direcionado às pás através de um bico injetor de forma a se obter um melhor rendimento da máquina (GERMER,2015).

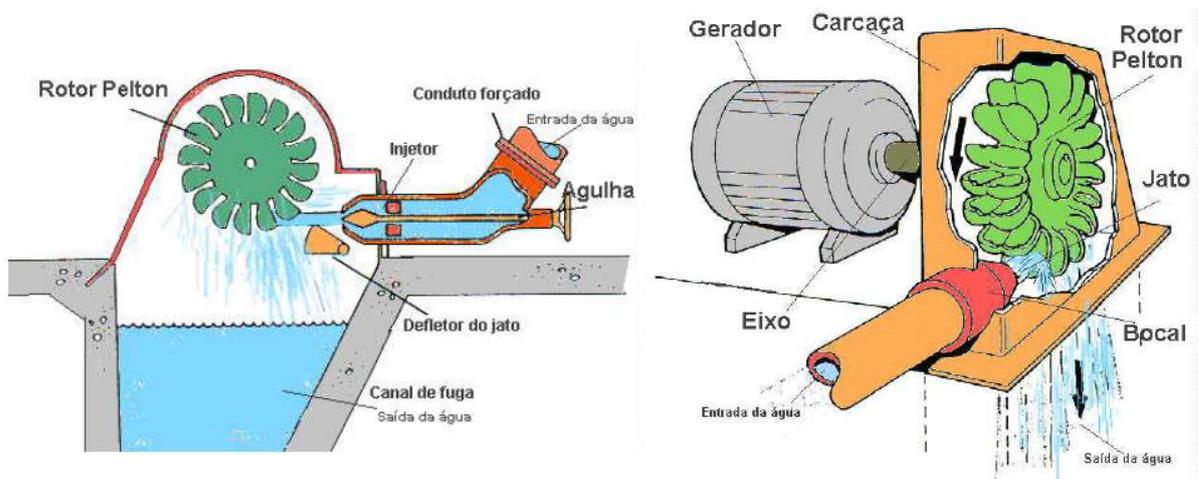
O torque da turbina Pelton, é gerado pela ação do jato de água direcionado sobre as pás. A turbina Pelton é indicada para aplicação onde haja grandes alturas para aumentar a pressão do jato, o que ocasiona no aumento proporcional do torque. É indicada a utilização da turbina Pelton em aplicações com quedas superiores a 150 metros (EISENRIG. 1991).

Após avaliação do ponto de instalação, caso se verifique um grande potencial de vazão contudo com pequena queda, algumas medidas podem ser tomadas para aumentar a eficiência da turbina Pelton, são elas:

- Multiplicar o número de jatos incidente sobre o rotor, assim sendo necessário um menor rotor para atender o torque exigido.
- Multiplicar o número de rotores instalados no mesmo eixo, montado lado a lado visando aumentar o torque no eixo do gerador (GONÇALVES,2000).

Na maioria dos casos o acoplamento do gerador é realizado diretamente no eixo da turbina, uma vez que a rotação pode ser controlada pelo fluxo de água, se necessário é possível fazer o uso de transmissões para ajustar a rotação.

Figura 19 Partes da Turbina Pelton



Fonte: (GONÇALVES,2000)

A figura 19 apresenta as partes da turbina Pelton e as principais partes são, o rotor, a caixa e o bocal. Os rotores atualmente são fundidos em uma só peça com as pás, contudo caso ocorra algum dano em uma das pás o rotor inteiro necessita ser substituído. Devido à complexidade em sua geometria a fabricação das Conchas(PÁS) é um processo manual e de muito cuidado.

No injetor a pressão da água é transformada em velocidade, a qual é controlada pela agulha que através de um acionamento manual ou automático varia a vazão da na saída do injetor.No Brasil este modelo de turbina tem grande parte da sua aplicação em pequenas centrais hidrelétricas, com sua aplicação bem reduzida em relação aos modelos Francis e Kaplan (GONÇALVES,2000).

Figura 20 Turbina Pelton aplicada na PCH Ervália



Fonte: ( ALSTON, 2018)

Em turbinas de ação, a energia cedida ao eixo é proveniente da energia cinética da água, que é transformada em trabalho mecânico no eixo ou dissipada em forma de atrito. Considerando uma turbina ideal, a velocidade da água é reduzida a zero após a incidência sobre as pás.

A potência da água em KW na saída do injetor é dada por (2):

$$P_{inj} = K \times H \times Q \quad (2)$$

Onde:

K = constante dependente das características do fluido e do injetor;

H = altura da água em metros;

Q = vazão em  $m^3 / s$  ;

As turbinas Pelton, tem o máximo rendimento entre 80 e 90%. Considerando o rendimento como  $\eta_t$  a potência entregue ao eixo é dada por (3):

$$P_t = K \times H \times Q \times \eta_t \quad (3)$$

A vazão  $Q$  é dada em razão da altura da queda e do coeficiente do injetor. Sendo  $A$  a área do jato e  $V$  a velocidade temos que (4):

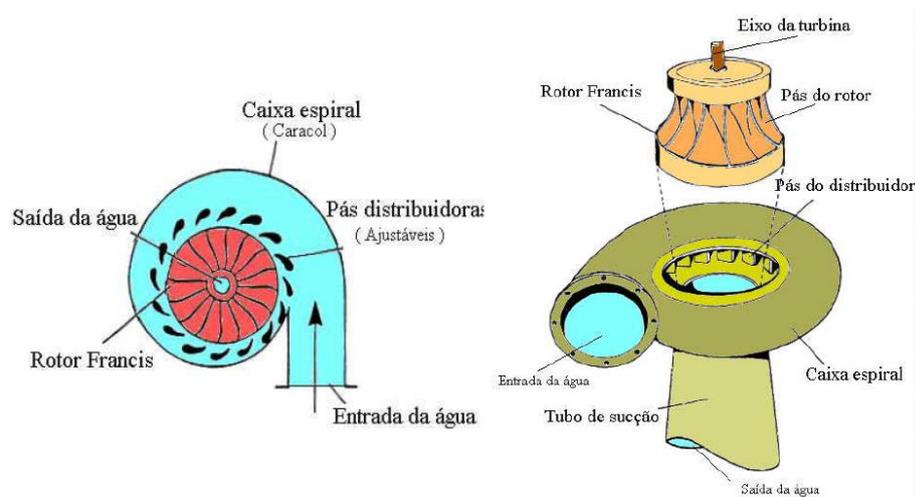
$$Q = A \times V \text{ m}^3/\text{s} \quad (4)$$

### 2.3.2 Turbina Francis

Idealizada no ano de 1849, a turbina Francis levou o nome de seu inventor James Bicheno Francis (1815-1892) em resultado a estudos e aperfeiçoamentos realizados no modelo desenvolvido por Samuel Dowd em 1838 (GERMER,2015). Ao contrário do modelo Pelton, a turbina Francis, é um modelo de turbina de reação com eficiência de 90% o que permite sua aplicação em instalações com queda entre 20 e 700m a turbina Francis, a turbina Francis é a mais utilizada no mundo (GERMER,2015). A turbina Francis vem sendo aplicada em construções com grande aproveitamento energético, podendo ultrapassar 750MW a potência de cada turbina (GONÇALVES,2000).

A primeira turbina Francis foi fabricada pela empresa J.M Voith em 1873, e desde então sofre aperfeiçoamentos, como por exemplo as Pás diretrizes, também conhecidas como pás Fink (GONÇALVES,2000).

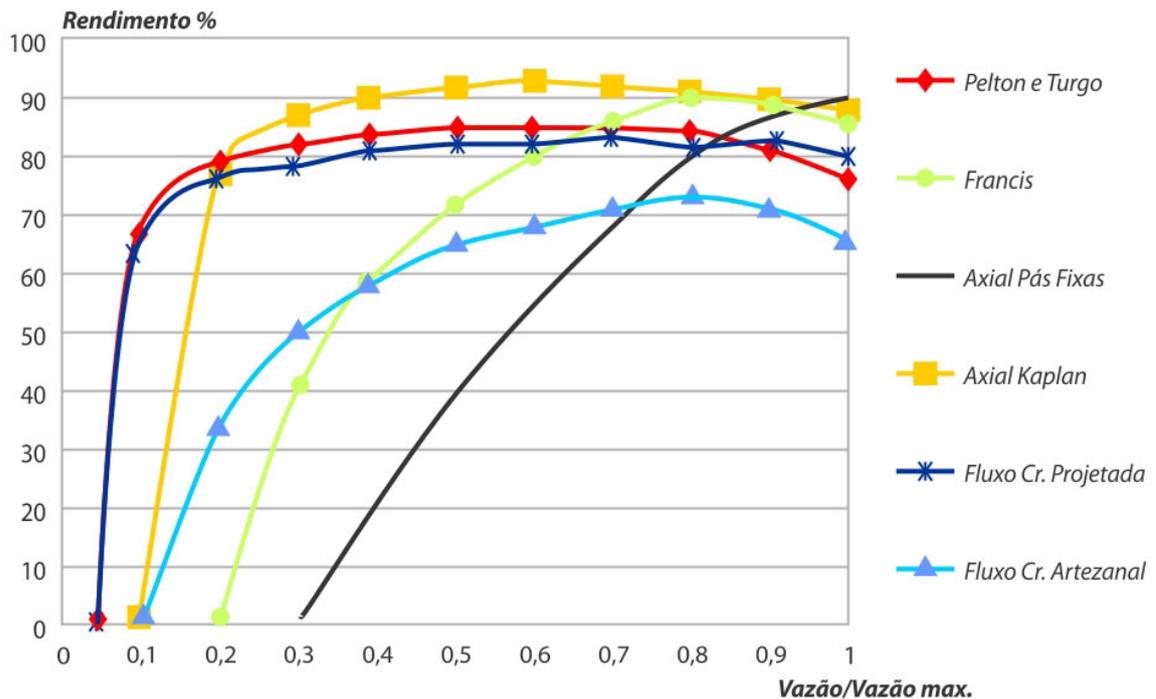
Figura 21 Partes da turbina Francis



Fonte: (GONÇALVES,2000)

A figura 21 mostra que as pás do rotor são perfiladas de forma complexa em uma caixa espiral, de tal modo a receber a água proveniente das pás diretrizes as quais direcionam a água no ângulo adequado deixando a mesma axial ao eixo (simoes,2003). O tubo de sucção ou saída d' água é relevante no projeto, uma vez que dispõe de duas importantes finalidades. Uma delas é permitir que o rotor da turbina fique acima do nível da saída da água e reduzir a velocidade com que a água será descarregada, logo a perda de energia cinética é menor (SIMÕES, 2003). Com o duto de sucção completamente vedado, em função da velocidade da água, um vácuo é gerado no interior da turbina, logo a eficiência da turbina é ampliada. Como pode ser observado na figura 22 a turbina Francis apresenta uma considerável variação de rendimento em função da vazão.

Figura 22 Gráfico Eficiência em função da vazão em turbinas Hidráulicas



Fonte: (GELL INDÚSTRIA)

A construção de uma usina utilizando a turbina Francis, pode ser realizada na Horizontal ou na Vertical. As construções na horizontal demandam de muitos mancais de apoio e carecem de uma grande estrutura de suportaçã, aplicando se geralmente em projetos de pequenas unidades.

Figura 23 Turbina Francis Aplicada na PCH Passo do Meio



Fonte: ( ALSTON, 2018)

A energia cinética da água é transferida para o rotor através das pás, as mais modernas, contam com o sistema das pás diretrizes, também conhecidas como pás distribuidoras, as quais são utilizadas para ajustes da vazão interferindo diretamente na carga da turbina. O modelo Francis é muito utilizado no Brasil em grandes e pequenas aplicações.

### 2.3.3 Turbina Michell-Banki

Também conhecidas como turbinas de fluxo cruzado, as turbinas Michell-Banki, foram desenvolvidas inicialmente por Anthony George Maldon Michell (1870-1959) patenteada na Alemanha em 1903 (CERPCH, 2011). No início a falta de interesse e os conflitos políticos da Europa, fizeram com que a invenção passasse despercebida, até em 1917 onde a invenção foi reconhecida, estudada e divulgada pelo professor Donat Banki (1859-1922). Porém Michell havia assinado um acordo com Richard Ossberger autorizando o uso de sua patente. Deste modo a turbina de fluxo cruzado pode ser também conhecida como, turbina Michell, turbina Banki, turbina Michell-Bank ou turbina Michell Ossberger. (OSSBERGER,1998).

Na década de 70 no Brasil a Companhia Federal de Fundação fabricava uma turbina parecida, conhecida na época como Turbina Delta-Simplex (MACINTYRE,1988). Este modelo de turbina descarregava a água direto para a atmosfera, o eixo do motor era apoiado diretamente sobre dois mancais de rolamentos, não existindo o conjunto da carcaça de proteção. A multiplicação de rotação era realizada através de polias e correias.

No Brasil a Turbina de Fluxo cruza, tornou-se interesse de estudos em 1983 quando o Ministério de Minas e Energia juntamente com a Eletrobrás, lançou o PROGRAMA NACIONAL DE PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS , onde incluía o manual para micro, mini e pequena central hidrelétrica. Ainda em 1983 onde foi criado o projeto de norma da ABNT, onde classificava as turbinas para utilização em pequena centrais, assim citando o modelo de turbina de Fluxo cruzado.

Conforme apresentado na figura 24 a turbina Michell Banki, ou fluxo cruzado, tem sua básica construção constituída por uma aleta diretriz para direcionar e controlar o fluxo de água, um rotor projetado de maneira a permitir a maior transferência de potência para o eixo, o qual recebe duplo impulso do fluxo d'água que circula por ele. Sua forma construtiva é bem parecida com uma gaiola possuindo grande número de pás variando de acordo com a necessidade de aplicação. Modelo este que se adapta a quaisquer valores de vazão, pois basta uma alteração do projeto do rotor para que seja possível atender à necessidade em questão. Os rotores conhecidos como curtos, ou rotores de uma célula, são projetos, para rotação específicas de até  $N_s = 30$ , já os rotores compridos ou de três módulos, para rotação específicas de até  $N_s = 200$ .

O primeiro impulso ocorre quando o fluxo de água, chega ao injetor e adquire uma forma retangular, circula da parte externa para a parte interna do rotor, passando pelas pás, transferindo ao rotor, através da energia cinética do fluxo de água, uma parcela de trabalho. Nas saídas das pás no interior do rotor, um novo impulso ocorre, de dentro para fora das pás, transferindo ao rotor outra parcela de trabalho.

Figura 24 Partes da turbina Michell Banki

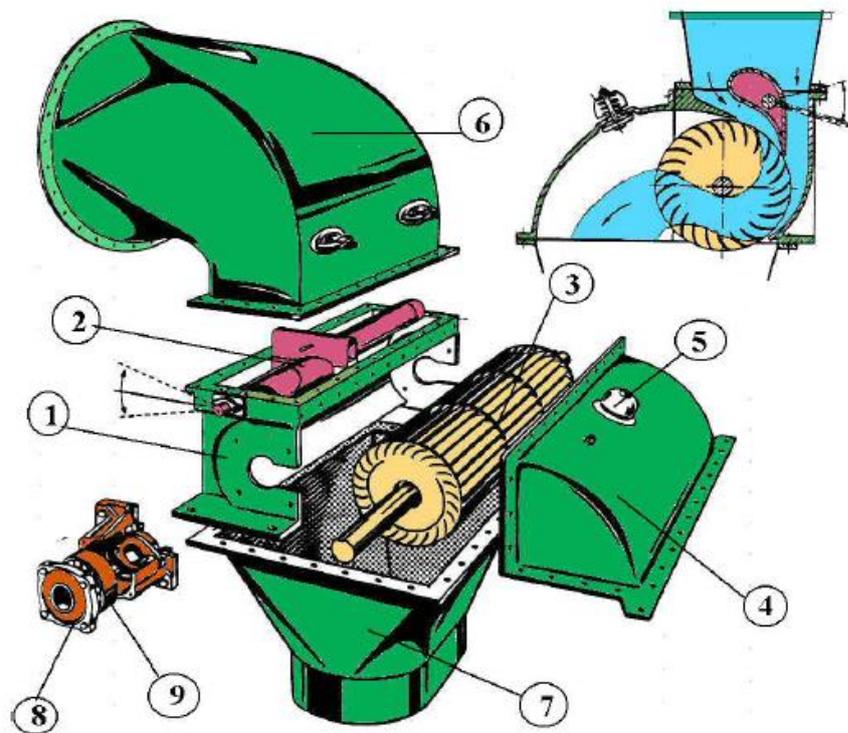


Figura 4.3. Desenho explodido, mostrando as principais partes da turbina de fluxo cruzado

- |                  |                        |
|------------------|------------------------|
| 1 - Carcaça      | 5 - Respiro            |
| 2 - Distribuidor | 6 - Tubo de admissão   |
| 3 - Rotor        | 7 - Tubo de sucção     |
| 4 - Tampa        | 8 - Tampa do rolamento |
|                  | 9 - Suporte do mancal  |

Fonte: ( OSSBERGER,1998)

## 2.4 Seleção do Tipo de Turbina

A turbina deve ser selecionada para atender aos valores de vazão e queda d'água disponíveis, estes são dependentes diretos do local de instalação. Outro fator que influencia na escolha da turbina, é o número de rotações necessários para que o gerador trabalhe perfeitamente. De acordo com MACINTYRE (1983) a queda d'água representa a energia cedida pela unidade de peso em escoamento entre duas posições, sendo a potência  $P$  dada em Kgf/s.

Assim sendo a potência disponível nominal  $P_d$ , é correspondente à descarga  $Q$  sobre a altura nominal da queda  $H_n$ , podendo ser  $P_d$  calculado através da equação (5).

$$P_d = 9,8 \times Q \times H_n \quad (5)$$

A potência efetiva nominal é a potência gerada pela turbina em uma queda  $H_n$  com rotação nominal  $\eta_n$ . Para tal cálculo, faz-se necessário conhecer o rendimento total da turbina  $\eta_t$ . De acordo com MACINTYRE (1983) o rendimento total das turbinas de pequeno porte é de 0,8 e em de médio porte 0,85.

$$N = \frac{1000 \times \eta_t \times Q \times H_n}{75} \quad (6)$$

A rotação da turbina depende diretamente da rotação do gerador, uma vez que há um acoplamento direto entre as duas partes. A forma construtiva do gerador ocasiona em uma dependência entre as grandezas, número de polos, rotação por minuto  $n$  e a frequência da corrente elétrica  $f_r$ .

$$n = \frac{60 \times f_r}{p} \quad (7)$$

No Brasil a frequência utilizada na rede é de 60Hz, deste modo podemos simplificar a expressão (7), deixando em evidencia o número de polos, já que a rotação é informada pelo fabricante do equipamento.

$$p = \frac{3600}{n} \quad (8)$$

A rotação específica  $\eta_s$  ou número específico de rotações por minuto, corresponde ao número de rotações por minuto da turbina e de todas as outras que forem geometricamente semelhantes a ela e funcionando nas mesmas condições.

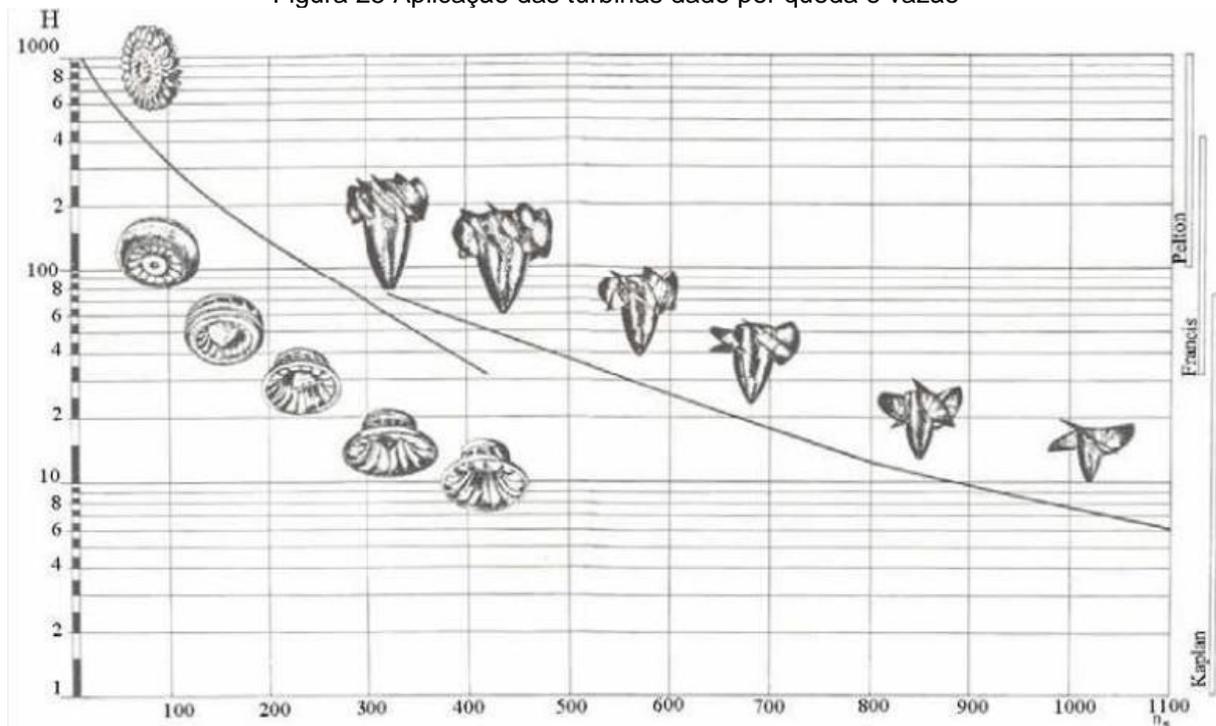
$$\eta_s = \frac{\eta \times \sqrt{N}}{H \times \sqrt[4]{H}} \quad (9)$$

### 2.4.1 Escolha da Turbina

Nas primeiras décadas posteriores a invenção das máquinas geradoras de energia elétrica, a escolha da turbina era realizada de forma arbitrária e por tentativas. Contudo após muitos estudos e experimentos, foram desenvolvidos métodos para escolha do melhor modelo de turbina a ser aplicado. As grandezas necessárias para a seleção da turbina correta para uma determinada aplicação são a vazão  $Q$ , a queda  $H$  e o número de rotações por minuto  $n$ .

Com a utilização do fórmula (9), pode se obter o valor da rotação específica, valor este que juntamente com as figuras 25 e 26, indicará o melhor modelo a ser aplicado.

Figura 25 Aplicação das turbinas dado por queda e vazão



Fonte: (MACINTYRE, 1983)

Figura 26 Aplicação dos diversos tipos de turbina

Tipos de turbinas		$n_s$ (rpm)	H (m)
Pelton	1 jato	18	800
	1 jato	18-25	800-400
	1 jato	26-35	400-100
	2 jatos	26-35	800-400
	2 jatos	36-50	400-100
	4 jatos	40-50	400-100
	4 jatos	51-71	500-200
	6 jatos	72-90	400-100
Francis	Muito lenta	55-70	600-200
	Lenta	71-120	200-100
	Normal	121-200	100-70
	Rápida	201-300	70-25
	Extra –rápida	301-450	25-15
Kaplan, Bulbo, Straflo, Propeller	8 pás	250-320	70-50
	7 pás	321-430	50-40
	6 pás	431-530	40-30
	5 pás	534-620	30-20
	4 pás	624 em diante	30

Fonte: (MACINTYRE, 1983)

### 3 Estudo de caso

O estudo de caso foi desenvolvido para avaliar o potencial de geração de energia elétrica existentes nas edificações utilizando o sistema de abastecimento de água. A metodologia aplicada é semelhante para qualquer modelo de construção, alterando somente os valores das variáveis de acordo com cada caso. Nesse caso o projeto foi concebido em um prédio com 6 pavimentos e um total de 7 apartamentos, localizado na Cidade de Juiz de fora, no bairro de santa Terezinha, como poder ser observado nas Figuras 27 e 28.

Figura 27 Mapa de Localização da residência em estudo



Fonte: Google Maps( Rua tupi Nº215, santa Terezinha, Juiz de Fora, Minas Gerais)

Figura 28 Faixada do edifício



Fonte: Acervo pessoal

O sistema de abastecimento de água do edifício tem a configuração indireto com reservatório superior, reservatório este com capacidade para 4000 litros de água. O fornecimento de água é realizado diretamente pela companhia de saneamento básico da cidade (CESAMA) através de um único ponto localizado próximo ao portão de entrada do edifício. A CESAMA garante aos consumidores o fornecimento contínuo de água conforme exigências da NBR5626.

Para realização do estudo de caso alguns dados foram levantados no local de instalação do micro gerador.

- Pressão do sistema de abastecimento de água;
- Vazão máxima admissível do sistema;
- Consumo médio de água;

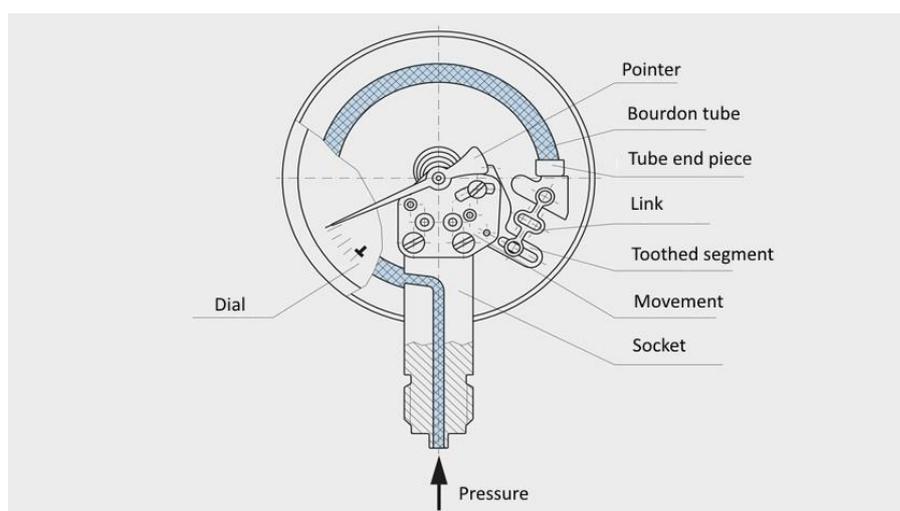
### 3.1 Equipamentos e instrumentos utilizados

Para as medições que se fizeram necessárias, foram utilizados os seguintes Instrumentos:

- **Manômetro de Bourdon**

O manômetro de Bourdon Figura 29, é o equipamento utilizado para aferir a pressão relativa. O tubo de Bourdon tem a forma de C em um ângulo aproximado de  $250^\circ$ , a pressão do fluido atua no interior do tubo gerando um movimento linear no fim tubo. Movimento este que permite a indicação da pressão pelo ponteiro através de um sistema mecânico.

Figura 29 Manômetro de Bourdon



Fonte: Site oficial WIKA<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Disponível em : <

[https://www.wika.com.br/landingpage\\_bourdon\\_tube\\_pressure\\_gauge\\_pt\\_br.WIKA](https://www.wika.com.br/landingpage_bourdon_tube_pressure_gauge_pt_br.WIKA)> Acesso nov. 2018

- **Sistema para medição de vazão com Arduino**

O sistema de medição de vazão foi projetado utilizando como processador de informações a plataforma de prototipagem Arduino, que utiliza o micro controlador Atmel AVR. Conforme representado na Figura 30 as entradas e saída são embutidas em uma única placa o que facilita sua montagem. A programação é realizada através de um software gratuito e utiliza como base de linguagem de programação C/C++.

Figura 30 Arduino UNO



Fonte: Site oficial Arduino<sup>2</sup>

Afim de aferir a vazão, foi utilizado o sensor de fluxo YF-S201b apresentado na Figura 31 que instalado em linha com a tubulação de abastecimento de água envia ao Arduino um sinal PWM(modulação por largura de pulso) o qual é processado e transformados em valores de vazão utilizando constantes de transformação indicadas pelo fabricante.

Figura 31 Sensor de Fluxo YF-S201b



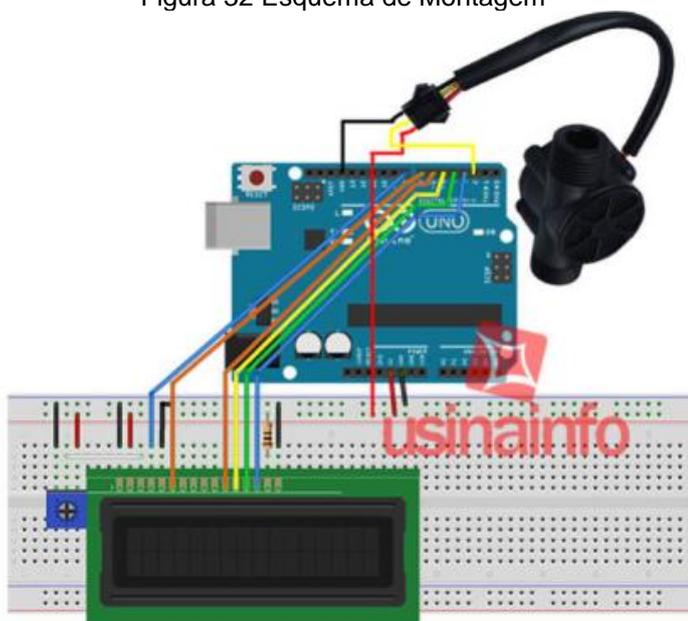
Fonte: Site oficial Usina Info<sup>3</sup>

<sup>2</sup> Disponível em : < <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3> >Acesso nov. 2018

<sup>3</sup> Disponível em : < <https://blog.usinainfo.com.br/sensor-de-fluxo-de-agua-para-arduino-1-30-lmin/> >Acesso nov. 2018

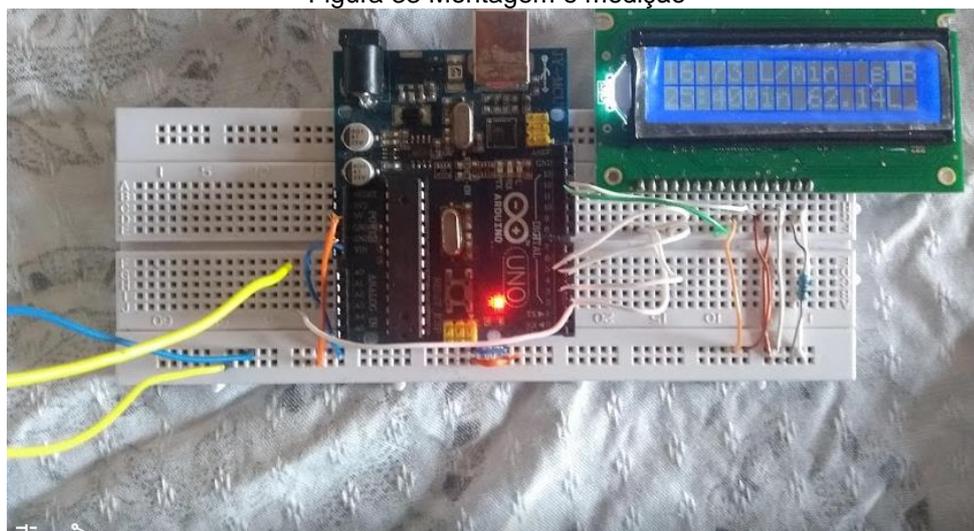
Com o objetivo de realizar o levantamento da vazão máxima do ponto de abastecimento, foi utilizado um circuito onde a vazão transmitida pelo sensor de fluxo fosse processada pelo Arduino e informada em um display LCD. A programação está disponível no Anexo 1 e o esquema de montagem pode ser observado nas Figuras 32 e 33.

Figura 32 Esquema de Montagem



Fonte: Site oficial Usina Info<sup>4</sup>

Figura 33 Montagem e medição



Fonte: Acervo pessoal

---

<sup>4</sup> Disponível em : < <https://blog.usinainfo.com.br/sensor-de-fluxo-de-agua-para-arduino-1-30-lmin/> > Acesso nov. 2018

- **Multímetro**

Para as medições das grandezas elétricas foi utilizado o multímetro FLUKE-107. Como pode ser observado na figura 34 qual nos permite medição com precisão de tensão, corrente, resistência e continuidade. Este modelo é compacto, de fácil manuseio e tem um bom custo benefício.

Figura 34 Multímetro Digital Fluke 107



Fonte: Site Fluke<sup>5</sup>

### 3.2 Sistema de geração

Visando obter o menor custo possível para tornar o projeto viável, foi utilizado um micro gerador encontrado no mercado com potência de 10Watts, tensão de saída de 12Volts corrente continua. Este micro gerador é composto por um enrolamento no estator e um ímã permanente no rotor, o que faz com que os custos relativos à manutenção sejam menores. Nas figuras 35,36 e 37 pode-se observar a forma construtiva da turbina e do gerador, um pouco semelhante à turbina Pelton, a qual dispõe de várias pás recebendo um fluxo de água direcionado. No anexo 2 Data Sheet do micro gerador pode observar todas as características do modelo utilizado.

---

<sup>5</sup> Disponível em : < <https://www.fluke.com/pt-br/produto/teste-eletrico/multimetros-digitais/fluke-107> > Acesso nov. 2018

Figura 35 Microgerador F50-12V



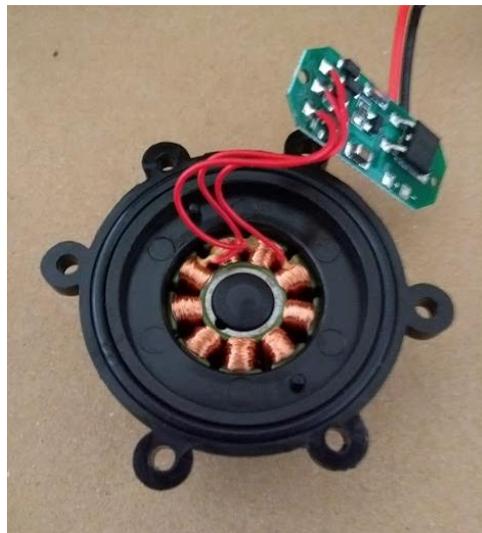
Fonte: Acervo pessoal

Figura 36 Rotor com pás



Fonte: Acervo pessoal

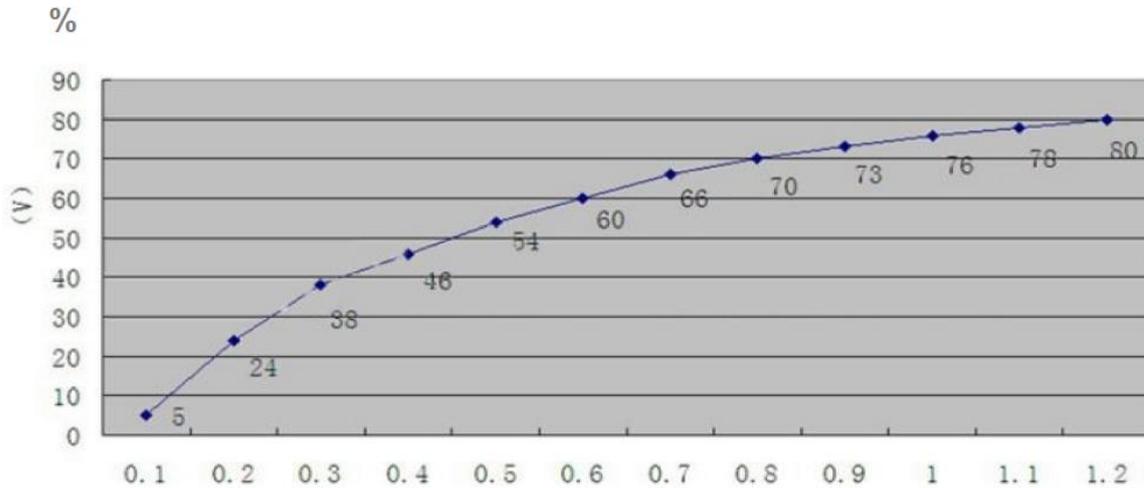
Figura 37 Enrolamentos do microgerador



Fonte: Acervo pessoal

De acordo com a figura 38 retirada do Data Sheet, a potência gerada é proporcional a vazão de entrada de água.

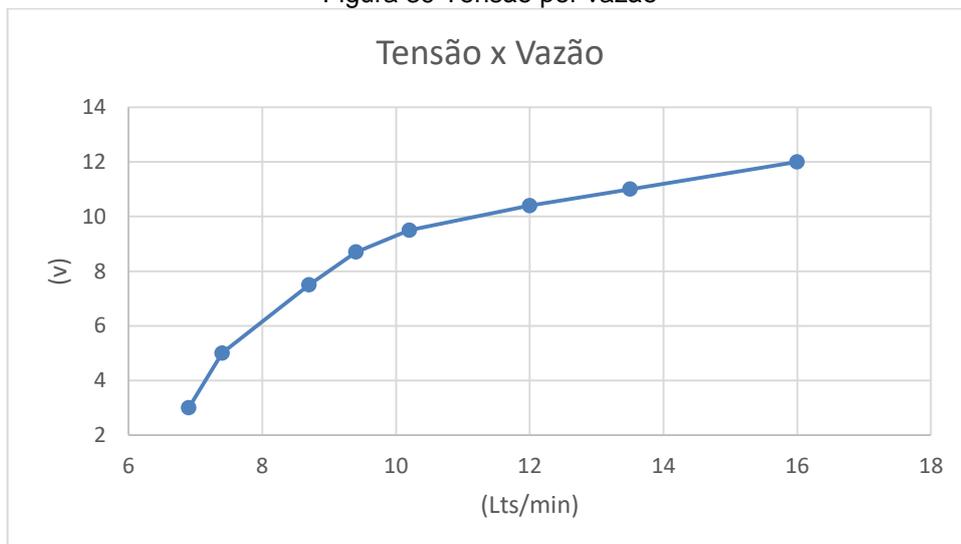
Figura 38 Grafico Rendimento por vazão



Fonte: Data Sheet Anexo 2

Em testes realizados para verificação das características do microgerador, uma válvula foi instalada a fim de controlar o fluxo de água. Para verificação do comportamento do minigerador em funcionamento com carga, foi ligado diretamente ao minigerador uma Fita Led com potência de 10Watts, os resultados obtidos estão representados na Figura 39.

Figura 39 Tensão por vazão



Fonte: elaborado pelo autor

A partir do gráfico em análise, é possível observar a proximidade entre os valores encontrados e os valores fornecidos pelo fabricante, logo o equipamento pode ser considerado mais confiável.

Nas medições realizadas obteve-se o maior valor de vazão de 18L/min e uma pressão de 60 mca.

Para realização do cálculo da potência total gerada é necessário realizar algumas suposições que são aproximações necessárias:

Visto que o edifício é composto por 7 apartamentos com um total de 22 moradores e o mesmo respeite a média de consumo apresentada no DEA7833, um edifício de padrão médio possui consumo médio de 250 litros por habitante a cada dia.

Considerando essas informações o consumo de água diário é em média:

$$C_D = C \times P \quad (1)$$

ONDE:

$C_D$  = consumo diário total (l/dia);

$C$  = consumo diário “per capita” (l/dia);

$P$  = população do edifício (pessoas);

Utilizando a equação (1) foi obtido o resultado de consumo total de 5.500 litros por dia.

Dos dados levantados do mini gerador temos um a potência de 10W/h gerada com uma pressão de 30 mca a uma vazão de 16litros/minuto.

Considerando os dados levantados nos testes, a potência diária total produzida é calculada levando em consideração que:

- Pressão constante de 30mca.
- Volume de água necessário para gerar 10W/h:

$$V_h = 60min * 16l/min$$

$$V_h = 960l/hr$$

Assim sendo a potência total gerada em um dia é dada por:

$$P_t = \frac{5500}{960} \times 10$$

$$P_t = 57,29W/dia$$

Estes cálculos foram realizados considerando a instalação de um único micro gerador. Com a pressão existente e queda de pressão admissível para funcionamento do micro gerador, pode-se instalar 6 micros geradores em serie no sistema em questão, produzindo assim uma potência total de aproximadamente 343,73W/dia.

### 3.3 – Energia gerada

Os possíveis 343,73W gerados por dia, poderão ser armazenados em uma bateria para a utilização no sistema de iluminação do condomínio, nos corredores e garagem do edifício. Para tal destinação da energia gerada faz-se necessário a realização de uma alteração na estrutura do sistema de iluminação, substituindo as lâmpadas utilizadas por lâmpadas LED(diodo emissor de Luz) com tensão nominal de 12 VCC. O levantamento de carga de iluminação das escadas e garagem, pode ser observado na Tabela 1:

Tabela 1 Levantamento de Carga

LOCAL	POTENCIA	QUANTIDADE	POTENCIA TOTAL
ESCADA PRINCIPAL	9W	4	36W
GARAGEM	12W	4	48W
ILUMINAÇÃO EXTERNA	7W	2	14W
POTENCIA TOTAL DE ILUMINAÇÃO			98W

Fonte: elaborado pelo autor

Levando em consideração a potência gerada e armazenada de 343,73W e o levantamento de carga realizado com um consumo total de 98w/h, é possível obter energia suficiente para alimentar o sistema durante 3,5horas.

### 3.4 – Custo do protótipo

Para a montagem do protótipo utilizado neste estudo, fez-se necessário a aquisição dos componentes do sistema de medição e do sistema de geração. Inicialmente o custo do projeto foi estimado em R\$ 250,00, mas devido a necessidades durante o desenvolvimento o custo se elevou conforme descrito na Tabela 2.

Tabela 2 Custo do protótipo

ITEM	CUSTO UNITARIO	QUANTIDADE	CUSTO TOTAL
MICRO GERADOR 10W 12V	R\$ 69,00	1	R\$ 69,00
KIT DE MATERIAIS HIDRÁULICOS PARA INSTALAÇÃO	R\$ 75,00	1	R\$ 75,00
Sensor de Fluxo de Água 1/2" YF-S201b	R\$37 ,90	1	R\$37 ,90
FITA LED 10W	R\$ 18,69	1	R\$ 18,69
KIT Arduino UNO R3	R\$ 149,00	1	R\$ 149,00
CUSTO TOTAL DE IMPLANTAÇÃO			R\$ 349,59

Fonte: elaborado pelo autor

### 3.5 – Custo Para implantação do projeto

O custo para implantação deste modelo de microgeração pode variar de acordo com a necessidade de alterações a serem realizadas no sistema onde será aplicado a energia gerada e a quantidade de microturbinas que devem ser instaladas. Os custos para implantação e perfeito funcionamento do sistema em estudo utilizando apenas seis microgeradores, estão descritos na Tabela 3, todos os custos estão baseados em valores médios de mercado dos materiais:

Tabela 3 Custo de implantação do projeto

ITEM	CUSTO UNITARIO	QUANTIDADE	CUSTO TOTAL
MICRO GERADOR 10W 12V	R\$ 69,00	6	R\$ 414,00
KIT DE MATERIAIS HIDRÁULICOS PARA INSTALAÇÃO	R\$ 75,00	1	R\$ 75,00
BATERIA 12V 45A	R\$ 189,00	1	R\$ 189,00
ADEQUAÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO DO CONDOMINIO	R\$ 260,00	1	R\$ 260,00
CUSTO TOTAL DE IMPLANTAÇÃO			R\$ 938,00

Fonte: elaborado pelo autor

## CONCLUSÃO

O aumento da demanda por energia elétrica e as crescentes preocupações com o meio ambiente, tornaram ainda maior a procura por novas fontes de geração. A busca. Visando um sistema com baixo impacto ambiental e reduzidos custos de implantação fez com que o conceito de geração distribuída e microgeração crescessem dentro dos grandes centros de pesquisas.

O presente estudo teve a finalidade de verificar a viabilidade elétrica e econômica para a implantação de um sistema de microgeração utilizando como fonte de energia primária o sistema de distribuição de água predial, o qual armazena uma energia potencial hidráulica que é desperdiçada.

O estudo energético realizado utilizando uma microturbina encontrada no mercado nacional, mostrou que o aproveitamento do potencial hidráulico para a geração de energia elétrica é possível e eficiente. A microturbina utilizada tem relativamente uma baixa potência, contudo a possibilidade de instalação de várias microturbinas em um único sistema de distribuição de água, faz com que o projeto se torne energeticamente viável. Mesmo com a utilização de vários microgeradores, o projeto é economicamente viável uma pois o custo de implantação do sistema é pequeno, e todos os materiais são de fácil acesso.

A análise realizada comprova que uma nova fonte de energia sustentável e energeticamente viável pode ser aplicada com eficiência e baixo custo. Verificou-se que a energia hidráulica existente nas tubulações pode ser transformada em energia elétrica em pequena e em grande escala. Este projeto aplicado em larga escala em edifícios com grande consumo de água, será benéfico para os moradores, que terão as taxas dos condomínios reduzidas, já que a energia gerada será destinada à iluminação do condomínio.

Como propostas para trabalhos futuros, sugere-se o estudo mais profundo aplicando outros modelos de turbina, e o estudo das instalações de microturbinas em outros pontos do sistema como por exemplo em sistemas de captação de água da chuva ou em redes de esgoto.

## REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 12218 - Projeto de Rede de Distribuição de Água para Abastecimento Público, 1994.

ALSTON - O Estado da Arte em PCHS na Alstom Disponível em: <http://www.cbdb.org.br> Acesso em: 10/10/2018.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa nº 482/2012, Diretoria Geral, Brasília, Brasil, 2012.

ANEEL b – Agência Nacional de Energia Elétrica, Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, Diretoria Geral, Brasília, Brasil, 2012.

BAPTISTA, J. M. Como Melhorar a Qualidade em Sistemas de Abastecimento de Água. 16p. 3th World Water Congress, Portugal, 2000.

BELATI - Site oficial Professor Edmarcio Belati Disponível em: <https://sites.google.com/site/belatiufabc/planejamento-energetico> Acesso em: 10/10/2018.

CERPCH – CENTRO NACIONAL DE REFERÊNCIA EM PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS. Pequena Central Hidrelétrica. Disponível em: <http://www.cerpch.unifei.edu.br/oque.php>. Acesso em: 10/10/2018.

CESAMA, <http://www.cesama.com.br>, site acessado em 02/04/2018.

DIAS, M. V. X., BORTONI, E. C., HADDAD, J. Geração Distribuída no Brasil: Oportunidades e Barreiras, Revista Brasileira de Energia, vol. 11, no 2, 2005.

DUARTE, T. A. F. A Microgeração e o Poder Local. 50p. Dissertação realizada no âmbito do Mestrado em Economia Local- Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra, Portugal, 2010.

GERMER, E. Apostila Máquinas de fluxo. 2ªed. Curitiba. Universidade tecnológica Federal do Paraná 187 p. 2015.

GOMES, H.P. Sistemas de Abastecimento de Água. 3ª ed. Paraíba. Universitária Universidade Federal da Paraíba 277 p. 2009.

GONÇALVES, A. A Turbina de fluxo cruzado (Michell-banki) como opção para centrais hidráulicas de pequeno porte. Dissertação realizada no âmbito da Pós graduação em Energia. Universidade de São Paulo, Brasil, 2000.

MACINTYRE, A.J. Máquinas Motrizes Hidráulicas. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1983. MOREIRA, R. I. P. Avaliação do Potencial Eólico em Regime de Microgeração. 131 p. Dissertação realizada no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores Major Energia – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2010.

PORTO, R. M. Hidráulica Básica, 4ª Ed, São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 519 p., 2006.

VINÍCIUS, M., & DIAS, X. Geração distribuída no Brasil : oportunidades e barreiras, 11p., 2014.

WALTER, A. C. S., BAJAY, S. V., FERREIRA, A. L. Relatório Técnico da Fase 6: Proposição de Eliminação de Barreiras e Formulação de Políticas de Fomento, com os Instrumentos Regulatórios Associados, à Geração Distribuída de Energia Elétrica no Brasil, Sobretudo com Fontes Renováveis e Plantas de Cogeração. Projeto de Pesquisa sobre Integração entre as Regulações Técnico-Econômica e Ambiental do Setor Elétrico Brasileiro, Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético, 55 p., 2000.

## ANEXOS

### Anexo 1 – Programação do Sistema de medição de vazão

```

#include <LiquidCrystal.h>
float vazao; //Variável para armazenar o valor em L/min
float media = 0; //Variável para fazer a média
int contaPulso; //Variável para a quantidade de pulsos
int i = 0; //Variável para segundos
int Min = 00; //Variável para minutos
float Litros = 0; //Variável para Quantidade de agua
float MiliLitros = 0; //Variavel para Conversão
LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 6);
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.setCursor( 0, 0);
  lcd.print("Sensoriamento de");
  lcd.setCursor( 0, 1);
  lcd.print(" fluxo de Agua ");
  delay(3000);
  lcd.clear();
  pinMode(2, INPUT);
  attachInterrupt(0, incpulso, RISING); //Configura o pino 2(Interrupção 0)
  interrupção
}
void loop ()
{
  contaPulso = 0;//Zera a variável
  sei(); //Habilita interrupção
  delay (1000); //Aguarda 1 segundo
  cli(); //Desabilita interrupção
  vazao = contaPulso / 5.5; //Converte para L/min
  media = media + vazao; //Soma a vazão para o calculo da media
  i++;
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print(vazao); //Escreve no display o valor da vazão
  lcd.print(" L/min "); //Escreve L/min
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print(Min);
  lcd.print(":"); //Escreve :
  lcd.print(i); //Escreve a contagem i (segundos)
  lcd.print("Min "); //Escreve :
  MiliLitros = vazao / 60;
  Litros = Litros + MiliLitros;
}

```

```
lcd.print(Litros);
lcd.print("L ");
// Neste conjunto de linhas fizemos a média das leituras obtidas a cada 1
minuto
if (i == 60)
{
  Min++;
  lcd.print(Min);
  if (Min >= 60)
  {
    Min = 0;
  }
  media = media / 60; //faz a média
  Serial.print("\nMedia por minuto = "); //Imprime a frase Media por minuto =
  Serial.print(media); //Imprime o valor da media
  Serial.println(" L/min - "); //Imprime L/min
  media = 0; //Zera a variável media para uma nova contagem
  i = 0; //Zera a variável i para uma nova contagem
}
}
void incpulso ()
{
  contaPulso++; //Incrementa a variável de pulsos
}
```

## Anexo 2 – Data Sheet microturbina F50-12V



**Shenzhen Global Technology Co., Ltd**

12V DC generator micro-hydro generator 10W high-power flow generator factory outlets

**Model: F50-12V / 170842**

### Technical conditions :

- 1) Maximum output voltage: 12V
- 2) Maximum output current:  $\geq 220\text{mA}$  (12V)
- 3) Line resistance:  $L10.5 \pm 0.5\Omega$
- 4) Insulation resistance:  $10\text{M}\Omega$  (DC100 Tramegger)
- 5) The maximum withstanding voltage of the closed water outlet: 0.6Mpa
- 6) The maximum withstanding voltage of the open water outlet: 1.2Mpa
- 7) Hydraulic pressure: 0.05Mpa

### Mechanical characteristics and operating environment :

- 1) Outlook: The surface of electric generator is clean, firm, without erosion and scratches.
- 2) Axial clearance: 0.2—1.0mm
- 3) Noise:  $\leq 55\text{dB}$
- 4) The sign magnitude of the electric generator: around 90g
- 5) Life of the electric ge
- 6) Output characteristic:  
External diameter: 20mm; Internal diameter: 13mm.

