

BRUNO MIYAKUCHI

**VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA DA COGERAÇÃO
RESIDENCIAL NO BRASIL**

São Paulo

2015

BRUNO MIYAKUCHI

**VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA DA COGERAÇÃO
RESIDENCIAL NO BRASIL**

Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética.

Área de Concentração:

Ciclos térmicos de potência, Cogeração

Orientador: Prof. MSc. Ronaldo Andreos

São Paulo

2015

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catalogação-na-publicação

Miyakuchi, Bruno

Viabilidade técnico-econômica da cogeração residencial no Brasil / Bruno Miyakuchi. -- São Paulo 2015.

126f.

Monografia (Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética) -- Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
Programa de Educação Continuada em Engenharia

1. Cogeração de energia. 2. Cogeração residencial. 3. Eficiência energética
I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Programa de Educação
Continuada em Engenharia II.t.

Nome: MIYAKUCHI, Bruno.

Título: Viabilidade técnico-econômica da cogeração residencial no Brasil

Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr._____

Insituição:_____

Julgamento:_____

Assinatura:_____

Prof. Dr._____

Insituição:_____

Julgamento:_____

Assinatura:_____

Prof. Dr._____

Insituição:_____

Julgamento:_____

Assinatura:_____

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas que possibilitam direta ou indiretamente que este trabalho pudesse ser concluído: à minha família que diretamente participou de minha formação à qual sem ela nada disso seria possível, aos amigos que sempre estiveram ao meu lado e ao meu orientador Ronaldo Andreos pela paciência e pelo conhecimento transmitido.

*Quando se ajuda o outro
sinceramente ajuda-se a si.
Essa é uma das mais belas
recompensas da vida.*

(Waldo Ralph Emerson)

RESUMO

MIYAKUCHI, Bruno. **Viabilidade técnico-econômica da cogeração residencial no Brasil.** 2015. Monografia de especialização referente ao Curso de Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética – Programa de Educação Continuada da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2015.

O momento atual do setor elétrico faz com que cada vez mais a geração de energia elétrica descentralizada se faça necessária, gerando buscas por alternativas aos grandes empreendimentos, como as usinas hidrelétricas, na geração de energia elétrica.

A cogeração residencial, também chamada de micro-cogeração, com certa difusão no exterior, mais especificamente na Europa e Japão, vêm como alternativa na descentralização da geração de energia elétrica, aliando ainda à uma considerável melhora na utilização da fonte energética e em consequência no rendimento energético do processo, assuntos tão importantes em tempos onde a escassez dos recursos e a incessante busca por sua melhor utilização passa a ter vital importância.

Então, a monografia em questão irá analisar a viabilidade técnico-econômica da cogeração residencial, também conhecida como micro-cogeração no exterior, feita através do estudo das tecnologias disponíveis e verificação das legislações para o net metering, chegando então às conclusões quanto ao potencial de aplicação, benefícios, barreiras e oportunidades para o setor no país. A pesquisa teve como consulta a literatura sobre o tema Cogeração, bem como foram consultados órgãos e estudos de caso no exterior, mais especificamente na Europa, onde o assunto possui uma difusão muito maior.

Palavras-chave: Cogeração. Micro-cogeração. Eficiência energética.

ABSTRACT

MIYAKUCHI, Bruno. **Technical and economical feasibility of residential cogeneration in Brazil.** 2015. Monograph of expertise related to the Specialization Course in Renewable Energy, Distributed Generation and Energetical Efficiency – Continuing Education Program of Polytechnic School of University of São Paulo, 2015.

The current moment in the electricity sector makes increasingly necessary the decentralized electricity generation, generating search for alternatives to large projects such as hydroelectric plants to generate electricity.

The residential cogeneration, also called micro-cogeneration, with some spread abroad, specifically in Europe and Japan, comes as an alternative to decentralization of power generation, combining a considerable improvement in the use of the energy source and as consequence in the energy efficiency of the process, such important issues in times where the scarcity of resources and the constant search for the best use of them is of vital importance.

This monograph shall evaluate the technical and economic feasibility of residential cogeneration, also known as micro-cogeneration abroad, made through the study of available technologies and verification of laws for net metering, then coming to conclusions on the application potential, benefits, barriers and opportunities for the sector in the country.

The research consulted the literature on the topic Cogeneration, as well as proper agencies and case studies abroad, specifically in Europe, where it has a much larger diffusion.

Key words: Cogeneration. Micro-cogeneration. Energy efficiency.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 2.1 - Esquema de uma instalação de micro-cogeração residencial com foco no suprimento de calor;
- Figura 2.2 - Fases do funcionamento de um motor à combustão interna do tipo DIESEL;
- Figura 2.3 - Ciclos do funcionamento de um motor à combustão interna do tipo OTTO;
- Figura 2.4 - Esquema do princípio de funcionamento dos diferentes tipos de célula combustível;
- Figura 2.5 - Tipos de tecnologia em célula combustível de acordo com eficiência energética e temperatura de operação;
- Figura 2.6 - Princípio de funcionamento de uma célula combustível do tipo PEFC;
- Figura 2.7 - Detalhamento de uma célula combustível do tipo PEFC;
- Figura 2.8 - Diagrama de uma instalação de cogeração residencial à célula combustível;
- Figura 2.9 - Princípio de funcionamento de uma célula combustível do tipo SOFC;
- Figura 2.10 - Motor Stirling alfa em 90°;
- Figura 2.11 - Motor Stirling beta;
- Figura 2.12 - Motor Stirling gama em 90°;
- Figura 2.13 - Micro-cogeração através da utilização de microturbinas de eixo simples;
- Figura 2.14 - Micro-cogeração através da utilização de microturbinas de dois eixos;
- Figura 2.15 - Balanço energético de um sistema de micro-cogeração com MCI à gás;
- Figura 2.16 - Configuração básica de um sistema de micro-cogeração utilizando motores à gás;
- Figura 2.17 - Princípio de funcionamento de uma ENE-FARM;
- Figura 2.18 - Balanço energético de um sistema que se utiliza de motor Stirling;
- Figura 2.19 - Princípio de funcionamento da EnerTwin®;
- Figura 2.20 - Tecnologias presentes para a cogeração residencial;
- Figura 2.21 - Capacidade instalada da micro-cogeração na Europa;
- Figura 2.22 - Capacidade de geração de energia elétrica através da Cogeração em 2013, no Japão;
- Figura 2.23 - Tipos de combustíveis utilizado na cogeração Japonesa e os tipos de tecnologia que os utiliza;
- Figura 2.24 - Princípio de funcionamento e a tecnologia do ECO-WILL®, unidade cogeradora da HONDA;
- Figura 2.25 - “ENE-FARM” Panasonic;
- Figura 2.26 - ENE-FARM produzido em conjunto pela Panasonic e Viessmann para atendimento do mercado europeu;
- Figura 2.27 - Dachs micro-CHP®, solução em micro-cogeração da BDR Thermea;

Figura 2.28 - BAXI Ecogen®, solução em micro-cogeração com motor Stirling da BDR Thermea;

Figura 2.29 - Gamma 1.0®, solução em micro-cogeração com célula combustível (PEFC) da BRD Thermea;

Figura 2.30 - Vista do EnerTwin, da MTT;

Figura 3.1 - Renda mensal das famílias brasileiras;

Figura 3.2 - Funcionamento do sistema Net Metering;

Figura 3.3 - Medidor inteligente utilizado nos sistemas net metering;

Figura 3.4 - Eficiência energética promovida pela micro-cogeração;

Figura 4.1 - Dados técnicos do Dachs micro-CHP®;

Figura 4.2 - Cálculo do valor dos tributos para a importação do equipamento;

Figura 4.3 - Funcionamento de um Gas Heat Pump;

Figura 4.4 - Diagrama esquemático de um GHP;

Figura 4.5 - Dados presentes no datasheet do GHP da Sanyo/Panasonic;

Figura 4.6 - Diagrama esquemático de um GHP Power;

Figura 4.7 - Geração elétrica pelo ECO G Power, conforme comportamento do Sistema de AC;

Figura 4.8 - Dados técnicos para o ECO G Power.

LISTA DE TABELAS

- Tabela 2.1 - Características dos motores a Diesel e de ignição por centelha;
- Tabela 2.2 - Descrição das tecnologias de célula combustível existentes;
- Tabela 2.3 - Balanço energético para as tecnologias de micro-cogeração;
- Tabela 2.4 - Geração de energia elétrica no Brasil;
- Tabela 3.1 - Cenários para o futuro da matriz energética japonesa;
- Tabela 3.2 - Incentivos e políticas de suporte a cogeração e micro-cogeração;
- Tabela 3.3 - Incentivos propostos pela “Lei da cogeração” alemã;
- Tabela 3.4 - Quantidade de residências atendidas pelo gás natural encanado;
- Tabela 3.5 – Legislação sobre a Cogeração;
- Tabela 4.1 - Valores cobrados pelo m³ de gás natural para o seguimento residencial, conforme deliberação n° 534 da ARSESP;
- Tabela 4.2 – Valores cobrados pelo m³ de gás natural para o seguimento residencial, conforme deliberação n° 575 da ARSESP;
- Tabela 4.3 – Tarifa de energia elétrica para Grupo B;
- Tabela 4.3 - Tabela de demandas por equipamento para a residência analisada;
- Tabela 4.4 - Cálculo do gasto da residência analisada com energia elétrica, sem sistema de cogeração;
- Tabela 4.5 - Memória de cálculo do consumo de gás para cogeração com exportação, segundo resolução Arsesp n° 534;
- Tabela 4.6 - Memória de cálculo do consumo de gás em operação híbrida, segundo resolução Arsesp n° 534;
- Tabela 4.7 - Nova lista de demanda por equipamento para a residência analisada;
- Tabela 4.8 - Cálculo do gasto da residência analisada com energia elétrica, sem sistema híbrido;
- Tabela 4.9 - Memória de cálculo do consumo de gás com utilização do GHP, segundo resolução Arsesp n° 534;
- Tabela 4.10 - Memória de cálculo do consumo de gás com utilização do GHP Power, segundo resolução Arsesp n° 534;
- Tabela 4.11 - Consumo anual pela residência com energia elétrica, utilizando-se do GHP Power.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1 - Curva do consumo de energia elétrica pela família considerada, ao longo do dia;

Gráfico 4.2 - Curva de consumo de água pela família considerada;

Gráfico 4.3 - Consumo de energia, sem a utilização do ar condicionado;

Gráfico 4.4 - Geração x consumo de energia elétrica, com a utilização do ECO G Power.

LISTA DE ABREVIASÕES E SIGLAS

AFC	Alkaline Fuel Cell
ANP	Agência Nacional do Petróleo
EEP	Economia de Energia Primária
FUE	Fator de Utilização de Energia
GEE	Gases do Efeito Estufa
MCFC	Molten Carbonate Fuel Cell
MCI	Motor de Combustão Interna
PAFC	Phosphoric Acid Fuel Cell
PEFC	Proton-exchange Fuel Cell
PEMFC	Proton exchange membrane fuel cell ou Polymer electrolyte membrane fuel cell
PEV	Plantas Energéticas Virtuais
SOFC	Solid oxide fuel cells

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. OBJETIVO	1
1.2. MOTIVAÇÃO	1
1.3. JUSTIFICATIVAS	2
2. ESTADO DA ARTE	4
2.1. CONCEITO DE COGERAÇÃO RESIDENCIAL	4
2.2. EQUIPAMENTOS E TECNOLOGIAS EMPREGADOS	8
2.2.1. MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA	8
2.2.2. CÉLULAS COMBUSTÍVEIS	12
2.2.3. MOTORES STIRLING	22
2.2.4. MICROTURBINAS	26
2.3. CONFIGURAÇÕES BÁSICAS E BALANÇO ENERGÉTICO	28
2.4. FATOR DE UTILIZAÇÃO DE ENERGIA	33
2.5. COMBUSTÍVEIS APLICADOS	34
2.6. PRINCIPAIS FABRICANTES	38
2.6.1. HONDA	38
2.6.2. PANASONIC	39
2.6.3. VIESSMANN	41
2.6.4. BDR THERMEA	42
2.6.5. MICRO TURBINE TECNOLOGY	44
3. A COGERAÇÃO RESIDENCIAL	46
3.1. APLICAÇÕES NO EXTERIOR	46
3.2. POTENCIAL NO BRASIL	53
3.3. SISTEMA NET METERING (SISTEMA DE COMPENSAÇÃO)	57
3.4. LEGISLAÇÃO BRASILEIRA	59
3.5. BENEFÍCIOS, BARREIRAS E OPORTUNIDADES	65
4. ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA	68
4.1. OPERAÇÃO EM ILHA	74
4.2. OPERAÇÃO HÍBRIDA	84
4.3. ALTERNATIVA TECNOLÓGICA – GHP	89
5. CONCLUSÕES	104
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	108

1. INTRODUÇÃO

1.1. OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho pretende analisar os diferentes tipos de micro-cogeração disponíveis ou em desenvolvimento, dissertando sobre cada uma das tecnologias, mostrando suas vantagens, desvantagens e seus rendimentos energéticos.

O trabalho ainda irá realizar uma avaliação financeira sobre a micro-cogeração no Brasil, verificando se já há viabilidade deste tipo de alternativa para geração de energia elétrica no país.

1.2. MOTIVAÇÃO

Os primeiros sistemas elétricos no Brasil e no mundo datam da primeira década do século XX, onde não haviam grandes empreendimentos de geração de energia e, portanto, a produção era totalmente descentralizada. Com a chegada desses grandes empreendimentos, os países passaram a ter a produção centralizada por diversas décadas.

A evolução na sociedade e em consequência nas cidades gerou um impacto enorme na geração de energia, mas o que mais impactou neste quesito foi a evolução econômica dos países, uma vez que seu crescimento é completamente dependente da oferta de energia elétrica. As sociedades então passaram a perceber que depender apenas dos grandes empreendimentos geradores de energia seria um risco enorme então aliando a busca por fontes alternativas de geração de energia, passou-se a investir na geração descentralizada de eletricidade.

A motivação da sociedade para que pudesse desenvolver e aperfeiçoar essa tecnologia é então explicada pelos primeiros parágrafos, já a motivação deste trabalho se deu na observação do enorme potencial energético da cogeração, tecnologia que tem rendimento muito alto, aliado com a tendência em que o Brasil

vêm passando, onde começamos a dar os primeiros passos em direção a comercialização de energia elétrica por pequenos produtores através de Net Metering, ou seja, o excedente de energia destes pequenos produtores pode ser exportado à rede da concessionária local em troca de abatimentos em sua conta de energia elétrica.

Outro motivo que gerou o interesse no tema em que irei discorrer foi gerado pela atual situação econômica e energética brasileira. A falta de planejamento e cuidado com a nossa principal matriz energética, a hidrelétrica, fez com que hoje precisássemos estancar o sangramento que é a demanda energética brasileira, fazendo despachos de termelétricas, estar por sua vez suprem de certa forma a necessidade, porém à um custo para a população: o aumento nas tarifas de eletricidade.

Ao se estudar o tema desta monografia, aliado as aulas que me foi ministrada no curso em questão, pude perceber o grande potencial presente na cogeração, de um ponto de vista macro, porém o enorme potencial que temos na micro-cogeração, que olha a situação de um ponto de vista micro. Não é de se espantar que as grandes nações mundiais já identificaram e estão investindo pesado nesta tecnologia, possuindo uma considerável base instalada, como poderemos ver no decorrer desta monografia e em seu final, poderemos analisar se hoje já é viável a instalação desta tecnologia na residência do brasileiro, seja ele de classe baixa, média ou alta, podendo assim tentar fazer uma perspectiva de qual poderá ser o futuro no país.

1.3. JUSTIFICATIVAS

As justificativas para o tema em sua grande maioria já foram mostradas nas motivações para realizar essa pesquisa. Porém a maior delas se dá na atual situação do setor energético no país que vem passando por dificuldades e o constante ameaça do “apagão”.

No decorrer deste trabalho, diversas justificativas técnicas são apresentadas para que o país considere a utilização deste tipo de tecnologia, que poderia ajudar o país a sair desta situação, deixando nossa matriz energética muito mais diversificada e distribuída.

A noção de que a micro-cogeração poderia ser uma alternativa viável tecnicamente já era tida, porém ao final desta monografia, pude comprovar que é notório o ganho obtido através desta tecnologia, porém diversos entraves, políticos e econômicos, acabam por minar o setor.

2. ESTADO DA ARTE

2.1. CONCEITO DE COGERAÇÃO RESIDENCIAL

Para podermos tratar sobre a cogeração residencial, se faz necessário mencionar que a cogeração, segundo a COGEN (Associação da Indústria de Cogeração de Energia), se trata da produção simultânea e de forma sequenciada de duas ou mais formas de energia à partir de um único combustível, sendo o processo mais comum é a produção de eletricidade e energia térmica, utilizando o gás natural e/ou a biomassa como combustíveis.

Os sistemas de cogeração podem ser configurados para privilegiar primariamente a geração de energia elétrica e então seu ciclo é chamado de Ciclo Topping de Cogeração, já a configuração utilizada para que a geração de calor seja privilegiada em relação à energia elétrica tem seu ciclo chamado de Ciclo Bottoming de Cogeração.

A cogeração residencial advém do conceito de micro-cogeração e esse por sua vez está ligado ao conceito de geração distribuída, cuja definição é apresentada por Dias, Borotni e Haddad em sua publicação na Revista Brasileira de Energia (2005, Vol 11, n°2):

“Também chamada de geração descentralizada, existem diversas definições relacionadas ao conceito de geração distribuída, como revisa El-Khattan e Salama, 2004. Segundo Ackermann, 2001, por exemplo, a geração distribuída pode ser definida como uma fonte de geração conectada diretamente na rede de distribuição ou ao consumidor. O autor nesse mesmo trabalho, divide a geração distribuída em função da potência em Micro (até 5kW), Pequena (de 5kW a 5MW), Média (de 5MW a 50MW) e Grande (de 50MW a 300MW), valores que consideram a realidade americana. No Brasil, a geração distribuída é geralmente limitada superiormente por uma potência instalada de 30MW ou de 50MW, dependendo do autor. Existem situações, entretanto, que mesmo sistemas com potências maiores poderiam ser considerados geração distribuída.”

A micro-cogeração então estaria, segundo os critérios adotados acima, posicionada na faixa de geração até 5kW. Diversos outros autores e entidades adotam outras faixas para tais caracterizações, de acordo com a União Europeia (Diretiva 2004/8/CE, artigo 3, item m), define a unidade de micro-cogeração como sendo “uma unidade de cogeração cuja capacidade máxima seja inferior a 50kWe”. Nesta monografia, consideraremos o conceito adotado pela Diretiva da UE.

Isso significa que sistemas de aquecimento e/ou produção de água quente possam ser substituídos por sistemas com geradores elétricos e trocadores de calor para que este, que era antes desperdiçado, agora possa ser aproveitado. Esse calor é utilizado para aquecimento de ambientes, aquecimento de água e também no resfriamento/climatização de ambientes através de equipamentos chamados de Chillers de Absorção. Já a energia elétrica gerada é consumida na residência/local de aplicação do sistema de cogeração e seu excedente pode ser jogado na rede local e com isso conseguir abatimentos na conta de energia.

Na Europa central, que estão na vanguarda desta tecnologia, os produtos da micro-cogeração são para basicamente aplicações térmicas, provendo aquecimento de ambientes e água quente para residências, como um boiler convencional. Porém, diferentemente de um boiler, um sistema de micro-cogeração gera eletricidade juntamente com o calor com altos níveis de eficiência e corrobora com economias em combustíveis para a geração desse calor, diminuindo também as emissões dos GEE pela residência e ainda diminui os gastos com eletricidade. A grande maioria destes sistemas operam numa configuração em “paralelo” com a rede da concessionária, para que esta possa continuar recebendo parte da energia elétrica necessária para o seu funcionamento ou ainda exportar seu excedente na produção de energia elétrica para esta rede (SIMADER, G. R., KRAWINKLER, R., TRNKA, G., 2006).

Para a cogeração residencial, existem parâmetros a serem analisados para se avaliar a sua viabilidade, e são esses:

- a) Baixo custo;
- b) Tamanho e volume compactos;
- c) Fácil instalação;

- d) Operação automatizada, sem que haja a necessidade de manutenções rotineiras.

Dependendo do perfil de carga, uma relação apropriada de calor-energia deve ser selecionada baseada na demanda. Por exemplo, um sistema com elevada relação calor-energia não será apropriado para uma residência que tem uma elevada carga elétrica. Hoje em dia, as residências europeias (onde temos a maior base de pesquisa e a maior base instalada para residências utilizando-se da cogeração) possuem isolamento térmico muito eficiente e então passam a ter maior demanda por energia elétrica do que por calor, quando comparado com a necessidade no passado.

Assim, no geral, relações ainda menores de relação calor-energia serão requeridas no futuro. Além disso, a produção de calor excedente, se necessário, pode ser suprido por caldeiras a gás que se tornaram muito eficientes nos últimos anos. Portanto é dado foco primariamente a sistemas que demonstram alta eficiência elétrica, ao invés de alta eficiência térmica (ARSALIS, 2011).

Diversas tecnologias foram desenvolvidas para aplicações em sistemas de micro-cogeração, como sistemas com motores à combustão interna, motores stirling, micro-turbinas à gás, células combustíveis. Estas serão melhor detalhadas quando formos tratar dos equipamentos e tecnologias empregadas nos sistemas de cogeração residencial.

Abaixo na figura 2.1 está ilustrado um esquema de cogeração residencial, e nessa podemos observar que se trata de um sistema com alta relação calor-energia.

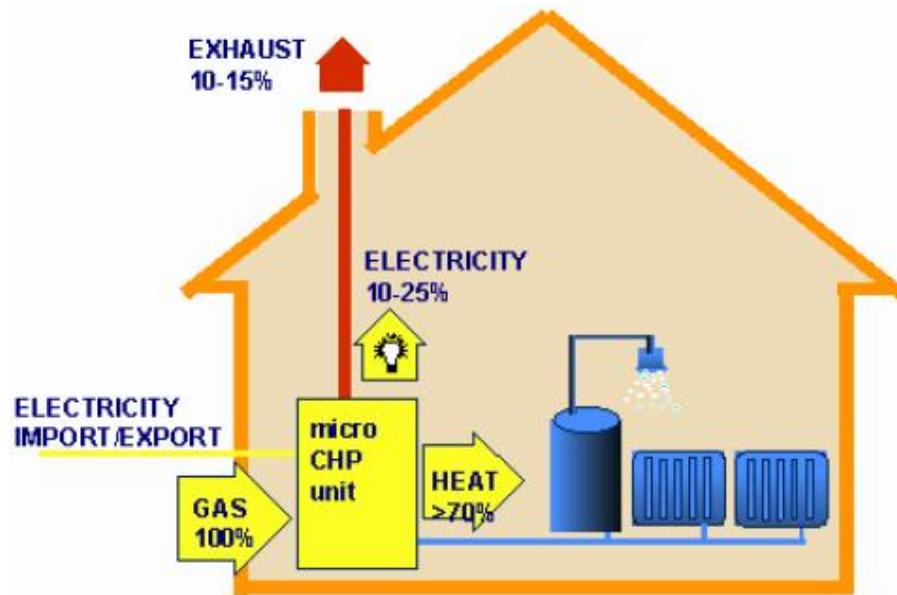


Figura 2.1 – Esquema de uma instalação de micro-cogeração residencial com foco no suprimento de calor. Fonte: COGEN EUROPE, 2014.

2.2. EQUIPAMENTOS E TECNOLOGIAS EMPREGADOS

As diversas tecnologias utilizadas nos processos de cogeração podem ser também aplicadas em projetos de micro-cogeração, porém algumas delas estão ainda em fase de desenvolvimento e adaptação dessas tecnologias para os ambientes residenciais. Podemos relacionar então as seguintes tecnologias: microturbinas, motores de combustão interna, células de combustível, motores Stirling ou ainda podemos ter os sistemas híbridos.

Em geral, os micro-cogeradores são multi-combustíveis, funcionam com uma grande gama de combustíveis gasosos (gás natural, biogás, GLP, propano, butano, etc), líquidos (gasolina, diesel e biodiesel), sólidos (carvão, lenha) e renováveis (fontes geotermais) (SILVA NETO, G.,P., 2014).

Hoje, podemos verificar uma predominância na utilização de GLP como combustível para os sistemas de micro-cogeração nos mercados europeus, essa utilização corrobora com uma menor emissão dos GEE (CO_2 , CH_4 e outros).

2.2.1. MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA

Equipamento similar aos utilizados nos automóveis, porém quando utilizados para produção simultânea de calor e eletricidade, este encontra-se acoplado ao eixo de um gerador elétrico, bem como a um outro equipamento que possa aproveitar o calor proveniente da combustão realizada neste motor, para os mais diversos propósitos, seja um chiller de absorção para sistemas de climatização e ar condicionado de uma edificação, sejam trocadores de calor para o sistema de calefação, ou os mesmos para geração de água quente.

Os MCIs podem ser divididos em:

2.2.1.1. MOTORES CICLO DIESEL

Também conhecidos por motores de ignição por compressão. A maioria dos motores Diesel usados para processos de cogeração são motores a quatro

tempos em que o seu ciclo operativo é composto por quatro fases: admissão, compressão, combustão e exaustão.

Durante a primeira fase, a válvula de admissão encontra-se aberta e é admitido ar puro no cilindro. Na segunda fase, com ambas as válvulas fechadas, o ar dentro do cilindro é comprimido por ação do pistão, fazendo com que a temperatura do ar suba até aproximadamente 400°C. Em seguida, o combustível é injetado, inflamando-se instantaneamente no contato com a alta temperatura do cilindro. A injeção (e a combustão) continua durante o ciclo de descida do pistão. E por último, a válvula de escape abre-se permitindo que os gases provenientes da combustão sejam descarregados para a atmosfera, através do sistema de exaustão (LIMA, 2009).

Os motores Diesel levam vantagem em relação ao outro tipo de MCI (Otto), utilizado nos processos de micro-cogeração, quanto a razão potência elétrica-potência térmica, e ainda possuem faixas maiores de potência, podendo chegar até aos 10MW_e.

Nos últimos anos tem-se assistido na Europa, a uma tendência para usar biodiesel como combustível, dada a sua excelente biodegradabilidade e baixa toxicidade (LIMA, 2009). O Brasil vem seguindo essa tendência, passando a investir pesado na produção dos biocombustíveis, o que no futuro poderá ser muito interessante para o tema central dessa monografia.

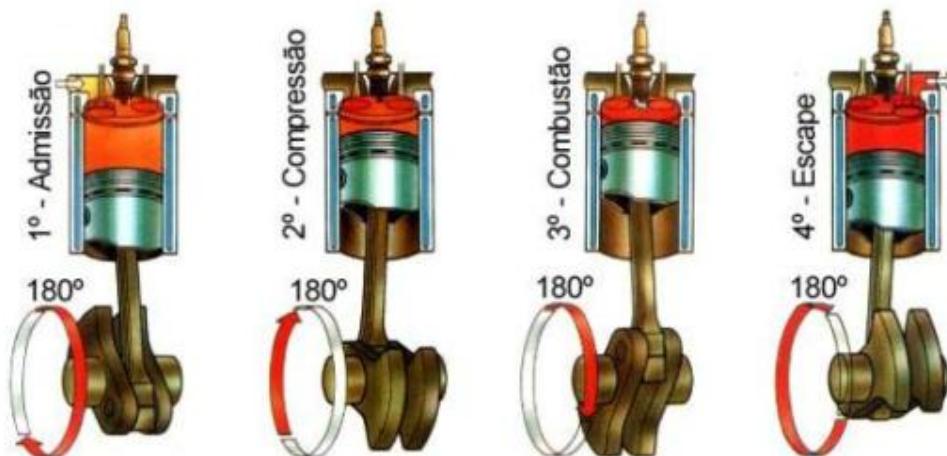


Figura 2.2 – Fases do funcionamento de um motor à combustão interna do tipo DIESEL.

Fonte: PEREIRA, 2009. p.21

2.2.1.2. MOTORES CICLO OTTO

O princípio de funcionamento deste tipo de motor segue o do Diesel, porém seguem o ciclo termodinâmico de Otto, tendo sua combustão iniciada por uma descarga elétrica com alta tensão (centelha) dentro da câmara de combustão.

Durante a primeira fase, ocorre a admissão da mistura de ar com o combustível. O pistão desce e a válvula de admissão é aberta, possibilitando a entrada da mistura. Na segunda fase ocorre a compressão, estando as válvulas fechadas, o pistão sobe e comprime a mistura ar-combustível. Na terceira fase ocorre a explosão, quando o pistão atinge o ponto de compressão máximo uma descarga elétrica é provocada pela vela, resultando na explosão do combustível e empurrando o pistão para baixo. Na quarta e última fase ocorre a exaustão, a válvula de escape está aberta e possibilita a expulsão dos gases resultantes da combustão interna.

Os motores de combustão interna operam com menor excesso de ar, quando comparados com as turbinas a gás, gerando temperaturas de combustão mais elevadas, e consequentemente ao aparecimento de NOx devido à oxidação do nitrogênio contido no ar. Seu rendimento elétrico em sistemas de micro-cogeração depende diretamente da potência do sistema, sendo em casos abaixo de 15kW, o rendimento desse sistema geralmente não excede os 26% (LIMA, 2009).

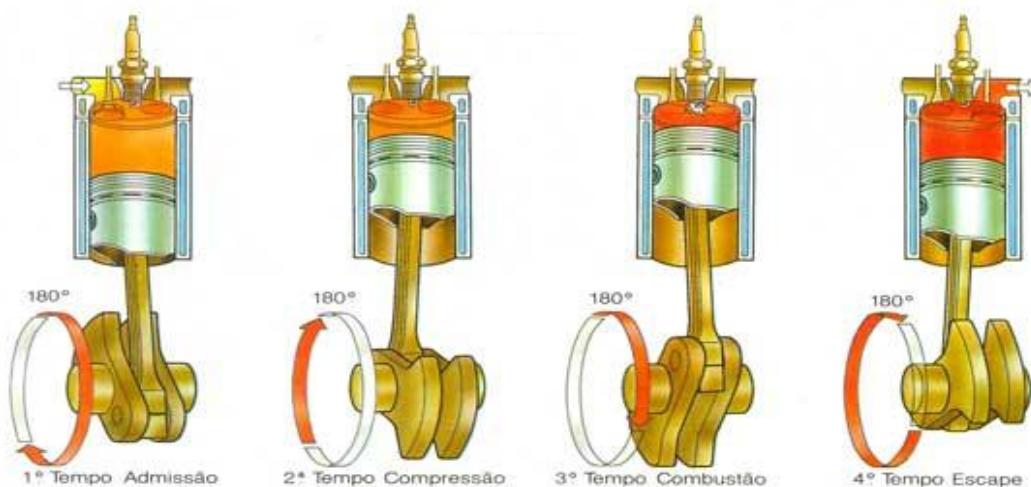


Figura 2.3 – Ciclos do funcionamento de um motor à combustão interna do tipo OTTO. Fonte: brunobonfimlopes.blogspot.com.br.

A tabela 2.1 a seguir resume algumas características dos MCIs, considerando também sua utilização em projetos de micro-cogeração:

Tabela 2.1 – Características dos motores a Diesel e de ignição por centelha.

Fonte: SIMADER, G. R., KRAWINKLER, R., TRNKA, G., 2006. p. 6.

	Ciclo termodinâmico	Combustível	Eficiência		Faixa de Potência
			Global	Elétrica	
Motor Diesel	Ciclo DIESEL	Gás, Biogás, ELFO*), LFO**), HFO***), óleos vegetal, RME****)	65 - 90	35 - 45	5kW a 20MW
Motor de Ignição por Centelha	Ciclo OTTO	Gás, Biogás, nafta	70 - 92	25 - 43	3kW a > 6MW
Custo de investimento médio em €/kW (motor Diesel)			340 - 2000		
Custo de investimento médio em €/kW (motor de ignição por centelha - gás)			450 - 2500		
Custos de operação em manutenção em €/kW			0.0075 - 0.0015		

*) Extra Light Fuel Oil, **) Light Fuel Oil, ***) Heavy Fuel Oil, ****) Rapeseed methyl ester

2.2.2. CÉLULAS COMBUSTÍVEIS

Durante a década de 2000 as células combustíveis foram alvo dos departamentos de Pesquisa & Desenvolvimento de diversas indústrias. Surgiram então 5 diferentes tecnologias, porém duas delas são as dominantes entre as demonstrações durante a fase de desenvolvimento, bem como agora nos inícios das implantações.

A tecnologia da célula combustível é baseada no princípio da conversão direta de energia eletroquímica, não há combustão como nos MCIs e não existe produção de energia mecânica antes da produção de energia elétrica.

As células combustíveis são comparáveis com as baterias que utilizamos em nosso dia-a-dia, tendo a sua diferença para tais, que as células combustíveis não se esgotam.

Essa tecnologia consiste basicamente na presença de dois eletrodos chamados de anodo e cátodo, separados por um eletrólito, com a entrada do combustível e do elemento oxidante são colocados na pilha de células combustível são adicionados então no anodo e no catodo, respectivamente. A reação química gera então eletricidade, bem como produz tipicamente água numa temperatura maior do que os reagentes.

Na tabela 2.2 abaixo, descreveremos as 5 tecnologias que foram desenvolvidas, bem como na figura 2.4 veremos como operam essas 5 diferentes tecnologias de células combustível.

Tabela 2.2 – Descrição das tecnologias de célula combustível existentes.
(Arsalis, 2011).

	PEFC	PAFC	AFC	MCFC	SOFC
Eletrólito	Membrana polimérica	H ₃ PO ₄ líquido	KOH líquido	Carbonato fundido	Cerâmica
Ion móvel	H ⁺	H ⁺	OH ⁻	CO ₃ ²⁻	O ²⁻
Temperatura de operação	60-200°C	205°C	65-220°C	650°C	600-1000°C
Catalisador	Platina	Platina	Platina	Níquel	Níquel
Material da célula	À base de Carbono	À base de Carbono	À base de Carbono	À base inoxidável	À base de Cerâmica
Combustível utilizado	H ₂ , CH ₃ OH	H ₂	H ₂	H ₂ , CH ₄	H ₂ , CO, CH ₄

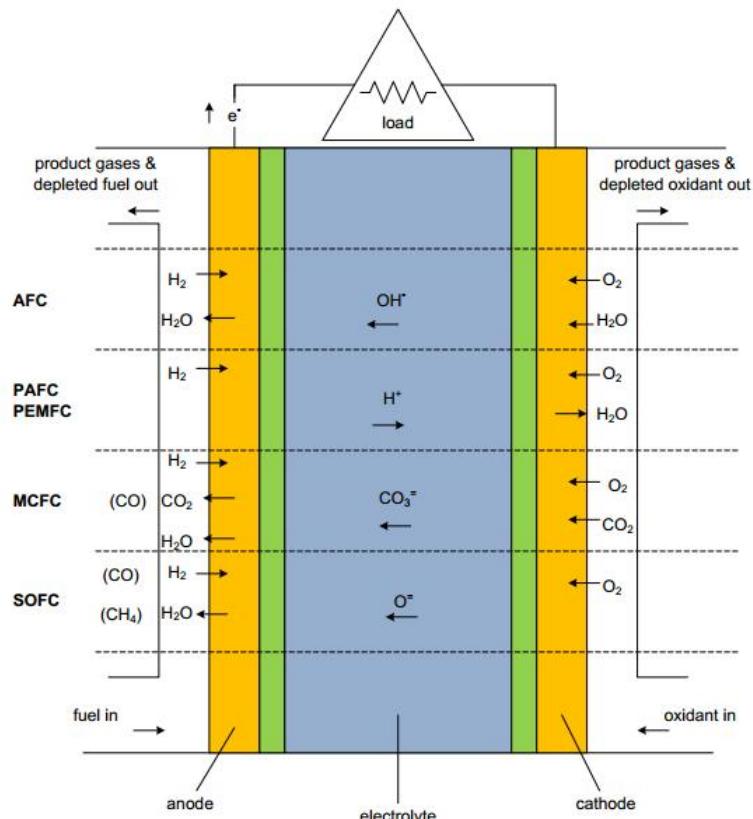


Figura 2.4 – Esquema do princípio de funcionamento dos diferentes tipos de célula combustível. Fonte: BARBIR, 2005.

Os quatro tipos de tecnologias em células combustível, de acordo com o seu eletrólito estão demonstradas na figura 2.5 abaixo, de acordo com as diferentes temperaturas de operação e eficiência na geração de energia elétrica.

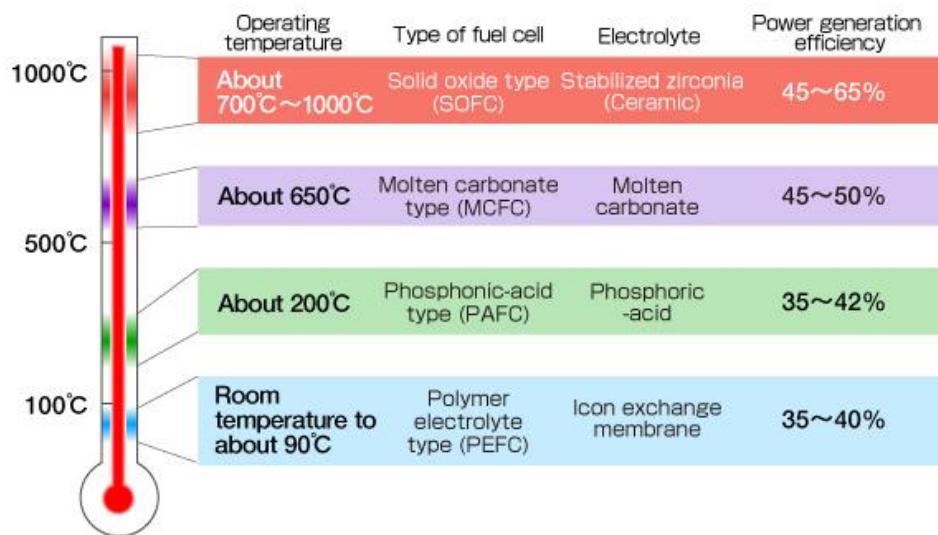


Figura 2.5 – Tipos de tecnologia em célula combustível de acordo com eficiência energética e temperatura de operação. Fonte: OSAKA GAS, 2012.

2.2.2.1. PEFC

A PEFC ou PEMFC tem sido considerada com a alternativa com maior viabilidade dentre todas as tecnologias de célula combustível perante os MCIs, isso se dá pelo fato dela trabalhar com temperaturas baixas de operação (entre 30°C e 100°C) e como o único líquido nesta célula é a água, temos menores problemas e desgastes pela corrosão, o que a torna num produto com maior durabilidade.

O princípio de funcionamento de uma célula combustível do tipo PEFC é conforme mostrado na figura 2.6:

1 – O hidrogênio (H_2) se divide em elétrons (e^-) e íons de hidrogênio (H^+) através da presença do catalisador (Platina) que reveste um dos lados do eletrodo.

2 – Os elétrons separados do hidrogênio se movimentam para o anodo através de um circuito externo. Tal movimentação forma corrente elétrica.

3 – Os íons de hidrogênio (H^+) movem-se pela membrana do eletrólito que separa os eletrodos, em direção ao anodo.

4 – Os elétrons e os íons de hidrogênio chegam até o anodo pelos caminhos 2 e 3, conforme figura 2.6, reagindo com o oxigênio presente lá, para a produção de água.

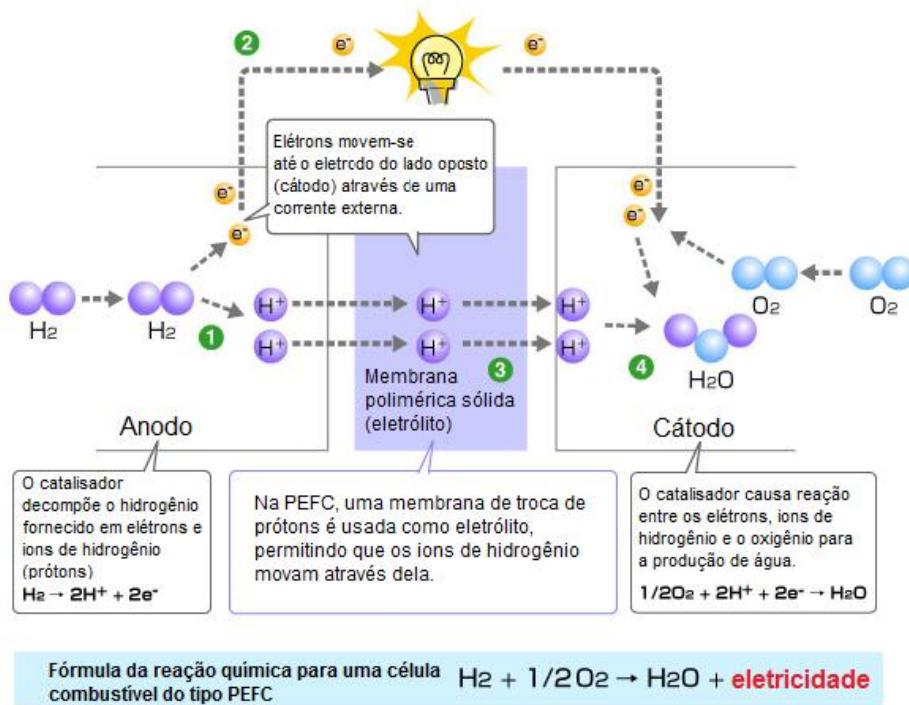


Figura 2.6 – Princípio de funcionamento de uma célula combustível do tipo PEFC. Fonte: OSAKA GÁS (2012).

Uma análise mais detalhada na figura 2.6 é mostrada na figura 2.7, nela é observado sua divisão em: Separador, Camada de difusão de gás, membrana eletrolítica e Camada do catalisador.

O separador, além de dar a aparência de uma pilha de placas conforme as células combustíveis são combinadas, forma a passagem do gás, delimitando o anodo e cátodo.

A camada de difusão do gás homogeneíza o seguimento de gás para a camada do catalisador e controla o fluxo de água para manter o teor de água de adequação da célula combustível.

A membrana eletrolítica permite com que os íons de hidrogênio permeiem através dela, se dirigindo então para o cátodo.

A camada do catalisador possui Platina, substância que acelera a reação química em ambos os eletrodos (anodo e cátodo).

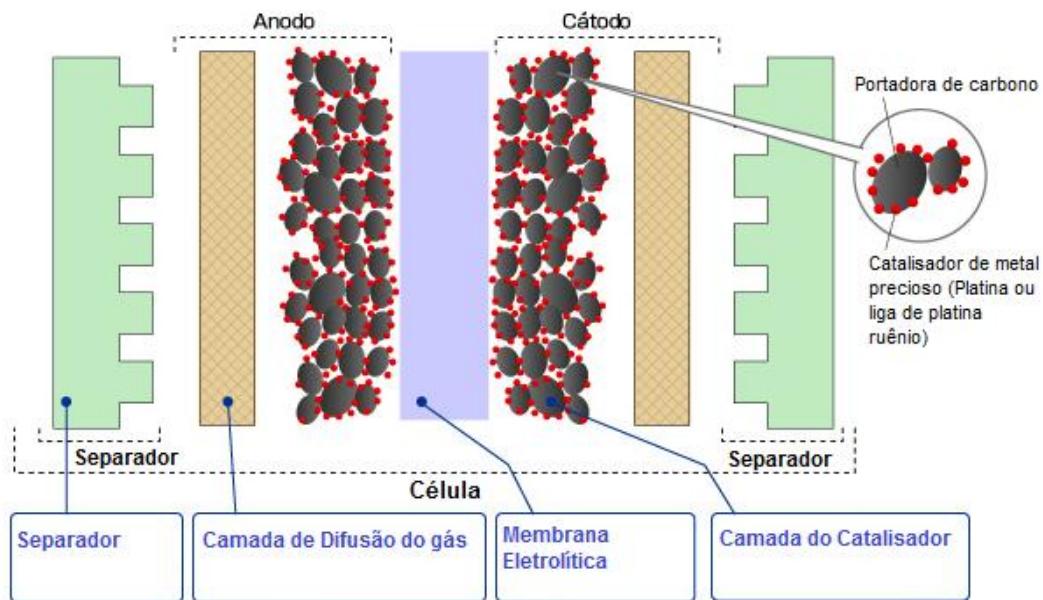


Figura 2.7 – Detalhamento de uma célula combustível do tipo PEFC.

Fonte: OSAKA GÁS, 2012.

Na figura 2.8 abaixo, podemos verificar um diagrama que demonstra o funcionamento de um sistema de cogeração residencial utilizando a tecnologia PEFC.

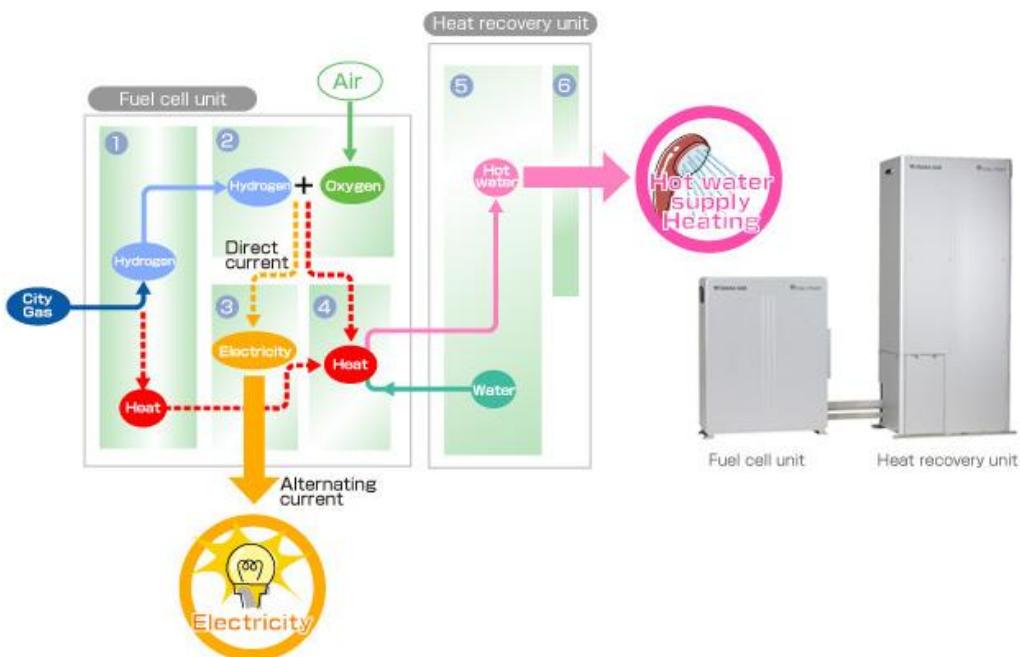


Figura 2.8 – Diagrama de uma instalação de cogeração residencial à célula combustível. Fonte: OSAKA GAS, 2012.

Os itens de 1 a 4 estão presentes internamente da unidade de célula combustível (Fuel cell unit), já os itens 5 e 6 estão internamente da unidade de recuperação de calor (Heat recovery unit) e serão melhor detalhados a seguir:

1 – Sistema de processamento de combustível: parte do processo em que recebe o gás natural da concessionária e extraí o hidrogênio dele.

O gás natural proveniente da concessionária deve possuir segundo resolução N° 16 de 17 de Junho de 2008 da ANP, mínimo de 85,0% mol de Metano (CH_4) em sua composição. Esse gás passa então por um processo de desulfurização (processo onde há a remoção de enxofre que compõe o gás natural, odorizante esse que é adicionada no gás por razões de segurança, para reconhecimento de vazamento, uma vez que o metano é inodoro). Então há a reforma deste combustível, processo onde há a transformação do metano em

hidrogênio (H_2), gás carbônico (CO_2) e uma pequena quantidade de monóxido de carbono (CO), ao fazer o metano reagir com vapor d'água num catalisador (baseados em Níquel ou Rutênio). O próximo passo é fazer a conversão do monóxido de carbono produzido na reforma em hidrogênio e dióxido de carbono ao reagi-lo com vapor d'água. E o último passo é a redução da concentração de monóxido de carbono, oxidando-o com o ar.

O resultado desse processo é o gás hidrogênio reformado e pronto para sua utilização na unidade de célula combustível.

2 – Células combustível: Faz a geração de corrente contínua utilizando hidrogênio e oxigênio.

3 – Inversor de frequência: Converte a corrente contínua em corrente alternada, que poderá então ser utilizada para o funcionamento dos equipamentos elétricos residenciais.

4 – Trocadores de calor: Recuperam o calor da pilha de células o do processamento de combustível, para produção de água quente.

5 – Recuperadores de calor: Armazenam água quente e a fornecem conforme a demanda de água quente e aquecimento.

6 – Boiler reserva: Se a quantidade de água quente no tanque de armazenamento não é suficiente, é feito a queima de gás natural da concessionária para complementação do aquecimento desta água.

2.2.2.2. SOFC

Essa célula combustível emprega o uso de metal denso óxido ou cerâmico como material para o eletrólito. Seu princípio de funcionamento se dá na geração de energia através da utilização de oxigênio (O_2) presente no ar e hidrogênio (H_2) e monóxido de carbono (CO) produzidos do gás natural da concessionária.

Abaixo podemos verificar o princípio de funcionamento de uma célula combustível do tipo SOFC através da figura 2.9:

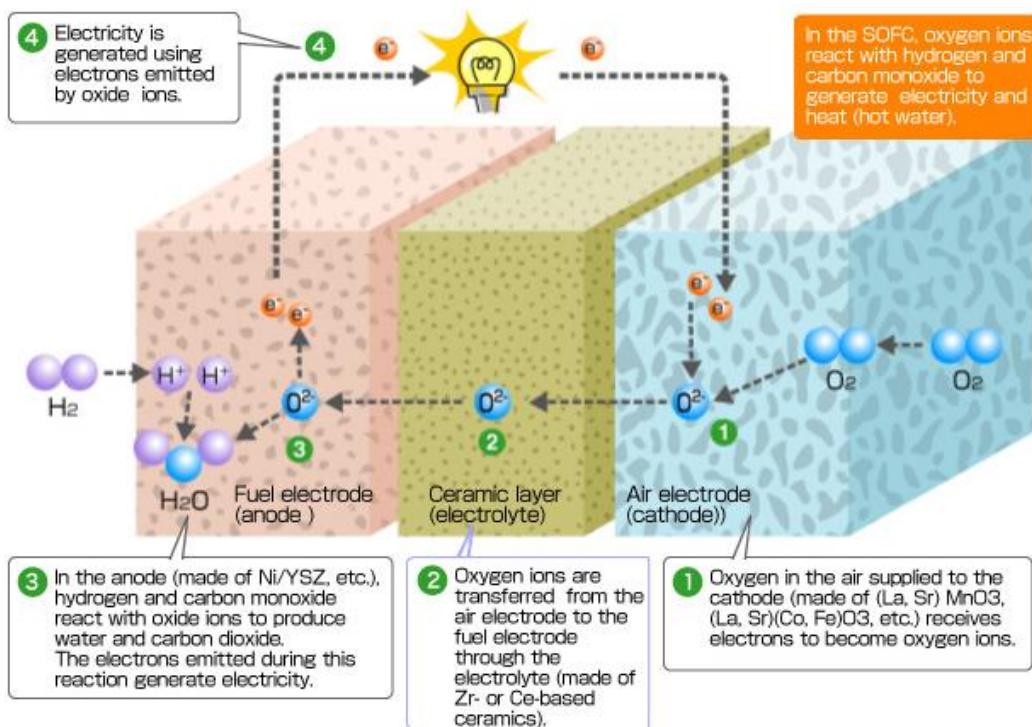


Figura 2.9 - Princípio de funcionamento de uma célula combustível do tipo SOFC. Fonte: OSAKA GÁS (2012).

Conforme mostrado na figura anterior, podemos descrever os passos para a geração de energia e calor nessa célula combustível:

- 1 – O oxigênio presente no ar fornecido para o cátodo (feito de (La, Sr) MnO₃, (La, Sr)(Co, Fe)O₃, etc) recebe elétrons para se tornar íons de oxigênio.

2 – Os ions de oxigênio são transferidos do cátodo para o anodo através do eletrólito (feito de Zr⁺ ou de cerâmicas baseadas no Cério – Ce).

3 – No anodo (feito de Ni/YSZ, etc), o hidrogênio e o monóxido de carbono reagem com os ions óxidos para produzir água e dióxido de carbono. Os elétrons emitidos durante essa reação geram então a eletricidade.

4 – A eletricidade é gerada usando os elétrons emitidos pelos ions óxidos, que os cedem para a formação de água conforme o item 3.

Graças a sua temperatura de operação que fica entre 500°C e 1000°C, essa célula usufrui de um alto grau de flexibilidade de processamento de combustível, podendo operar diretamente com hidrogênio ou reforma de diferentes misturas de combustíveis para extrair o hidrogênio. Esse processo pode se realizar interna ou externamente. Além disso, essa flexibilidade junto com a alta temperatura de operação favorece as altas eficiências e custos reduzidos, pois torna um sistema mais compacto e tira a dependência de materiais nobres e caros para a construção. Por outro lado, associado a isso há um longo tempo de partida e problemas relacionados aos componentes submetidos as altas temperaturas (BARROSO, 2011).

Como resultado de operação em altas temperaturas, o calor necessário para a reação da reforma do gás natural é obtido do calor produzido durante a geração da energia. Isso resulta em uma alta eficiência na geração de energia elétrica.

A tecnologia para as células combustíveis do tipo SOFC estão em fase final de desenvolvimento e está em fase de testes de implementação no Japão.

2.2.3. MOTORES STIRLING

O motor Stirling é um motor alternativo o qual funciona através de pistões que trabalham internamente a cilindros num movimento linear. Tal movimento é transferido para um virabrequim em movimento rotativo através de uma haste de pistão, cruzeta e a biela, na mesma maneira que um motor de combustão interna do tipo Otto ou Diesel. A diferença principal entre o motor Stirling e o motor Otto/Diesel é o ciclo de combustão (ÖBERG, OLSSON, PÅLSSON, 2004).

Sua operação é dada através de um ciclo termodinâmico regenerativo e nele o fluido de trabalho sofre compressão e então se expande, quando exposto à uma fonte quente e uma fonte fria. Esse gradiente de temperatura permite então a troca de calor e esse movimento de expansão/compressão.

O princípio de funcionamento do motor Stirling se dá em um ciclo termodinâmico em 4 fases:

1. Compressão isotérmica;
2. Aquecimento isométrico;
3. Expansão isotérmica;
4. Resfriamento isométrico.

Este trata-se de um ciclo idealizado, no ciclo real as fases de compressão e expansão não são realmente isotérmicos, ocasionam a uma redução do trabalho produzido pelo motor.

As vantagens do motor Stirling, perante os motores de ciclo Otto/Diesel são: a menor emissão de poluentes, devido a combustão contínua e não intermitente, o que permite uma queima mais completa e eficiente do combustível; rendimentos que chegam a até 45%, porém ainda quando utilizado em um sistema de cogeração, o rendimento elétrico não alcança os níveis de outros tipos de tecnologia.

Existem 3 configurações para este tipo de motor e são elas:

2.2.3.1. MOTOR STIRLING ALFA

Tal configuração é constituída por dois cilindros independentes, nela, o pistão quente é responsável pelo movimento mecânico decorrente da variação de pressão e vácuo interno do motor.

Na figura 2.10 podemos verificar uma das possíveis montagens (em 90°) para um motor stirling alfa:

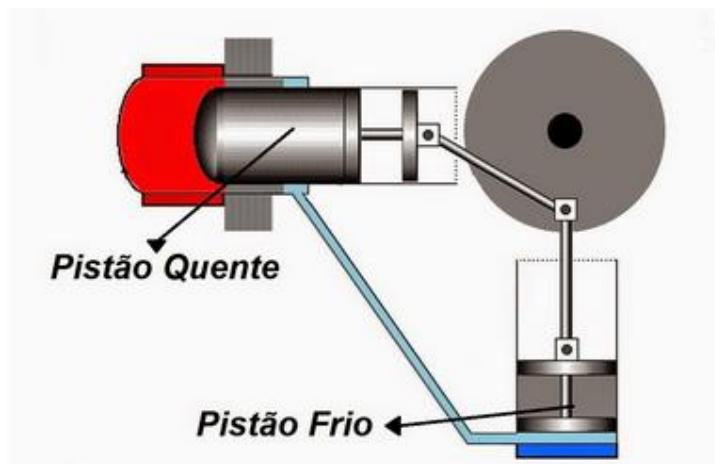


Figura 2.10 – Motor Stirling alfa em 90°.

Fonte: <http://manualdomotorstirling.blogspot.com.br/>

2.2.3.2. MOTOR STIRLING BETA

Tal configuração constitui de apenas um cilindro e dois pistões em linha. O pistão interno desloca o fluido de trabalho (ar atmosférico) entre as câmaras quente e fria, já o pistão de trabalho faz com que o pistão interno seja mantido suspenso e assim gerando o trabalho do motor.

Na figura 2.11 podemos verificar a configuração de um motor stirling beta:

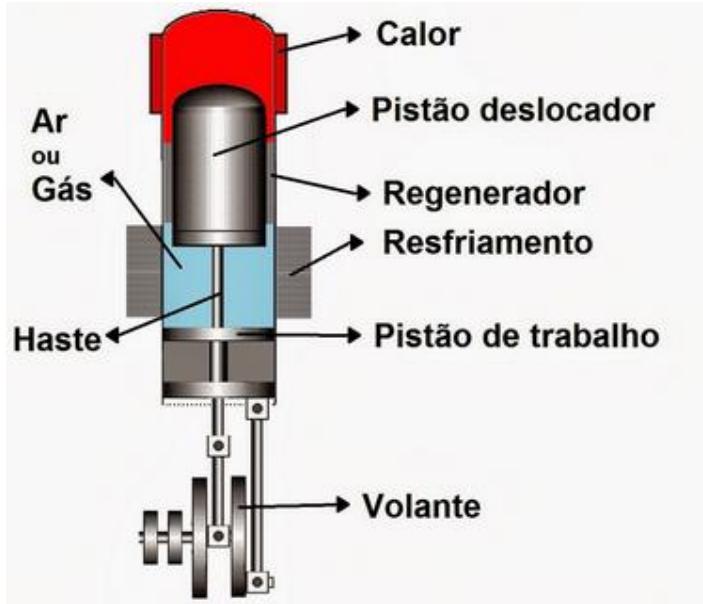


Figura 2.11 - Motor Stirling beta.

Fonte: <http://manualdomotorstirling.blogspot.com.br/>

2.2.3.3. MOTOR STIRLING GAMA

Modelo mais difundido, constituído por dois cilindros independentes. O pistão quente (deslocador), como o nome, promove o deslocamento do fluido de trabalho (ar atmosférico) entre a extremidade quente e fria, enquanto suspenso por haste deslizante presente no centro do cilindro base deste pistão. O segundo pistão realiza efetivamente o trabalho, levando assim o nome de “pistão de trabalho” e encontra-se separado do cilindro quente.

Na figura 2.12 podemos verificar a configuração de um motor stirling gama em 90° (uma de suas configurações):

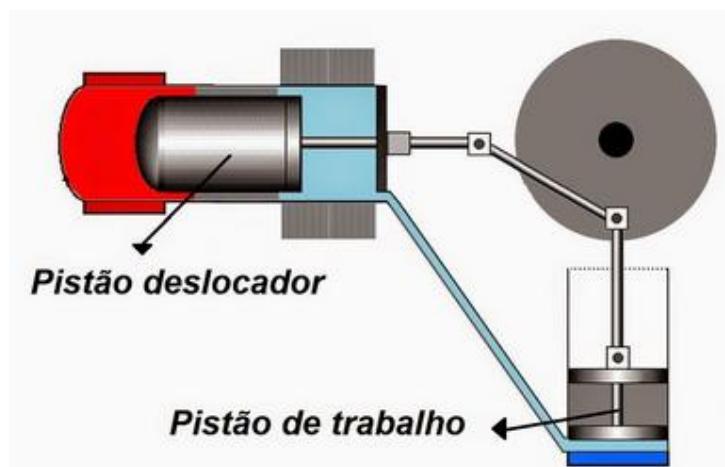


Figura 2.12 – Motor Stirling gama em 90°.

Fonte: <http://manualdomotorstirling.blogspot.com.br/>

2.2.4. MICROTURBINAS

Dentre as tecnologias presentes e já descritas, a das microturbinas foi uma das que recebeu os maiores avanços tecnológicos e a que teve a maior comercialização no mundo no que diz respeito à cogeração convencional.

Segundo DE BONA (2004), o princípio de funcionamento de uma microturbina baseia-se no fato de que parte da energia gerada pela turbina é utilizada para mover o compressor, já que ambos estão conectados ao mesmo eixo girante. O compressor pressiona o ar para dentro da câmara de combustão na qual se forma uma mistura de ar comprimido e combustível que alimenta um processo de combustão contínua. O gás quente e pressurizado proveniente do combustor se expande na turbina, transformando energia térmica em energia mecânica. No mesmo eixo da turbina é conectado um gerador elétrico síncrono a imã permanente, que gera a energia que para ser compatível com a rede elétrica e os equipamentos é então passada por um conversor CC/CA (inversor).

Este esquema descrito acima está demonstrado na figura 2.13 abaixo:

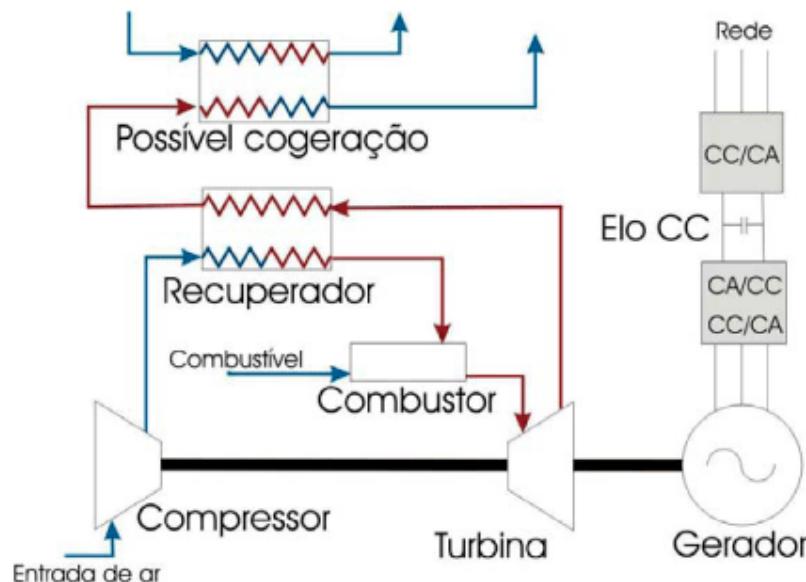


Figura 2.13 – Micro-cogeração através da utilização de microturbinas de eixo simples. Fonte: DE BONA, 2004.

Existem também as microturbinas com tecnologia de dois eixos, onde no primeiro é montado um gerador à gás, provendo a energia mecânica diretamente ao compressor. O gás quente advindo deste gerador é direcionado então para uma turbina de potência, que por sua vez o gerador elétrico (geralmente com uma caixa redutora entre os dois equipamentos).

O grande problema desta configuração é a maior necessidade de manutenção dos equipamentos, porém caso consiga uma velocidade de rotação menor que 3600 rpm, pode-se usar geradores síncronos ou de indução mais simples e então ter a geração de energia sendo transmitida à rede elétrica residencial e aos equipamentos elétricos presentes numa residência diretamente, sem a necessidade de utilização da eletrônica de potência.

Abaixo temos essa configuração em dois eixos demonstrada, pela figura 2.14:

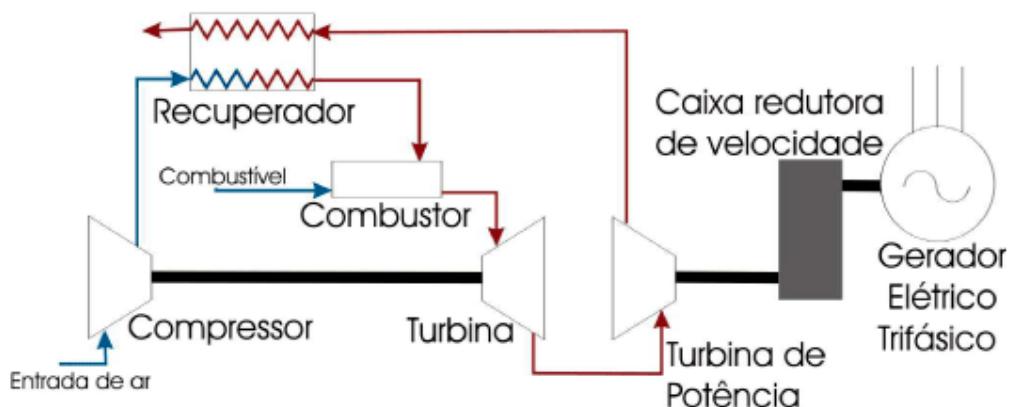


Figura 2.14 – Micro-cogeração através da utilização de microturbinas de dois eixos. Fonte: DE BONA, 2004.

2.3. CONFIGURAÇÕES BÁSICAS E BALANÇO ENERGÉTICO

As tecnologias de micro-cogeração que foram apresentados no decorrer deste trabalho serão analisadas baseados em suas configurações básicas, utilizando valores encontrados na literatura, bem como em trabalhos pesquisados durante este trabalho, ou seja, não foram feitos ensaios nem consultas a empreendimentos que se utilizem destas tecnologias para a requisição destes dados.

Começaremos a análise pelos sistemas de micro-cogeração utilizando-se MCI à gás, para estes equipamentos a cada 100 unidades de energia injetadas no sistema, através da combustão do gás natural, 40 unidades são geradas de energia elétrica (sendo fornecida aos equipamentos elétricos), 50 unidades são geradas de calor (para climatização residencial e geração de água quente) e 10 unidades são as perdas do sistema. Isso mostra que estes sistemas possuem em média um rendimento global de 90%.

A figura 2.15 abaixo mostra esta divisão e a figura 2.16 mostra uma configuração básica para esse sistema:

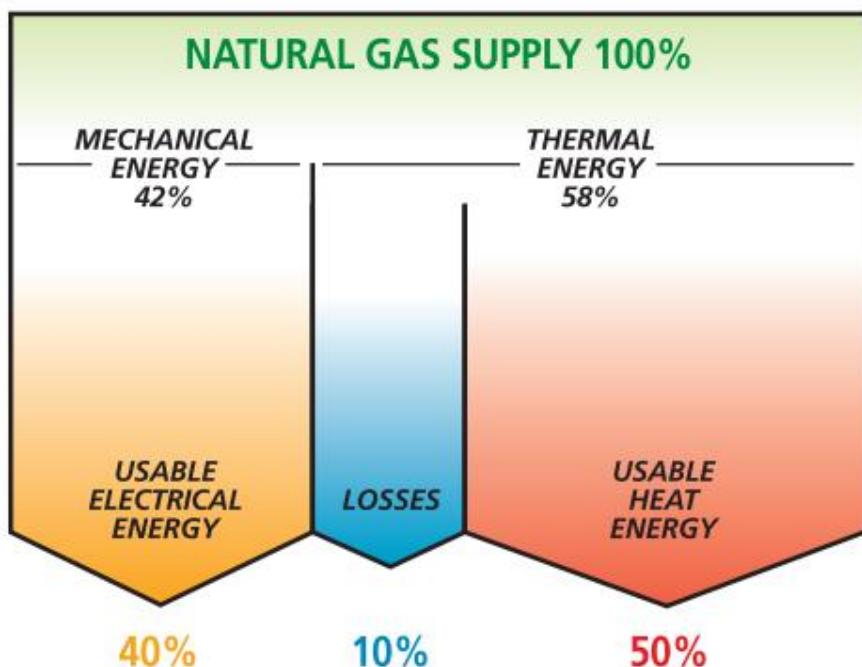


Figura 2.15 – Balanço energético de um sistema de micro-cogeração com MCI à gás. Fonte: COGEN Portugal (2011).

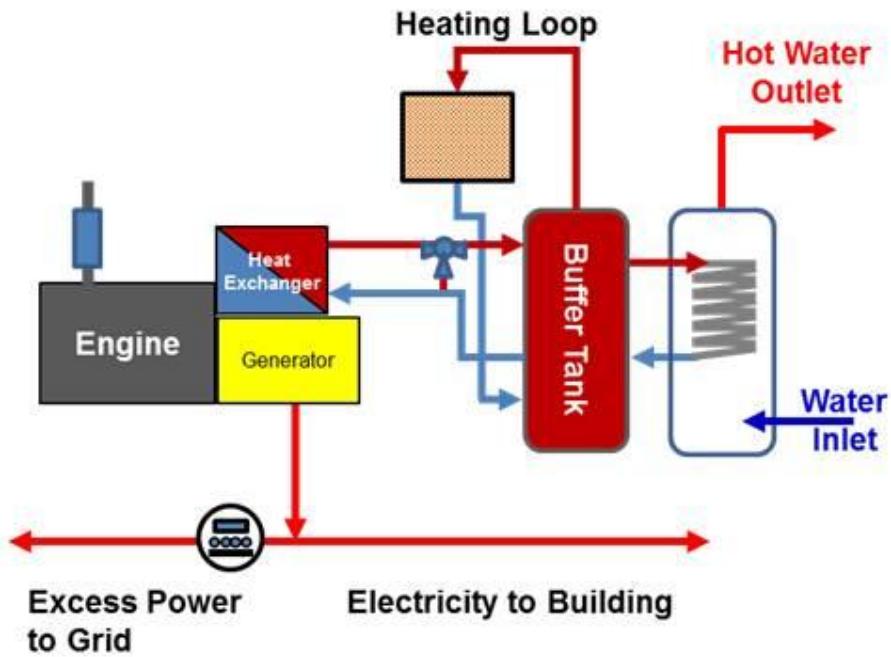


Figura 2.16 – Configuração básica de um sistema de micro-cogeração utilizando motores à gás. Fonte: energysolutionscenter.org.

Os sistemas que se utilizam de célula combustível para a geração do calor e da energia elétrica são os que possuem o maior FUE ou eficiência global, que será vista no item a seguir, ou seja, esses sistemas possuem baixos índices de perda, aproveitando ao máximo o combustível empregado, que no caso é o gás natural, utilizado para a produção do hidrogênio e posterior utilização deste no processo de geração de energia e calor, como já fora verificado anteriormente.

Nestes sistemas, a cada 100 unidades energia que entram no sistema, 39 unidades geram energia elétrica, 56 unidades geram energia térmica e 5 unidades são perdas do sistema, mostrando este ser um modo extremamente eficiente para a micro-cogeração.

Abaixo na figura 2.17 é mostrado uma configuração básica para o sistema utilizando célula combustível:

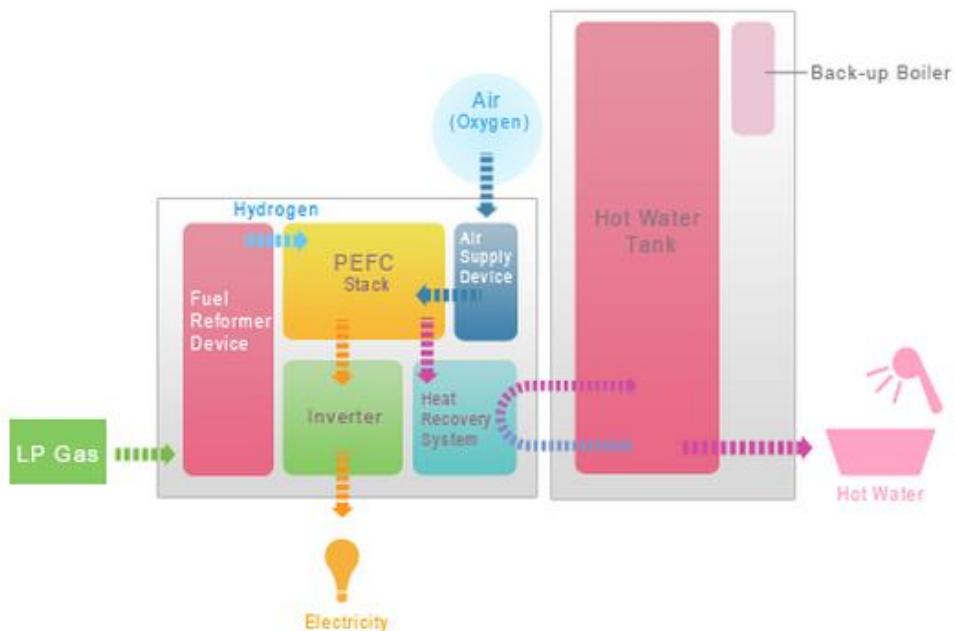


Figura 2.17 – Princípio de funcionamento de uma ENE-FARM.

Fonte: Japan LP Gas Association.

Os sistemas que se utilizam de motores Stirling na micro-cogeração possuem também altos rendimentos globais, podendo chegar próximo aos dos presentes nas células combustível hoje existem sistemas que fornecem até 95% de eficiência global, sendo mais comumente encontrado os sistemas que entregam 90% da energia aplicada no sistema. Com 100 unidades de energia que entram no sistema através da combustão do gás natural, entre 20 e 40 unidades são convertidas em energia elétrica, entre 50 e 70 unidades são convertidas em energia térmica e 10% são perdidas.

Nas tecnologias presentes que se utilizam de motores Stirling, foi verificado que há possibilidade de variação na energia térmica fornecida, ao adicionar uma queima suplementar de gás natural, quando temos essa necessidade adicional de calor, estes dispositivos fazem com que possa se controlar melhor a demanda necessária, seja ela com maior ou menor participação de energia elétrica no fornecimento.

Abaixo podemos verificar na figura 2.18 um balanço energético para um sistema que se utiliza de motor Stirling:

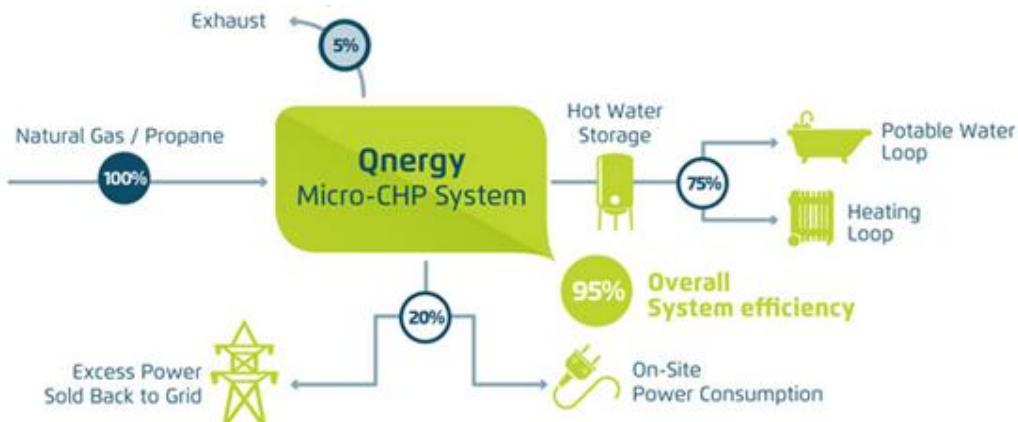


Figura 2.18 - Balanço energético de um sistema que se utiliza de motor Stirling.

Fonte: qnergy.com.

Já os sistemas que se utilizam das microturbinas possuem eficiência global que chegam próximo aos 90%. A cada 100 unidades de energia, entre 15 e 30 unidades são convertidas em energia elétrica, entre 57 e 72 unidades são convertidas em energia térmica e 13 unidades são perdidas.

A figura 2.19 abaixo mostra uma configuração básica para um sistema à microturbina:

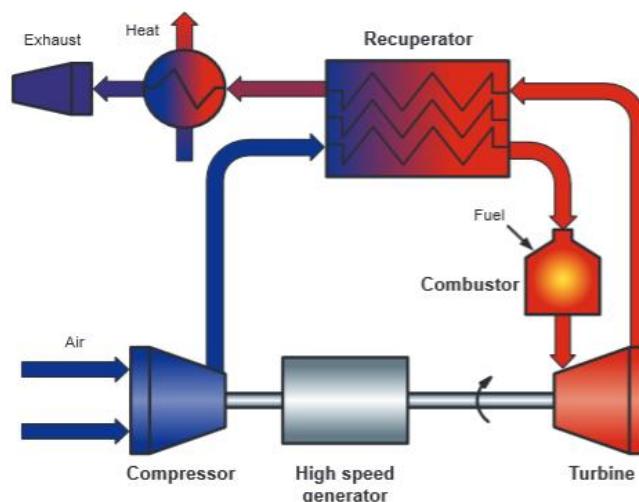
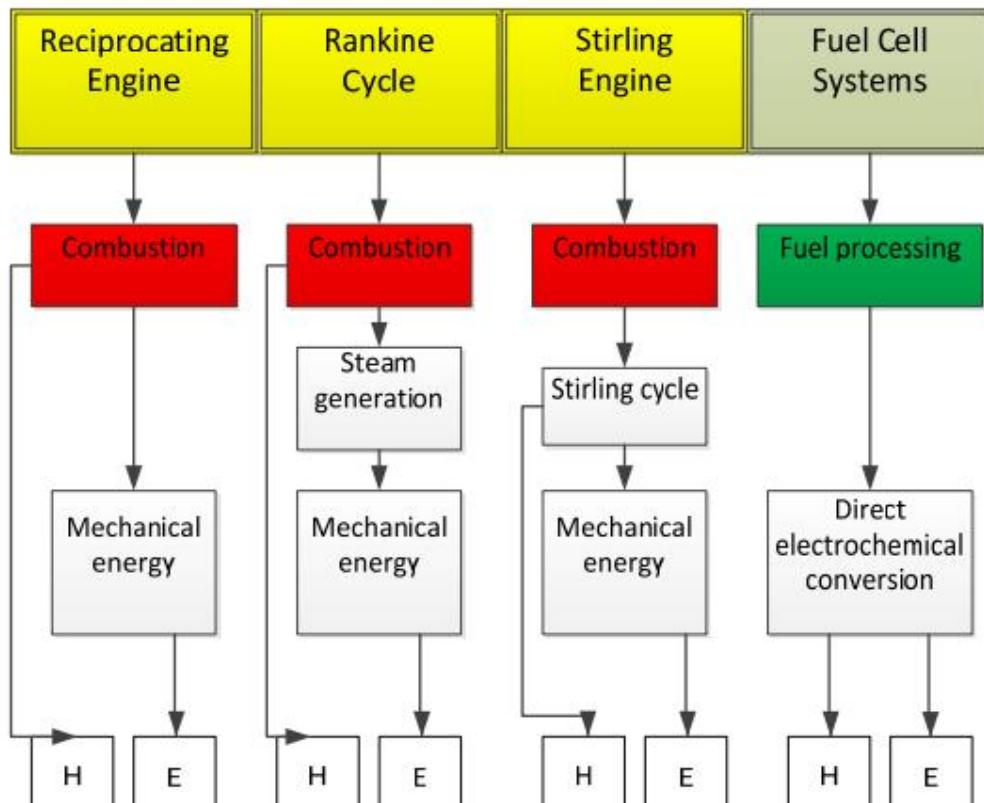


Figura 2.19 – Princípio de funcionamento da EnerTwin®.

Fonte: enertwin.com.

Na figura 2.20 (ARSALIS, 2011) é demonstrado configurações básicas para as 4 tecnologias de micro-cogeração exploradas neste trabalho:



H: Heat
E: Electricity

Figura 2.20 – Tecnologias presentes para a cogeração residencial.

Fonte: ARSALIS, 2011.

A tabela 2.3 resume os balanços energéticos presentes nas diferentes tipos de tecnologias:

Tabela 2.3 – Balanço energético para as tecnologias de micro-cogeração.

	Eficiência elétrica (%)	Eficiência térmica (%)	Eficiência Global (%)	Perdas (%)
MCI	40	50	90	10
Célula Combustível	39	56	95	5
Motor Stirling	20 - 40	50 - 70	90	10
Microturbina	15 - 30	57 - 72	87	13

2.4. FATOR DE UTILIZAÇÃO DE ENERGIA

Para os sistemas de cogeração, é comumente utilizado o Fator de Utilização de energia (FUE) para avaliar sua eficiência. Este fato é dado pela relação entre a energia térmica ou eletromecânica aproveitada no ciclo e a energia do combustível utilizado para a geração do vapor. Podemos verificar essa relação na expressão abaixo:

$$FUE = \frac{\dot{Q}_u + \dot{W}}{m_{comb} \times PCI} \quad (1)$$

Onde:

\dot{Q}_u – potência térmica gerada pelo sistema de cogeração (kW);

\dot{W} – potência elétrica gerada pelo sistema de cogeração (kW);

\dot{m}_{comb} – massa do combustível fornecida ao sistema de cogeração (kg/s);

PCI – Poder Calorífico Inferior (kJ/kg);

Mesmo afirmando que este parâmetro é comumente utilizado para avaliar a eficiência, deve-se atentar para o fato de que um alto Fator de Utilização pode estar associado a um baixo valor de energia elétrica produzida em comparação ao calor do processo. Isso se dá pelos tipos de sistemas de cogeração (topping ou bottoming) que privilegiam o fornecimento de energia elétrica e térmica, respectivamente.

O FUE também pode ser conhecido como Eficiência Global (do inglês “*Overall Efficiency*” e é parâmetro presente nos datasheets dos equipamentos utilizados na micro-cogeração e com os dados presentes neste documento fornecido, podemos através de fácil aritmética, fazer o cálculo do gasto de combustível necessário para a geração da energia que será utilizada pela residência em estudo.

2.5. COMBUSTÍVEIS APLICADOS

As tecnologias em disponíveis em cogeração residencial são multicomustíveis, ou seja, funcionam com combustíveis líquidos (gasolina, diesel e biodiesel), gasosos (gás natural, biogás, GLP, propano, butano, etc), sólidos (carvão, lenha) e renováveis (fontes geotérmicas).

Segundo DA SILVA (2014), o gás natural é o energético que tem apresentado a maior expansão nos últimos anos. Nos últimos 10 anos, o crescimento médio do consumo do gás natural foi de 21,43%. O aumento do uso do gás natural, como energético, é uma tendência mundial, muitas tecnologias de geração de energia estão sendo otimizadas para serem utilizadas com gás natural, isto corrobora com uma grande diminuição na emissão dos GEE's.

A atual condição brasileira, que atravessa um período de diminuição da oferta da hidroeletricidade faz com que outras formas de geração de energia passem a ser utilizadas para suprir esse déficit, e como já mencionado, o gás natural tem tido um grande aumento em sua utilização para tal função, sendo queimado nas termelétricas. No caso da co-geração e micro-cogeração, apesar

de embrionária no país, irá acompanhar tal tendência, dado aos benefícios na utilização desse combustível.

Abaixo na tabela 2.4, extraída do Balanço Energético Nacional 2014 (ano-base 2013), pode-se verificar o incremento na utilização do gás natural para a geração de energia (em GWh).

Tabela 2.4 – Geração de energia elétrica no Brasil. Fonte: EPE

Fonte	2013	2012	Δ 13 / 12
Hidrelétrica	390.992	415.342	-5,9%
Gás Natural	69.017	46.760	47,6%
Biomassa ¹	39.679	34.662	14,5%
Derivados do Petróleo ²	22.090	16.214	36,2%
Nuclear	14.640	16.038	-8,7%
Carvão Vapor	14.801	8.422	75,7%
Eólica	6.579	5.050	30,3%
Outras ³	12.241	10.010	22,3%
Geração Total	570.025	552.498	3,2%

As pesquisas sobre a base instalada da micro-cogeração na europa nos mostra uma tendência na utilização de motores Stirling e motores a combustão interna, pelas altas taxas calor-energia e os fazem ser mais adequados para as instalações residenciais, dado esse extraído de relatório da COGEN Europa. Os motores Stirling utilizam o gás natural que quando queimado gera o gradiente de temperatura necessário em seu ciclo termodinâmico.

Segundo o COGEN Europe Position Paper (2009), podemos ver um crescimento na utilização do biogás como combustível da micro-cogeração, fazendo com que em já em 2030 sua contribuição energética seja o dobro da contribuição do gás natural, como podemos verificar na figura 2.21 abaixo:

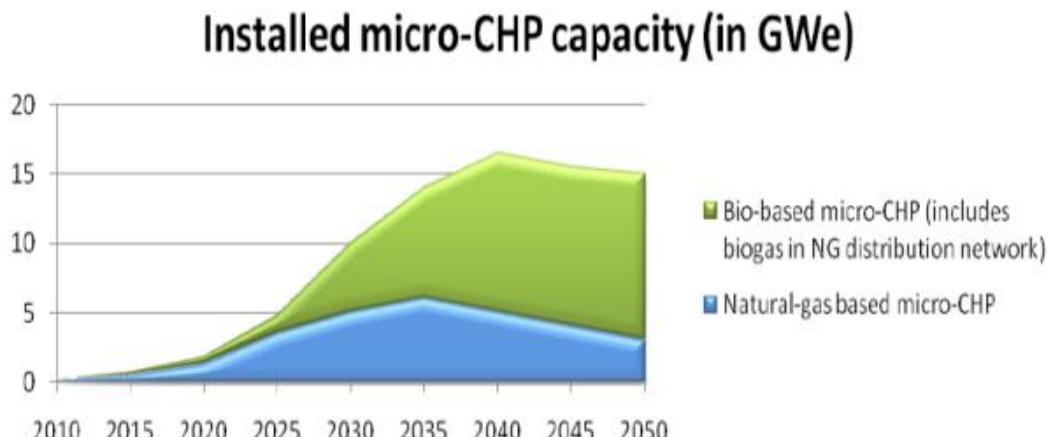


Figura 2.21 – Capacidade instalada da micro-cogeração na Europa.

Fonte: COGEN Europe

O Japão, país que vem investindo pesado na micro-cogeração, como alternativa na geração distribuída, possui no gás natural uma grande fonte energética. Conforme a Japan Gas Association em seu report sobre o mercado da cogeração no país em 2013, a capacidade energética da cogeração é demonstrada conforme a figura 2.22 abaixo:

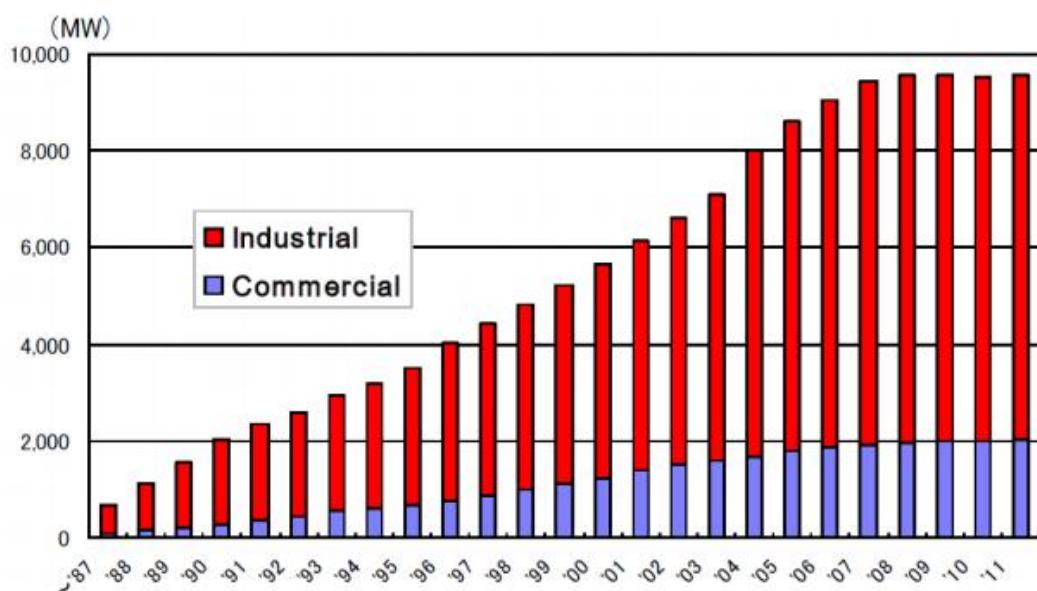


Figura 2.22 – Capacidade de geração de energia elétrica através da Cogeração em 2013, no Japão. Fonte: Japan Gas Association.

Na figura é possível verificar que a cogeração residencial teve significante evolução, dobrando sua contribuição energética em menos de 10 anos.

Em 2011 o valor total da contribuição energética pela cogeração chegava a 9.5GWe, através de 8783 sites, destes a indústria representa 79% da capacidade instalada da cogeração, sendo o gás natural sendo responsável por quase metade da fonte energética para ela, através dos motores a gás e turbinas a gás. Essa situação difere um pouco quanto às tecnologias mais utilizadas na micro-cogeração européia.

O exposto anteriormente pode ser verificado na figura 2.23 a seguir, extraído do mesmo report da Japan Gas Association já mencionado:

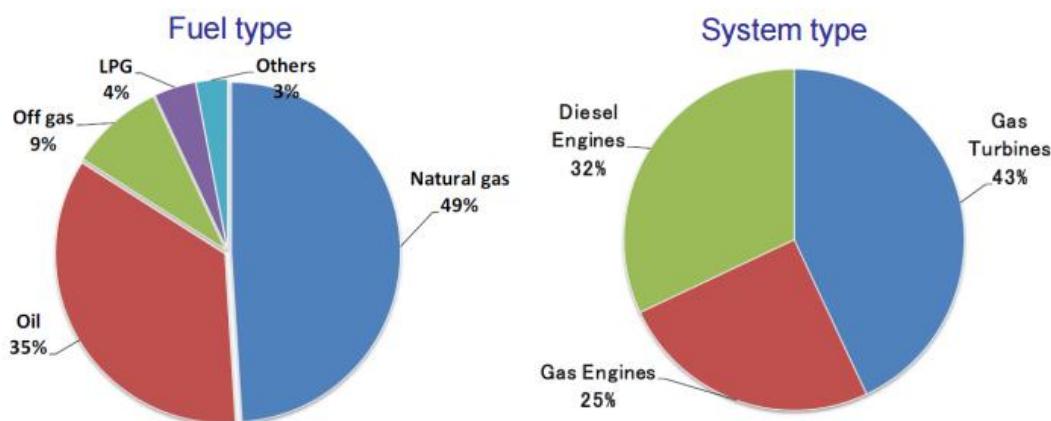


Figura 2.23 – Tipos de combustíveis utilizado na cogeração Japonesa e os tipos de tecnologia que os utiliza. Fonte: Japan Gas Association.

Vale a menção de que a tecnologia de células combustíveis tem tido um aumento significativo na micro-cogeração japonesa, a mesma também se utiliza de gás natural provido pelas companhias responsáveis para a geração do hidrogênio e o prover para a geração de energia através das células combustíveis dos tipos PEFC e SOFC.

2.6. PRINCIPAIS FABRICANTES

Em cima das principais tecnologias para a micro-cogeração, temos os fabricantes que hoje estão apostando neste novo nicho, onde a geração distribuída de energia terá um importante papel.

No continente asiático, o país que mais se destaca nessa matriz energética é o Japão, que precisou desenvolver alternativas para o suprimento de energia elétrica após o acidente envolvendo sua Usina Nuclear, localizada em Fukushima. Vale a menção dos seguintes fabricantes:

2.6.1. HONDA

A HONDA, no Japão, teve participação importantíssima na difusão da cogeração residencial quando em 2002 desenvolveu o ECO-WILL®, uma unidade cogeradora que se utiliza de um motor compacto à gás, aliado a um gerador e um inversor de frequência, que entrega a energia elétrica à residência na que está instalada simultaneamente recupera o calor rejeitado pelo sistema e o utiliza para prover água quente e calor.

A unidade é comercializada pelas companhias de gás japonesas e está instalada em mais de 130 mil residências no país, até 2013. Na figura 2.24, é demonstrado simplificadamente o princípio de funcionamento, bem como a tecnologia empregada:

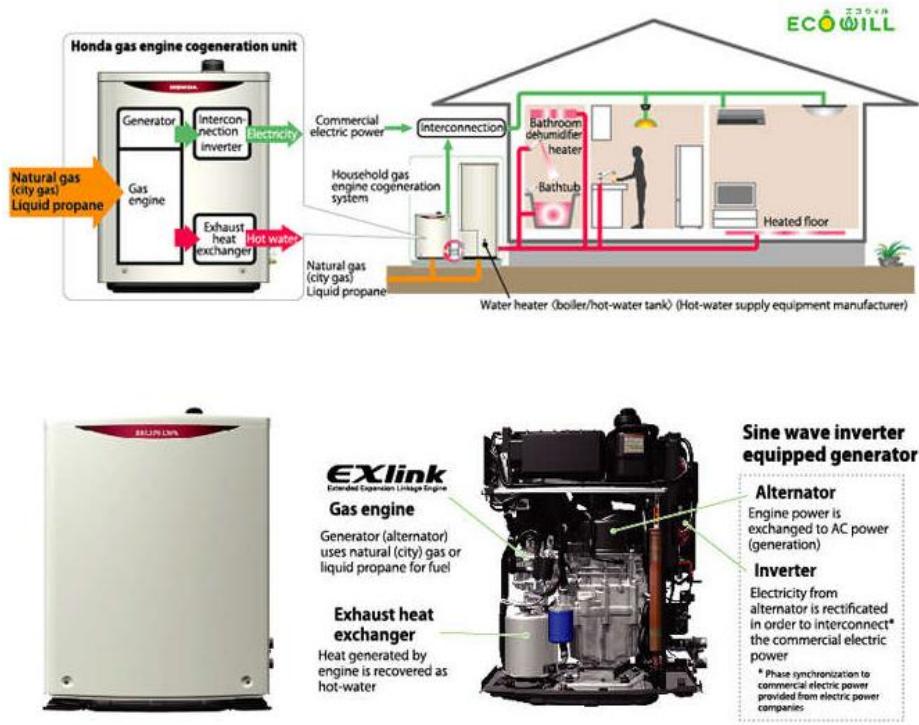


Figura 2.24 – Princípio de funcionamento e a tecnologia do ECO-WILL®, unidade cogeradora da HONDA. Fonte: HONDA Japan

A empresa em 2011 iniciou a penetração de sua tecnologia na Europa através da distribuição de uma outra unidade cogeradora chamada ecoPOWER 1.0® na Alemanha, desenvolvida em conjunto com a Vaillant. A HONDA fornece a unidade central enquanto a Vaillant, especialista na fabricação de boilers e sistemas de aquecimento, fornece a unidade de aquecimento/água quente, que gera 1kWe e 2,5kWt, além de reduzir a emissão de CO₂ em aproximadamente 50%.

2.6.2. PANASONIC

A Panasonic em uma aliança com a companhia de Gás Tokio Gas desenvolveu e passou a distribuir em 2009 uma tecnologia de micro-cogeração através de tecnologia de célula combustível do tipo PEFC. O nome “ENE-FARM” utilizado é o apelido dado para a primeira célula combustível de uso doméstico que debutou no Japão.

Esse modelo gera até 750We e tem uma eficiência elétrica de até 40% e térmica de até 50%, com a atualização do equipamento em 2013, essas eficiências ficaram em até 39% elétrico e até 56% térmico, chegando assim a uma eficiência global de até 95%.

Já na figura 2.25, é mostrado o equipamento Panasonic para essa tecnologia:



Figura 2.25 – “ENE-FARM” Panasonic.

Fonte: Panasonic.com

Assim como a Honda, a Panasonic iniciou já sua entrada no mercado europeu, através da associação com a empresa Viessmann e iniciou a comercialização desse produto em Abril 2014.

Existem outros players nesse mercado japonês, como a Toshiba, que aliada a companhia Osaka Gas Co. Ltd/Nichigas têm comercializado unidades ENE-FARM baseado nas células combustíveis do tipo PEFC. Já empresas como a Sanyo, aliada com a JX Nippon Oil Co. e a Seibu Gas, a Kyocera, aliada com a Aisin Seiki, Toyota e Chofu Seisakusho, estão comercializando ENE-FARMS com a tecnologia célula combustível do tipo SOFC.

No continente europeu, quem mais se destaca é a Alemanha e o Reino Unido, sendo neste primeiro, onde há maior difusão da micro-cogeração e o maior número de fabricantes, sendo eles:

2.6.3. VIESSMANN

A empresa, conforme já mencionado, aliou-se com a Panasonic para desenvolver e distribuir o ENE-FARM da empresa Japonesa na Europa, iniciando pelas terras alemãs. Através da união do desenvolvimento e fabricação da célula combustível (PEFC) pela Panasonic e do design do sistema geral advindo desta união, para melhor atender ao mercado europeu, sua distribuição e montagem está a cargo do grupo Viessmann.

Abaixo na figura 2.26, podemos ver o design final do produto:



Figura 2.26 – “ENE-FARM” produzido em conjunto pela Panasonic e Viessmann para atendimento do mercado europeu.

Fonte: Panasonic.com

2.6.4. BDR THERMEA

Através da aliança de 2 grupos (De Dietrich Remeha Group e o BAXI Group) em 2009, houve a formação da BDR Thermea, grupo fabricante e distribuidor de sustentáveis e inteligentes soluções e serviços de água quente para sistemas climatizadores e sanitários.

A empresa possui diversos produtos que se utilizam das mais diversas tecnologias em micro-cogeração, já explorados nesta monografia.

O Dachs micro-CHP® se utiliza de um MCI para a geração de até 5,5kWe e 12,5kWt, que atende a necessidade de condomínios, hotéis, hospitais e outras aplicações comerciais e pode ser visto na figura 2.27 abaixo:



Figura 2.27 – Dachs micro-CHP®, solução em micro-cogeração da BDR Thermea. Fonte: bdrthermea.com.

A empresa possui também mais dois produtos em seu portfólio que se utilizam de diferentes tecnologias, são eles: BAXI Ecogen® que se utiliza de motores Stirling sem pistão (produto que ganhou o prêmio Queen's Award para empresa inovadora) gerando até 1kWe e o Gamma 1.0® que gera energia e calor através de uma célula combustível do tipo PEFC, gerando até 1kWe e 1.7kWt. Este último está em fases finais de testes com parceiros na europa.

Abaixo podemos ver nas figuras 2.28 e 2.29 respectivamente, as duas tecnologias da BRD Thermea, tratadas no excerto anterior:



Figura 2.28 – BAXI Ecogen®, solução em micro-cogeração com motor Stirling da BDR Thermea.

Fonte: bdrthermea.com



Figura 2.29 – Gamma 1.0®, solução em micro-cogeração com célula combustível (PEFC) da BDR Thermea.

Fonte: bdrthermea.com

Diversas outras empresas estão presentes no mercado alemão, produzindo equipamentos à célula combustível, como: Elcore, Tropical, Dantherm Power, Riesaer Brennstoffzellentechnik GmbH – todas através da tecnologia PEFC e Vaillant, Bosch Thermotechnik, SOFC Power – através da tecnologia SOFC.

Para que possamos completar as tecnologias que se abrangeu, irei mencionar uma empresa que se especializou nas microturbinas para micro-cogeração, desenvolvendo seu produto que estará disponível para consumo residencial em 2015, através da comercialização via companhia de gás.

2.6.5. MICRO TURBINE TECHNOLOGY

Empresa de inovação que buscou aprimorar a tecnologia em micro-turbinas à gás para micro-cogeração, localizada em Eindhoven, na Alemanha.

A mesma chegou após anos de desenvolvimento no EnerTwin®, microturbina de eixo simples pode gerar entre 1 e 3kWe, bem como entre 6 e 15kWt. A eficiência deste sistema é de até 90%.

A figura 2.30 mostra o equipamento desenvolvido pela empresa MTT, que teve auxílio de diversos institutos de pesquisas.



Figura 2.30 – Micro cogerador - EnerTwin, da MTT.
Fonte: enertwin.com.

Ainda temos em outros mercados europeus, bem como nos mercados americano e canadense, outras empresas que estão investindo nesta fonte de energia, serão melhores abordados esses mercados no item destinado à micro-cogeração no exterior. Além destes novos “players” no mercado, os fabricantes que foram mencionados também continuam a aprimorar suas tecnologias, bem como ajudando no desenvolvimento de novas tecnologias para a geração distribuída.

3. A COGERAÇÃO RESIDENCIAL

3.1. APLICAÇÕES NO EXTERIOR

Se no Brasil ainda temos relutância quanto à cogeração, uma vez que se utiliza ainda da combustão como geração de energia, seja ela com gás natural, carvão mineral ou vegetal, no exterior ela é muito difundida e utilizada. Isso ainda corrobora para que a micro-cogeração possa ser considerada, pesquisada e utilizada.

O fato de você ter calor e água quente como produto ajuda à grande difusão da tecnologia nas residências europeias (principalmente alemãs, britânicas e holandesas) e japonesas, uma vez que as residências nesses países fazem utilização de calefação para obter um clima mais agradável nos períodos de baixas temperaturas.

No Japão, país com grande base instalada de sistemas de cogeração (em 2011 havia 9.5GW gerados em 8783 sites), sendo a indústria o maior consumidor deste tipo de sistema, com 79%, porém a micro-cogeração tem ganhado seu espaço e elevado sua participação, através de incentivos e programas governamentais.

Em 2009, o programa Ene-Farm que se utiliza de células combustível para a geração de energia e calor foi lançado e hoje possui grande difusão, como já verificamos ao estudarmos os principais fornecedores. O governo ajudou nesse processo, ao suportar essa difusão, através de subsídio de US\$ 4 bilhões em 2012.

Após o grande terremoto de 2011 que gerou o acidente na Usina Nuclear de Fukushima, o Japão passou por uma grande revisão na matriz energética, sendo o maior ponto a conclusão que um sistema centralizado de geração e distribuição de energia elétrica nem sempre é perfeito, uma vez que não só a usina já mencionada, como diversas usinas termelétricas foram danificadas, diminuindo a oferta de energia elétrica no país.

Como medida de emergência, a alta demanda energética pelo setor industrial (que cresce 20% em média) fez com que o governo lançasse medidas de economia de energia que poderiam ser mandatórias ou voluntárias para que

não houvessem blackouts. Nesse período, as regiões que sofreram com o desastre se utilizaram de plantas de cogeração para suprir a demanda de energia elétrica de hospitais e centros de evacuação.

Isso mostrou o quanto a cogeração poderia ser uma matriz energética importante e o governo constatou que as residências poderiam ser pequenas centrais de cogeração, não apenas para economia de energia mas também como redundância de alimentação elétrica, se tornando assim independente da rede, ajudando nessas situações de emergência.

Assim, a situação de emergência forçou o governo japonês a planejar diferentes cenários para a questão energética do país, chegando a 3 opções, conforme podemos ver na tabela 3.1:

Tabela 3.1 – Cenários para o futuro da matriz energética japonesa.

Fonte: Conselho japonês de Energia e Ambiente (2012)

	Nuclear	Renewables	Thermal	CHP	CO2 Emissions Reduction
FY2010 (benchmark)	26%	10%	60%	3%	-0.3%
Option 1	0%	35%	50%	15%	-16%
Option 2	15%	30%	40%	15%	-23%
Option 3	20-25%	25-30%	35%	15%	-25%

Esses cenários mostram que apesar da escolha, que a cogeração (e nela inclui-se a micro-cogeração) possui um grande papel, tanto que é a única fonte energética que não terá variação de sua participação, mostrando que o governo japonês está disposto a investir cada vez mais nessa tecnologia, com previsões de até US\$60 bilhões em investimento até 2030.

Essa afirmação se comprova ao verificar os grandes fabricantes japoneses, como Honda e Panasonic que vêm investindo em tecnologia para a micro-cogeração, como já pudemos observar neste trabalho.

Porém o país, até 2013 não possuía um quadro jurídico que respaldasse tal incentivo, diferentemente de outros países comparados, onde havia tal quadro, bem como a política de tarifa feed in, conforme podemos ver na tabela 3.2 abaixo:

Tabela 3.2 – Incentivos e políticas de suporte a cogeração e micro-cogeração.

Fonte: Japan Gas Association (2013).

	Japan	Belgium	German	UK
Legal Framework		CHP promotion law (regionally issued)	• CHP law • Renewable energy heat law	Energy Act 2008
Feed in Tariff			●	● (micro-CHP)
Certificate schemes		● (Flanders)		
Capital grant	●		● (micro-CHP)	

A Europa, através da Diretiva 2004/8/CE regulamentou a cogeração como fonte de calor e energia, buscando aumentar a eficiência energética e melhorar a segurança no fornecimento da energia elétrica, criando um quadro para promoção e desenvolvimento de uma cogeração de alto rendimento, baseado na demanda de calor útil e economia de energia primária (EEP) no mercado interno de energia (MOREIRA, MONTEIRO, FERREIRA, 2007).

A Diretiva caracteriza a micro-cogeração como sendo unidades de cogeração com potência inferior a 50kWe, nela ainda existem métodos para o cálculo da eficiência global e para a EEP num sistema de cogeração e micro-cogeração.

Segundo MOREIRA, MONTEIRO e FERREIRA (2007), a Diretiva levou à estudos de caso que mostraram que a micro-cogeração chegou a resultados satisfatórios de eficiência global acima dos 75% e EEP maior que 0%, o que resultou na percepção de que a micro-cogeração pode contribuir com a disseminação da geração distribuída, de acordo com os pré-requisitos presentes na lei.

A Diretiva foi o pontapé inicial para essa forma de geração de energia, ao obrigar os países membros da União Europeia a análise do potencial da cogeração de alto rendimento em cada país e estabelecer um sistema que suporte e a encoraje, isso gerou os incentivos que verificamos na tabela 3.2.

O que pode determinar a expansão dos micro-produtores de energia é a conexão à rede nacional, que pode ter alto investimento para aqueles que decidem vender a eletricidade remanescente para a rede, os sistemas chamados de “off grid”, ou seja, desconectados da rede não são afetados por isso. Na Europa existem 3 tipos de tarifas envolvidos na conexão à rede, os chamados “Shallow charging”, “Deep charging” e “Mixed charging”, segundo o Conselho Europeu de Energia Renovável:

- Shallow charging: o gerador (sendo a pessoa ou a companhia que possui a unidade cogeradora) terá que pagar para alcançar o ponto mais próximo de conexão com a rede e pelos medidores de energia que chega e sai, porém o operador da rede precisará pagar por qualquer atualização adicional que a rede necessitar para acomodar o gerador;
- Deep charging: o operador paga por toda a conexão inicial e também por qualquer atualização e subsequente reforço depois;
- Mixed charging: é a opção onde o gerador paga o custo de conexão e um proporcional pelas atualizações e reforço. Ela varia de país para país, mas é um elemento importante para esclarecer antes de instalar um sistema de cogeração.

Desde 2006, a COGEN Europa junto com diversos parceiros, promove o COGEN Challenge, que é uma campanha para incentivar a micro-cogeração na europa, através da divulgação da tecnologia, ferramentas e serviços para auxiliarem aqueles que decidem por instalar uma central cogeradora em sua residência.

Na Alemanha existe um termo criado para demonstrar a mudança no pensamento e na política energética, “Energiewende”, que significa Transição energética. Esse termo foi criado em 1980 por uma publicação de um instituto

alemão que defendia o total abandono das energias nuclear e derivadas de petróleo, a visão desse instituto acabou por virar um termo que designa uma mudança significativa em política energética.

Esse termo hoje mostra a transição alemã de sua matriz energética, para um portfólio dominado por energias renováveis, com a presença de eficiência energética e desenvolvimento sustentável. Sendo o objetivo final a abolição da utilização de carvão e outras fontes não-renováveis de energia.

Como parte da estratégia da Energiewende, a Alemanha vem promovendo a micro-cogeração como uma das tecnologias para oferecer economia de energia nos setores residencial e comercial. Dentro da lei da cogeração alemã, as tecnologias de micro-cogeração também são elegíveis para um bônus chamado de “bônus da cogeração”, que é oferecido em cima do valor de mercado da eletricidade.

Além disso, para encorajar os consumidores a optar por tecnologias eficientes de micro-cogeração, quando na decisão de alterar o boiler doméstico ou quando aumentar a eficiência energética de um prédio comercial, contratando energia de uma micro-cogeradora menor do que 20 kWe, faz com que esse seja elegível para um concessão entre €1425 e €3325, dependendo do tamanho da unidade.

Na tabela 3.3 abaixo, é demonstrado a categoria de bônus praticado pela “lei da cogeração”, que é um conjunto de leis e incentivos para cogeração, mini-cogeração e micro-cogeração:

Tabela 3.3 – Incentivos propostos pela “Lei da cogeração” alemã.

Fonte: Kwkomm (2012).

elektr. power (proportional*)	Bonus per kWh produced	Support duration
≤ 50 kW	5,41 Cent optional for ≤ 2 kW: one-time payment for 30.000 foh**	10 years or optional 30.000 foh**
≤ 250 kW	4 Cent	
≤ 2000 kW	2,41 Cent	30.000***
> 2000 kW	1,8 Cent	foh **
from 2013 for ETS plants	2,1 Cent	

* Proportional means: for the first 50 kW 5,41 Cent; for the next 200 kW 4 Cent; for the next 1750 kW 2,41 Cent; for the exceeding power capacity 1,8 Cent or – if ETS plant – 2,1 Cent.

**foh = full operating hours

*** if modernisation cost are ≥ 50% of the cost of a new installation; otherwise (if ≥ 25%) 15.000 foh

Conforme o COGEN Europe Position Paper (2014), diversos projetos foram conduzidos na Holanda e Alemanha, empregando a micro-cogeração como parte de uma Smart-Grid (rede inteligente) piloto, para demonstrar a viabilidade de um sistema com baixa emissão de carbono, confiável e altamente renovável. Em Hoogkerk, Holanda, em 2010, 25 famílias foram equipadas com diversos equipamentos inteligentes, como máquinas de lavar inteligentes, bombas de calor, painéis solares e micro-cogeradores. Conectando os equipamentos e coordenando a demanda energética resultou num menor pico de demanda na rede e uma redução significante na diferença entre a oferta e demanda da vizinhança.

No mesmo documento europeu, ainda há os projetos de Plantas Energéticas Virtuais – agrupamentos de unidades geradoras de energia distribuídas, que são controladas e operadas por uma central, utilizando sistemas integrados, que se beneficiam da flexibilidade da micro-cogeração. Diversos projetos piloto estão em fase de testes na Alemanha e Holanda, que buscar checar a viabilidade econômica dessas PEV com exclusivamente a micro-cogeração ou diversas tecnologias complementares, como micro-cogeração, bombas de calor e turbinas eólicas.

Os Estados Unidos e Canadá, verificando essa tendência que já está bem difundida nos países já citados, estão abrindo as portas para essa tecnologia, desde 2009 os países promovem interconexões e tarifas para a geração elétrica residencial chamada de “eco-conscientes”. Como exemplo, pode-se citar a Agência de Proteção Ambiental dos EUA, que está encorajando a aceitação e adoção da micro-cogeração ao declarar que esta tecnologia é a primeira na chamada tecnologia de “Escolha Climática” para a residência. A “Escolha Climática” é um programa de parceria que reconhece tecnologias emergentes que possui potencial para reduzir as emissões dos gases do efeito estufa substancialmente, quando esta tecnologia for amplamente adotada.

Segundo a publicação Cogeneration & on-site Power Production (2009), consistentemente com os objetivos focados no meio ambiente do governo Obama e do Ato de Reinvestimento e Recuperação Americana, uma proposta federal de incentivo, com taxas de crédito para essa modalidade fará com que a tecnologia ajude a se difundir, consistente com pesquisa que mostra que 50% dos consumidores dizem que receber um crédito pessoal é importante quando fazem melhores residenciais para melhoria na economia de energia.

A mesma publicação menciona que para impulsionar a adoção da micro-cogeração, alguns estados incluíram a tecnologia em seus programas de net metering, reconhecendo os benefícios da micro-cogeração. Esses estados comprovaram os benefícios operacional e econômicos do net metering, dos produtores residenciais utilizando micro-cogeração e a idéia é que os demais estados acompanhem esses bem sucedidos exemplos.

3.2. POTENCIAL NO BRASIL

Para a análise do potencial brasileiro para a micro-cogeração, serão consideradas residências segundo algumas premissas que serão apresentadas, cada residência será uma unidade cogeradora, com potência elétrica a partir da escolha da tecnologia presente também nessas premissas.

A avaliação se dará somente pelo potencial de geração elétrico, desconsiderando o consumo próprio. Assim podemos ver o quanto poderíamos desonerar a rede das concessionárias ao adicionarmos unidades cogeradoras.

As premissas consideradas nessa análise são baseadas em categorias TÉCNICA e FINANCEIRA, e são:

1. CATEGORIA TÉCNICA:

- Qualquer residência que tenha acesso à gás encanado poderá possuir uma unidade cogeradora;

2. CATEGORIA FINANCEIRA:

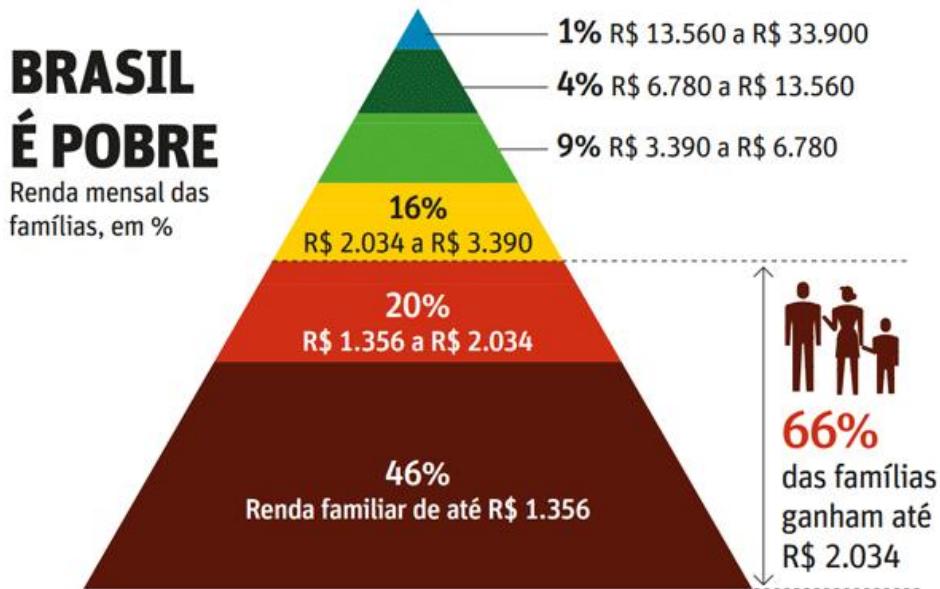
- Serão consideradas apenas as classes A e B da sociedade;

Para a categoria técnica, essa necessidade se dá a partir do fato de que todas as tecnologias apresentadas se utilizam do gás natural como combustível (ou como meio de obtenção de seu combustível, como no caso das células combustível).

Já para a categoria financeira foram consideradas apenas as classes A e B, que segundo o IBGE (2014) possui renda familiar de:

- Classe A: Acima de R\$ 14.500,00;
- Classe B: Entre R\$ 7.250,00 a R\$ 14.499,99;
- Classe C: De R\$ 2.900,00 a R\$ 7.249,00.

As famílias classificadas como elegíveis quanto à CATEGORIA FINANCEIRA foram baseados nessas classes e também quanto a figura 3.1 abaixo, onde temos uma pirâmide da divisão das famílias quanto à renda:



Fonte: Datafolha/nov.2013. Obs.: A soma não chega a 100% pois parte dos entrevistados se nega a declarar a renda.

Figura 3.1 – Renda mensal das famílias brasileiras.

Fonte: Datafolha (2013).

Assim, considerando que cada família é uma residência, teremos que 5% das mesmas é considerada elegível na categoria FINANCEIRA.

Segundo a ANEEL, no Brasil temos 68,6 milhões de unidades consumidoras de energia elétrica, sendo 85,02% delas classes residenciais.

Se considerarmos esse como o número absoluto de residências brasileiras, teremos então 58,32 milhões de residências e dessas, 2,916 milhões de residências elegíveis financeiramente segundo os critérios adotados.

Para a categoria TÉCNICA, os dados foram obtidos através das distribuidoras de gás natural, onde o total de consumidores por região brasileira é dado através da tabela 3.4 abaixo:

Tabela 3.4 – Quantidade de residências atendidas pelo gás natural encanado.

Estados	Quantidade de clientes residenciais
Alagoas	58.638
Bahia	58.036
Ceará	23
Espírito Santo	24.366
Mato Grosso do Sul	1.084
Paraíba	450
Paraná	15.547
Pernambuco	7.829
Rio de Janeiro	724.391
Rio Grande do Norte	13.332
Rio Grande do Sul	2.110
Santa Catarina	3.039
São Paulo	524.918
Sergipe	8.422
Total	1.426.743

Assim, temos 1.426.743 residências que atendem ao critério TÉCNICO para a análise do potencial brasileiro da micro-cogeração.

Ao fazer a análise cruzada das duas categorias, chegamos então ao número de residências que será considerada para o potencial energético do país hoje, que será de 1.426.743 residências.

A partir da determinação da quantidade de residências elegíveis, partimos para a análise energética que tal quantidade irá disponibilizar no SIN. Sendo isso, será considerada a tecnologia com o maior rendimento elétrico dentre os equipamentos e fornecedores pesquisados, sendo escolhido então a tecnologia da HONDA ECOWILL® que possui os seguintes dados técnicos:

- Rendimento elétrico: 40%;
- Potência elétrica: 1kWe.

Então, temos que todas as residências elegíveis terão um potencial de geração de 1.426.743 kWe, ou seja, 1.426 MWe.

Segundo o BIG – Banco de Informações de Geração, da ANEEL (2015), o Brasil possui 135.682.860 kW de potência instalada, isso significa que a microcogeração tem um potencial de 1,05% da potência instalada do país. Isso a princípio pode parecer irrelevante, porém deve-se lembrar das considerações e subavaliações que foram feitas para a análise desse potencial, sem considerar qualquer tipo de subsídio governamental.

3.3. SISTEMA NET METERING (SISTEMA DE COMPENSAÇÃO)

A ANEEL, através de sua Resolução Normativa N° 482/2012 define o Sistema de Compensação como um arranjo no qual a energia ativa injetava por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída é cedida à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa dessa mesma unidade consumidora ou de outra unidade consumidora de mesma titularidade. Esse sistema é também conhecido pelo termo em inglês *net metering*.

Neste caso, um consumidor de energia elétrica instala pequenos geradores em sua unidade consumidora (como, por exemplo, pequenas centrais cogeradoras) e a energia gerada é usada para abater o consumo de energia elétrica da unidade. Quando a geração for maior que o consumo em outro posto tarifário ou na fatura do mês subsequente.

A Resolução será melhor explicada no item 3.4, já na figura 3.2 abaixo, temos um esquema simplificado do funcionamento do sistema *net metering* (no exemplo será considerado um painel solar como fonte geradora de energia):

1. O painel solar converte a energia do sol em uma corrente contínua;
2. Um inversor de frequência é utilizado para transformar a corrente contínua em corrente alternada, necessária para o funcionamento dos equipamentos presentes em uma residência;
3. A residência se utiliza da energia necessária para o seu funcionamento;
4. Excedente de energia é exportado para a rede da concessionária local.

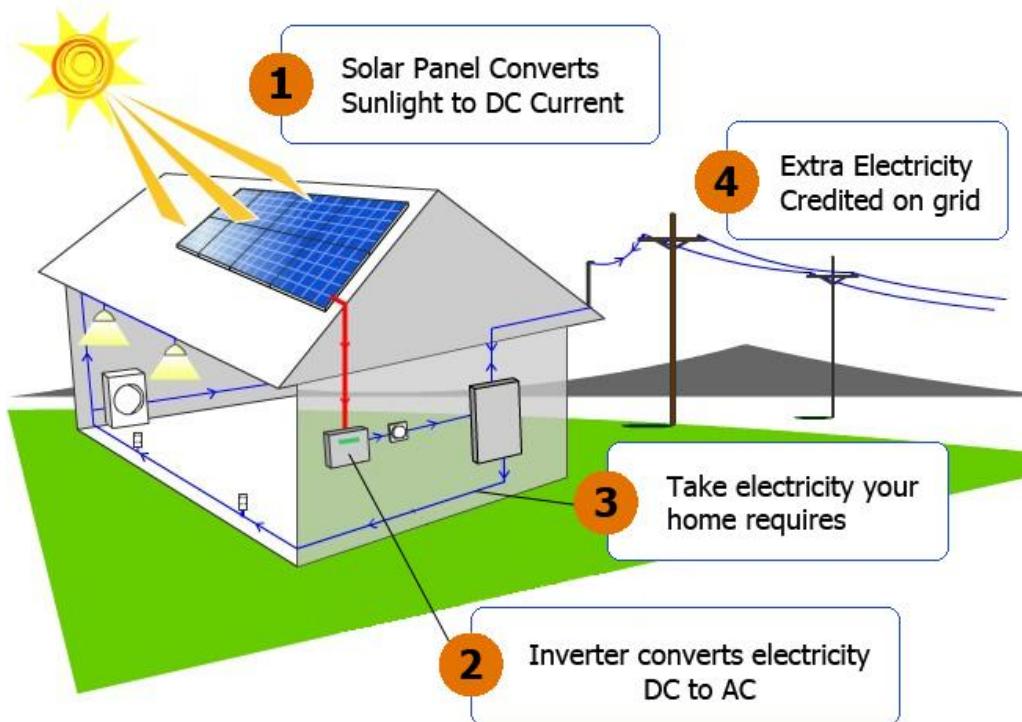


Figura 3.2 – Funcionamento do sistema Net Metering.

Fonte: glsolarpower.com.

Já na figura 3.3, é demonstrado um medidor inteligente, equipamento que permite com que haja medição da energia consumida e gerada, permitindo assim verificar se houve excedente de energia por uma residência geradora de energia elétrica.



Figura 3.3 – Medidor inteligente utilizado nos sistemas net metering.

Fonte: seia.org.

3.4. LEGISLAÇÃO BRASILEIRA

Segundo MOISÉS (2008), a regulamentação para a cogeração é definida pela ANEEL que estabelece regras rígidas para qualquer capacidade de potência instalada, às vezes dificultando a instalação de unidades de pequeno porte. As principais regulamentações, decretos, portarias e notas técnicas que regem a cogeração ou questões correlatas serão apresentados em tabela específica. Nesta é possível ser visto que as datas das leis foram emitidas em 2006 e 2007, o que mostra o estilo reativo do governo, que após perspectiva de crise elétrica, começou a ver a cogeração com uma possibilidade de aumento de geração de energia.

Abaixo é mostrada tabela 3.5 com as legislações sobre cogeração:

Tabela 3.5 – Legislação sobre a Cogeração.

Fonte: MOISÉS (2008) adaptado da ANEEL/COGEN (2007).

Datas	Órgão/número	Conteúdo da legislação.
05/06/2007	Resolução ANEEL nº 267	Estabelece alterações no cálculo das Tarifas de Uso do Sistema de Transmissão - TUST referente a novos empreendimentos de geração.
21/12/2006	Resolução ANEEL nº 247	Estabelece as condições para a comercialização de energia elétrica oriunda de empreendimentos de geração que utilizem fontes primárias incentivadas, com unidade ou conjunto de unidades consumidoras cuja carga seja maior ou igual a 500 kW e dá outras providências.
21/12/2006	Portaria MME nº 313	Estabelece critérios e procedimentos para cálculo de novos valores de garantia física de usinas termelétricas movidas a gás natural, com base em decisão do Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico.
28/11/2006	Resolução ANEEL nº 237	Estabelece critérios para consideração das usinas térmicas na elaboração do Programa Mensal de Operação Eletroenergética - PMO e suas revisões, em função da indisponibilidade por falta de combustível.
14/11/2006	Resolução ANEEL nº 235	Estabelece os requisitos para a qualificação de centrais termelétricas cogeradoras de energia e dá outras providências.
18/8/2004	Resolução ANEEL Nº 77	Estabelece os procedimentos vinculados à redução das tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição, para empreendimentos hidrelétricos e aqueles com fonte solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, com potência instalada menor ou igual a 30.000 kW.
26/2/2004	Nota Técnica Nº 034 SRD ANEEL	Regulamentação do percentual de redução a ser aplicado às tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição dos empreendimentos caracterizados como pequena central hidrelétrica e aqueles com base em fonte solar, eólica, biomassa e cogeração qualificada (Minuta de resolução normativa inclusa)
30/8/2001	Portaria CSPE Nº 139	Dispõe sobre a criação do segmento de usuários da pequena cogeração
21/2/2000	Portaria CSPE Nº 26	Dispõe sobre a reclassificação dos segmentos usuários de cogeração e termoelétrica
18/05/1999	Resolução ANEEL 112	Estabelece os requisitos necessários à obtenção de Registro ou Autorização para a implantação, ampliação ou repotenciação de centrais geradoras termelétricas, eólicas e de outras fontes alternativas de energia.

Como exemplo, podemos mencionar os Estados Unidos que possuem legislação muito mais avançada que a brasileira no assunto de fontes renováveis, podendo citar o PURPA e até mencionando, segundo HINRICHES (2003), que no início da década de 90 a energia independente respondia por metade de todas as adições de energia ao sistema e a maior parte delas eram turbinas e motores a gás natural e atualmente os produtores independentes geram mais que 11% da eletricidade no Estados Unidos, enquanto no Brasil não passa dos 5%.

Como foi iniciado o item, se a cogeração passa por esse tipo de entrave para seu desenvolvimento, sem mencionar a sobrecarga de impostos em equipamentos, podendo fazer com que os custos operacionais cheguem a quase 70% da receita, é fácil entender a pouca difusão no setor, o que reflete na micro-cogeração.

Não presente na tabela anteriormente mostrada, por não se tratar da cogeração especificamente, mas a mesma teve marco regulatório na Lei nº 9074, de 7 de Julho de 1995, regulamentada pelo Decreto nº 2003, de 10 de Setembro de 1996, quando foram definidas as figuras do Autoprodutor e do Produtor Independente de Energia elétrica (BARJA, 2006), da seguinte forma:

"I – Produtor Independente de Energia Elétrica, 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;

"II – Autoprodutor de Energia Elétrica, a pessoa física ou jurídica ou empresas reunidas em consórcio que recebam concessão ou autorização para produzir energia elétrica destinada ao seu uso exclusivo."

Neste decreto, também foi regulamentado o livre acesso aos sistemas de transmissão (Lei nº 9074/95), garantindo assim a possibilidade de comercialização da energia excedente, pelos produtores independentes e pelos autoprodutores.

Já em 6 de Agosto de 1997, com a Lei nº 9478, que define a política energética nacional que determinava as diretrizes do uso racional das fontes de energia, inclusive das fontes e tecnologias alternativas. No art. 1º temos:

"VI – Incrementar, em bases econômicas, a utilização do gás natural;

VII – Identificar as soluções mais adequadas para o suprimento de energia elétrica nas diversas regiões do País;

VIII – Utilizar fontes alternativas de energia, mediante o aproveitamento econômico dos insumos disponíveis e das tecnologias aplicáveis;

XVII – Fomentar a pesquisa e o desenvolvimento relacionados à energia renovável;

Esses itens dentro do artigo mostram a preocupação do governo em ter uma matriz energética mais variável quanto as suas fontes, bem como incentivando a pesquisa e o desenvolvimento de novas tecnologias.

Segundo ANDREOS (2015), com o decreto nº 5163 de 30 de Julho de 2004, há a regulamentação a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências. Este decreto define a geração distribuída como sendo plantas com capacidade instalada inferior a 30MW. Complementando esse decreto, veio a Resolução normativa nº 167 de 10 de Outubro de 2005, que esclarece o processo de contratação de energia proveniente da chamada geração distribuída.

Ainda houve o incentivo para as chamadas fontes alternativas, com a Resolução normativa ANEEL nº 77, de 18 de Agosto de 2004, que reduz as tarifas do uso dos sistemas de transmissão e distribuição para os empreendimentos hidroelétricos e com base em fontes solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, com potência injetada no sistema sendo menor ou igual à 30MW.

Os decretos mencionados auxiliaram os grandes e médios produtores de energia e hoje, como tendência do futuro da geração elétrica, a cogeração residencial também usufrui dos avanços e incentivos presentes na legislação brasileira, mesmo essa ainda não sendo suficiente para atender completamente às necessidades.

Com a resolução normativa N° 482, de 14 de Abril de 2012, veio um grande incentivo governamental para a micro-cogeração, que segundo a mesma “Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências”.

Isso significa que o Brasil passa a estar no rol dos países que possui legislação para o *net metering*, forma mais conhecida do sistema de compensação de energia elétrica.

Do decreto, artigo 2, é caracterizado então a microgeração de energia, bem como o sistema de compensação como sendo:

“I – microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 100kW e que utilize com base na energia

hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;

III – sistema de compensação de energia elétrica: sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração distribuída ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa dessa mesma unidade consumidora ou de outra unidade consumidora de mesma titularidade da unidade consumidora onde os créditos foram gerados, desde que possua o mesmo Cadastro de Pessoa Física (CPF) ou Cadastro de Pessoa Jurídica (CNPJ) junto ao Ministério da Fazenda.”

Segundo o Artigo nº 6, no sistema de compensação todo o crédito gerado pela injeção de energia elétrica no SIN será cedido através de título de empréstimo gratuito para a distribuidora e então a unidade consumidora passa a ter um crédito em quantidade de energia ativa a ser consumida por um prazo de 36 meses.

O consumidor interessado em gerar energia para o sistema deverá arcar com todo o custo envolvido para adequação de sua instalação, bem como componentes envolvidos no sistema de medição inteligente, que mede a quantidade de energia que flui em ambos os sentidos, segundo o Artigo nº 8 deste decreto.

Já o artigo N° 3 institui que as distribuidoras possuam 240 dias, à contar a partir da publicação da Resolução em questão (17 de Abril de 2012) para pudessem fazer as suas alterações e publicar as referidas normas técnicas em seu endereço eletrônico, para o acesso ao público interessado.

Nos endereços eletrônicos de distribuidoras de energia, como por exemplo a AES Eletropaulo (distribuidora de energia da região da grande São Paulo), é possível encontrarmos página dedicada para o assunto “*Mini e Micro geração*”, com as orientações e as normas técnicas da empresa para que um mini e micro produtor possa se conectar à sua rede. A mesma informa que existem 2 prazos para seu parecer quanto ao acesso de seu cliente:

- “30 (trinta) dias para as solicitações que não necessitem de obras na estrutura de distribuição; ou”

- “60 (sessenta) dias para as solicitações que necessitem de obras de reforço ou ampliação do sistema de distribuição acessado.”

Mesmo com o exposto neste tópico, a quantidade de micro-produtores de energia ainda é muito baixa. Segundo levantamentos da ANEEL, até janeiro de 2014 haviam apenas 38 produtores de energia no país inteiro e todos eles produziam energia através de painéis solares. Trataremos ainda das barreiras para o setor no país.

3.5. BENEFÍCIOS, BARREIRAS E OPORTUNIDADES

A cogeração residencial leva consigo os benefícios do processo de cogeração em si, hoje sendo uma das melhores soluções técnicas disponíveis em mercado para produção de energia elétrica com a melhor eficiência possível. Esta eficiência resulta apenas do fato de se associar ao projeto de cogeração um consumidor que possa utilizar a energia térmica proveniente da combustão que não é transformada em eletricidade (COGEN PORTUGAL, 2011).

Podemos verificar através da figura 3.4 abaixo a vantagem que fora mencionada acima, bem como compreender como se dá o ganho de rendimento em um processo de cogeração, esse aplicado à um edifício e portanto sendo considerado como um processo de micro-cogeração.

Além do rendimento global no processo, que tem um aumento de 56% para 90%, podemos verificar uma poupança em energia primária de até 30%.

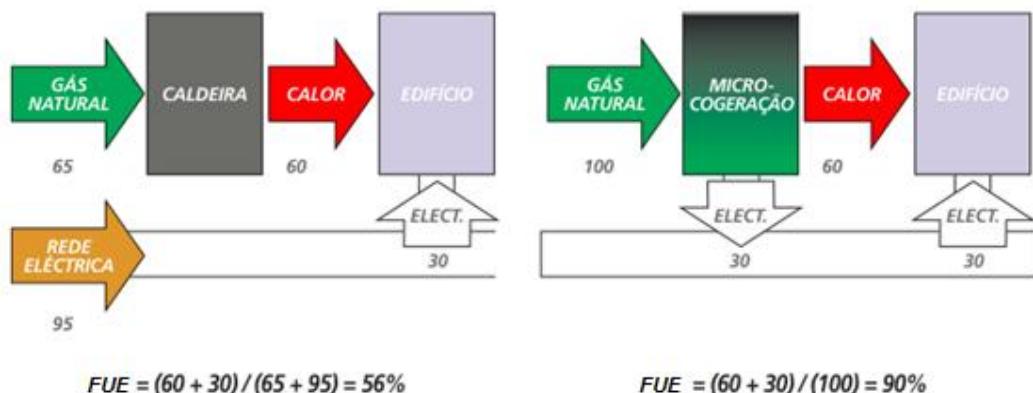


Figura 3.4 – Eficiência energética promovida pela micro-cogeração.

Fonte: COGEN PORTUGAL, 2011.

Segundo SOUZA e ROMERO (2003), o adequado equacionamento da questão da energia deve passar por uma abordagem integrada do serviço energético junto ao seu uso final. Deverão então ser consideradas as opções de oferta e as características da demanda, requerendo soluções eficientes, com custos competitivos e níveis compatíveis de confiança e qualidade dos serviços. Nisso, a micro-cogeração representa uma oportunidade de atendimento das

necessidades energéticas locais ou de consumidores específicos, com eficiência e minimização dos impactos ambientais.

Benefícios e oportunidades que a micro-cogeração pode apresentar foram explorados muito bem pelo Japão, que verificou nesse nicho, a possibilidade de tentar desafogar o sistema elétrico nacional e conseguir atender em momentos de emergência, às necessidades tanto de importantes consumidores (como hospitais) como da população (como autoprodutor).

Países do exterior, como já foi tanto debatido neste trabalho, já compreenderam a grande importância que o setor residencial pode ter na geração de energia elétrica e estão dando muita atenção para o assunto. Já no Brasil, o setor ainda está engatinhando, há avanços na legislação, porém diversos motivos ainda não permitem que a micro-cogeração tenha grandes avanços.

Inicialmente podemos tratar sobre o baixíssimo nível de incentivo em subsídios em P&D para tecnologias de geração de energia. O setor ainda depende única e exclusivamente da oferta de tecnologias advindas de países como Alemanha e Japão, que já são conhecidos como altamente investidores em pesquisas e desenvolvimento tecnológicos. Com o perfil do pensamento brasileiro, o país ainda irá agir somente conforme adversidades forem aparecendo.

Segundo publicação existente sobre o assunto: energias renováveis, RECHARGE (2013), a principal barreira para o crescimento da geração distribuída no Brasil poderia ter sido evitada durante a edição da resolução, contanto que um maior dialogo fosse promovido. Hoje existe um conflito entre a interpretação da ANEEL e aquela aplicada pelas entidades responsáveis pela arrecadação (Conselho Nacional de Política Fazendária – CONFAZ) e a Receita Federal, no que diz respeito à cobrança dos impostos e tributos referentes à compensação de crédito entre consumidor e a distribuidora.

Ainda na publicação, é mencionada declaração do Superintendente de Regulação dos Serviços de Distribuição da ANEEL, Carlos Mattar, que diz que além da questão tributária, faltam linhas de créditos específicas para que mais projetos sejam viabilizados, bem como um payback muito alto, como motivos da baixa adesão dos consumidores.

A ANEEL fez consulta ao CONFAZ referente a política de cobrança do ICMS no sistema de compensação, pois segundo o Conselho, deverá haver cobrança de ICMS pelo que você consome ou pelo que você gera de energia elétrica, quando segundo a agência, o correto seria a cobrança do imposto apenas no que diz respeito à diferença entre os dois, ou seja, caso você tenha um excedente de 1kW de energia e a exportar para a rede, esse excedente não teria imposto cobrado sobre ele. Esse assunto é tratado em um dos Cadernos Temáticos da ANEEL – Micro e Minigeração Distribuída – Sistema de Compensação de Energia Elétrica (2014).

Isso faz com que alguns estados passem a decidir sobre o mérito, como é o caso de Minas Gerais, que isentou o crédito de energia da cobrança do ICMS.

Esse não alinhamento nacional faz com que não haja qualquer firmeza na posição do governo federal quanto à questão energética, passando assim a tirar a competitividade das iniciativas de descentralização, seja ele em qualquer setor.

4. ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA

Para os estudos relacionados à viabilidade técnico-econômica de uma aplicação de micro-cogeração em diferentes tipos de residência, serão adotadas algumas premissas como apresentadas a seguir:

- Combustível utilizado será sempre o gás natural distribuído pela concessionária considerada, para todas as tecnologias adotadas;
- Será utilizada tabela de preço para o gás natural conforme deliberação ARSESP nº 534 mostrada na tabela 4.1, medição individual;
- A deliberação ARSESP nº 575 de 07/05/2015 será mostrada na tabela 4.2 para conhecimento, porém todos os cálculos foram realizados através da tabela 4.1;

Tabela 4.1 – Valores cobrados pelo m³ de gás natural para o seguimento residencial, conforme deliberação nº 534 da ARSESP. Fonte: Comgás (2014).

Tarifas do Gás Natural Canalizado Área de Concessão da Comgás Deliberação ARSESP nº 534, de 10/12/2014, com vigência a partir de 12/12/2014					
Segmento Residencial					
Classes	Volume m ³ /mês	Valores sem ICMS		Valores com ICMS	
		Fixo - R\$/mês	Variável - R\$/m ³	Fixo - R\$/mês	Variável - R\$/m ³
1	0,00 a 1,00 m ³	7,09	0	8,06	0
2	1,01 a 3,00 m ³	7,09	4,546697	8,06	5,166701
3	3,01 a 7,00 m ³	7,09	2,073663	8,06	2,356435
4	7,01 a 14,00 m ³	7,09	3,526256	8,06	4,007109
5	14,01 a 34,00 m ³	7,09	3,940559	8,06	4,477908
6	34,01 a 600,00 m ³	7,09	4,241055	8,06	4,819381
7	600,01 a 1.000,00 m ³	7,09	3,632570	8,06	4,127920
8	>1.000,00 m ³	7,09	2,477292	8,06	2,815105

Tabela 4.2 – Valores cobrados pelo m³ de gás natural para o seguimento residencial, conforme deliberação nº 575 da ARSESP. Fonte: Comgás (2015).

Tarifas do Gás Natural Canalizado Área de Concessão da Comgás Deliberação ARSESP nº 575, de 07/05/2015, com vigência a partir de 31/05/2015					
Segmento Residencial					
Classes	Volume m ³ /mês	Valores sem ICMS		Valores com ICMS	
		Fixo - R\$/mês	Variável - R\$/m ³	Fixo - R\$/mês	Variável - R\$/m ³
1	0,00 a 1,00 m ³	7,39	0	8,40	0
2	1,01 a 3,00 m ³	7,39	4,803457	8,40	5,458474
3	3,01 a 7,00 m ³	7,39	2,227586	8,40	2,531348
4	7,01 a 14,00 m ³	7,39	3,740583	8,40	4,250663
5	14,01 a 34,00 m ³	7,39	4,172114	8,40	4,741039
6	34,01 a 600,00 m ³	7,39	4,485106	8,40	5,096711
7	600,01 a 1.000,00 m ³	7,39	3,851318	8,40	4,376498
8	>1.000,00 m ³	7,39	2,648000	8,40	3,009091

- A aplicação em questão, será considerada pertencente à área de concessão da COMGÁS. Sendo considerada uma operação em ilha, ou seja, esta será totalmente desconectada do SIN e sua geração será pura e simplesmente para atendimento da demanda das cargas da própria residência, sendo assim não será levado em consideração a tarifa para exportação de energia na rede.
- Será utilizada tabela de preço da energia elétrica Eletropaulo conforme resolução N° 1.858/2015 da ANEEL, mostrada na tabela 4.3 abaixo:

TARIFAS PARA O FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA RESOLUÇÃO Nº 1.858 DE 02/03/2015 DA ANEEL - VÁLIDAS A PARTIR DE 02/03/2015.

Tarifas Aplicadas a clientes atendidos em Baixa Tensão (Grupo B)

MODALIDADE TARIFÁRIA CONVENCIONAL				
SUBGRUPO / CLASSE / SUBCLASSE (R\$/kWh)	Tarifa do Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) (R\$/kWh)	Tarifa de Energia (TE) (R\$/kWh)	Tarifa de Energia (TE) (R\$/kWh)	Tarifa de Energia (TE) (R\$/kWh)
B1 - RESIDENCIAL	0,17096	0,20086	0,22586	0,25586
B1 - RESIDENCIAL - BAIXA RENDA				
Consumo mensal até 30kWh	0,05761	0,07030	0,07905	0,08955
Consumo mensal entre 31 e 100kWh	0,09877	0,12052	0,13552	0,15352
Consumo mensal entre 101 e 220kWh	0,14815	0,18078	0,20327	0,23027
Consumo mensal superior a 220kWh	0,16461	0,20086	0,22586	0,25586
B2 - RURAL	0,11967	0,14060	0,16560	0,19560
B2 - COOPERATIVA DE ELETRIFICAÇÃO RURAL	0,11967	0,14060	0,16560	0,19560
B2 - SERVIÇO PÚBLICO DE IRRIGAÇÃO	0,10258	0,12052	0,14552	0,17552
B3 - DEMAIS CLASSES	0,17266	0,20125	0,22625	0,25625
B4 - ILUMINAÇÃO PÚBLICA				
Iluminação Pública (B4a)	0,09634	0,11234	0,13734	0,16734
Iluminação Pública (B4b)	0,10509	0,12255	0,14755	0,17755

Tabela 4.3 – Tarifa de energia elétrica para Grupo B.

Fonte: aeseletropaulo.com.br.

- Para o cálculo do retorno financeiro pela venda de excedentes, serão considerados 3 cenários:
 - considerando o valor por MWh através do preço Preço de Liquidação das Diferenças (PLD) vigente que é de R\$ 388,48 por MWh;
 - Considerando o preço do Custo Variável Unitário (CVU) vigente (Jun/2015), que é de R\$ 1.169,67 por MWh
 - Preço intermediário, segundo portaria 44 do MME, que é de R\$ 792,49 por MWh.

Para os cenários que serão simulados neste estudo de caso, iremos utilizar a conclusão presente no item 3.2, onde considera que apenas 5% das residências brasileiras teriam capacidade de arcar com um investimento para implementação de cogeração residencial. Chegaremos a conclusões se este número está correto ou não.

Com o perfil do consumidor desta tecnologia, chegamos a lista de demanda elétrica por equipamento, apresentada na tabela 4.4 e por sua vez, ao consumo mensal da residência. Lembrando-se que não foi considerado chuveiro elétrico

como carga, pois o fornecimento da água quente sempre será realizado pela própria cogeração, armazenando-se a água em reservatório térmico, uma vez que no Brasil a necessidade de água quente se dá basicamente para banho e utilização em cozinha.

Posteriormente será feita nova análise, considerando a possibilidade de se utilizar tecnologia que aproveitará do calor gerado para a utilização em sistemas de ar condicionado e climatização residencial.

Tabela 4.4 – Tabela de demandas por equipamento para a residência analisada.

Equipamento	Quantidade	Potência (W)	Tempo de uso (hs)	Número de dias de uso/mês	Consumo mensal (kWh)
Geladeira*	1	300	10	30	90
Televisão	3	90	5	30	40,5
TV+TV a cabo standby**	3	10	19	30	17,1
Ar Condicionado***	4	1000	18	30	756
Forno Microondas	1	1300	0,25	30	9,75
Chuveiro	2	6000	1	30	360
Micro computador	2	300	2	30	36
Rádio relógio	2	8	24	30	11,52
Mini system (som)	1	150	2	15	4,5
Lavadora de roupas	1	1500	1	12	18
Secadora de roupas	1	3500	0,5	12	21
Secador de cabelos	2	700	0,25	20	7
Liquidificador	1	200	0,2	20	0,8
Ferro elétrico	1	1000	1,5	10	15
Aspirador de pó	1	600	1	10	6
Iluminação****	-	120	12	30	43,2
Consumo mensal total da residência (kWh)					1436,37

* Tempo médio de 10 hrs diárias para geladeira refere-se ao período em que o compressor fica ligado para manter o interior na temperatura desejada.

** Considera-se o conjunto TV+TV a cabo em stand-by gastando 10W

*** Foi considerado um fator de carga de 0,35 para o ar condicionado, tendo em vista que os 3 equipamentos não funcionarão simultaneamente o tempo todo.

**** Sistema de iluminação considerado como sendo 12 lâmpadas de 10W

Para a lista de demanda, foram considerados os chuveiros elétricos, uma vez que seriam utilizados caso não houvesse outra fonte de água quente e assim servem de base para o cálculo da economia anual em energia elétrica.

Com esses dados e considerando comportamento de uma família convencional, podemos estimar a curva de carga do consumo dos equipamentos

presentes na tabela 4.4 ao longo do dia, como pode-se observar no gráfico 4.1 abaixo (demanda de chuveiros elétricos não foram considerados na curva):

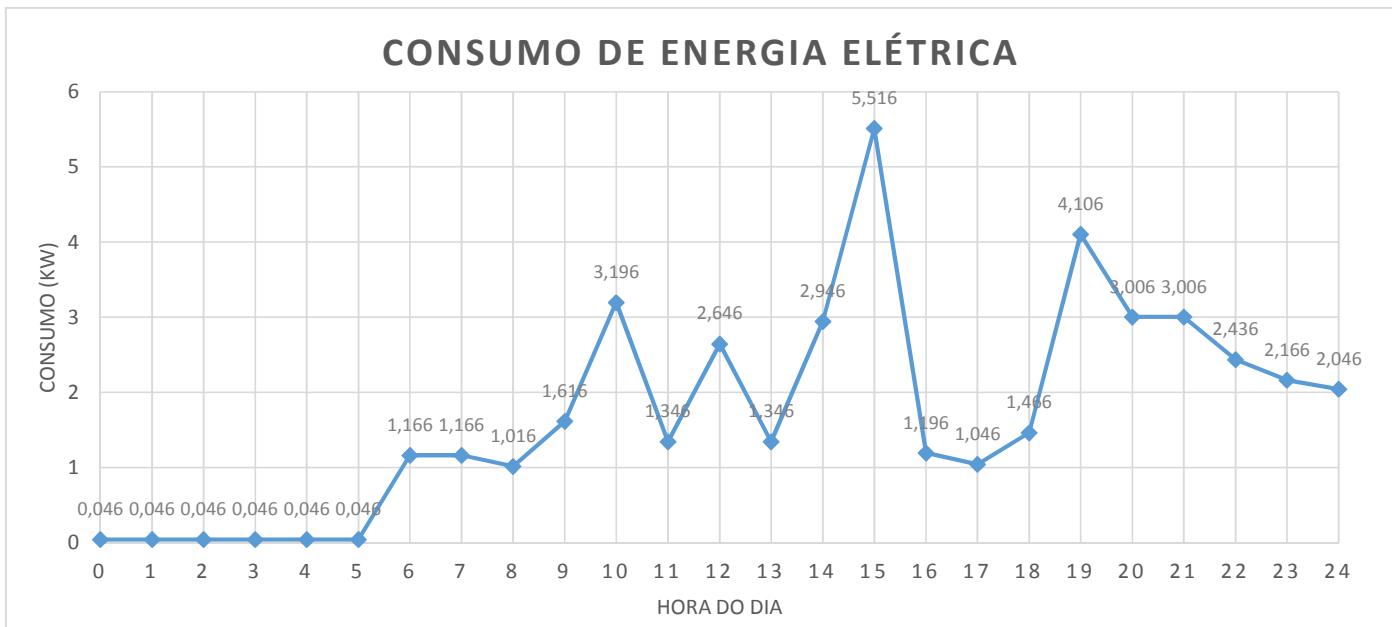


Gráfico 4.1 – Curva do consumo de energia elétrica pela família considerada, ao longo do dia.

Esse gráfico foi gerado através de uma análise, equipamento a equipamento, da utilização deles durante um dia da família em questão, sendo assim, não foi necessária utilização de fator de carga para o cálculo do pico de consumo desta residência.

A próxima análise é a do consumo de água quente pela família em questão:

- Estimando-se para a residência em questão uma família de 4 pessoas, onde são tomados 6 banhos/dia numa média de 10 minutos por banho e considerando-se uma ducha de 10L/min de vazão, temos então a quantidade de água quente consumida pela família diariamente com banhos:

$$\text{Consumo de água quente banho} = 6 \frac{\text{banhos}}{\text{dia}} * \frac{10 \text{ min}}{1 \text{ banho}} * \frac{10 \text{ L}}{\text{min}} = 600 \frac{\text{L}}{\text{dia}} \quad (1)$$

- Estimando que a residência gaste no total, quinze minutos de consumo de água quente no banheiro (somatória de banheiros) e meia hora na cozinha, considerando-se a vazão de uma torneira (com redutor) como 6L/min, teremos então o gasto diário de água em torneiras de:

$$\text{Consumo de água quente torneira} = 75 \frac{\text{min}}{\text{dia}} * 6 \frac{\text{L}}{\text{min}} = 450 \frac{\text{L}}{\text{dia}} \quad (2)$$

- Assim o consumo total de água quente pela família considerada será de:

$$\text{Consumo de água quente diária} = 600 + 450 = 1050 \frac{\text{L}}{\text{dia}} \quad (3)$$

Com esses dados e com o comportamento da família durante o dia, chegamos à curva de carga do consumo de água quente pela família, como sendo conforme a gráfico 4.2 abaixo:

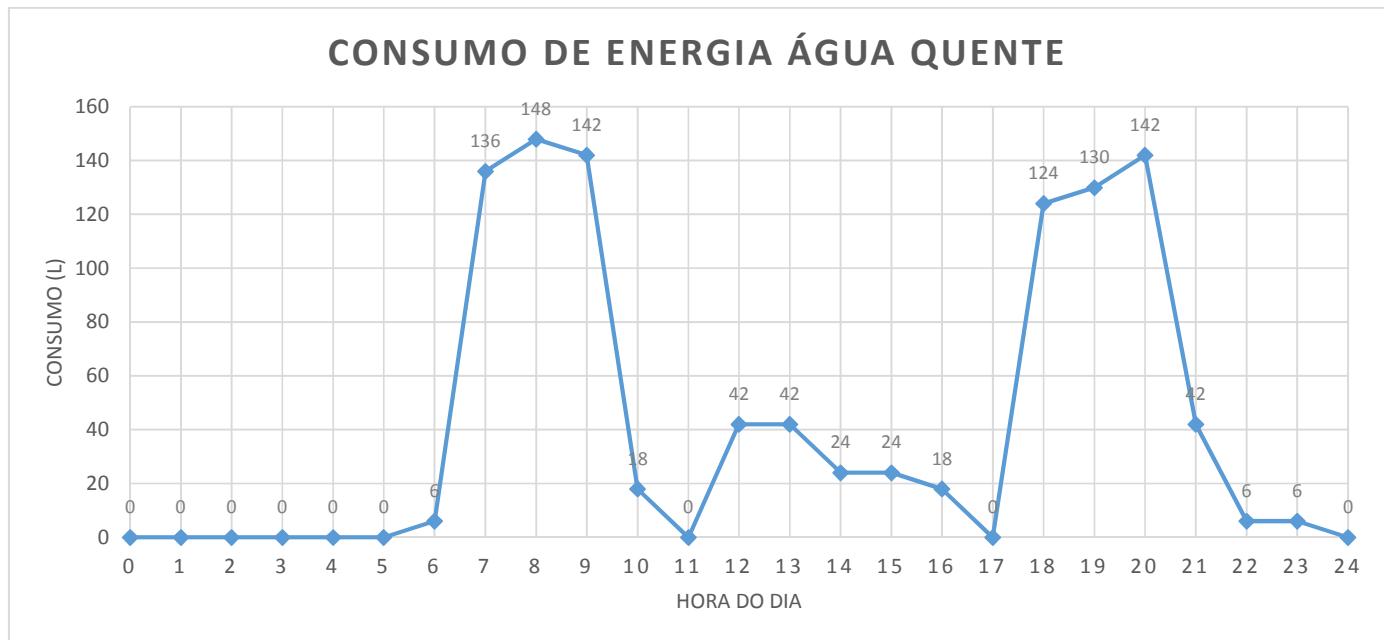


Gráfico 4.2 – Curva de consumo de água pela família considerada.

Após essas análises realizadas anteriormente, serão apresentados cenários de utilização da micro-cogeração e serão estudados esses cenários do ponto de vista técnico-financeiro, apresentando soluções técnicas e sua avaliação financeira, através de payback simples.

4.1. OPERAÇÃO EM ILHA

Com a operação em ilha, ou seja, operação independente da rede elétrica devemos fazer a especificação do equipamento a ser utilizado pela análise do pior caso de consumo de energia diário.

Essa análise se dará com o cenário onde haverá exportação de energia elétrica para a rede, fazendo com que o cogerador funcione 24hrs por dia, e sem exportação de energia elétrica para a rede, onde o equipamento só irá fornecer energia e água quente para a residência, conforme o comportamento de carga da mesma.

COM EXPORTAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Através do gráfico 4.2, podemos ver que o pico de consumo se deu por volta das 15 horas, com uma demanda de aproximadamente 5,5kWe.

Com esse valor de potência de pico demandada e o valor de 1050L de água quente consumidos diariamente, chegamos ao equipamento que será especificado para a micro-cogeração: o Dachs micro-CHP®, que se utiliza de um MCI, gerando 5,5kWe e 12,5kWt, conforme já abordado anteriormente.

Os dados técnicos para o equipamento se dão conforme figura 4.1 abaixo, com os a potência térmica de saída, a capacidade do tanque de armazenamento (*SE Buffer Vessel*) e a temperatura o qual a água alcança nesse tanque, foi encontrado a quantidade de horas que o sistema de micro-cogeração necessita para aquecer a água (de 20° a 80°):

$$Q = mc\Delta\theta = 1050000 * 1 * (80 - 20) = 63000000 \text{ cal} = 63000 \text{ kcal} \quad (4)$$

Se a potência térmica do sistema é de 12,5kWt (10748,07kcal/h), então:

$$T = 63000 \text{ kcal} * \frac{1 \text{ h}}{10748,07} = 5,86 \text{ horas} \quad (5)$$

Assim durante um dia, o tanque será aquecido até a temperatura máxima 2 vezes. Não iremos considerar uma possível limitação térmica (sistema rodando até o alcance da temperatura máxima sem que haja vazão de água quente suficientemente para compensar o aquecimento provido pelo sistema).



Technical Data

Electrical output (3-phase)	5.5 kW
Thermal output without condenser	12.5 kW
Thermal output with condenser (maximum)	15.5 kW
Efficiency without condenser – gross (nett)	79% (88%)
Max. efficiency with condenser – gross (nett)	92% (102%)
Height (to top of casing)	1000 mm
Width (excl. MSR2 controller)	720 mm
Depth	1060 mm
Delivered weight	530 kg
Standard safety valve	2.5 bar
Max. working pressure (4.5 bar SV reqd.)	5.0 bar
Gas supply pressure	20 mbar
Natural gas input (22.8 kW)	2.13 m³/h
Plant room air inlet	150cm²
Noise emission (at 1 metre from casing)	52-56 dBA
Service intervals	3,500 hrs
Designed service life	80,000 hrs
Heating F&R connections (flexibles supplied)	1"
Gas connection (flexible supplied)	½"
Non-condensing exhaust (steel pipe not supplied)	1"
Condenser exhaust (plastic flue available)	DN80
Heating flow temperature	80°C
Max. heating return temperature (to allow CHP to operate)	70°C
Electrical connections:	
– 3-phase supply onto 20A type 'C' circuit breakers	2.5 mm
– equipotential bonding to main earth	10 mm
BMS control connections:	
– Volt free enable	
– 230 volt remote fault indication	
– 230 volt remote service due indication	
Modem connection – optional analogue, GSM or ethernet	



SE Buffer Vessel - Key Data

Capacity	750 litres
Height (with insulation)	1920 mm
Diameter (excluding insulation)	750 mm
Diameter (with insulation)	950 mm
Insulation	100 mm
Weight (excluding insulation)	140 kg
Max. hydraulic W.P.	3.0 bar
Heating F&R connections to DACHS	1"
F&R connections to heating system	1½"
Heating flow temperature	80°C
Max. heating return temp.	70°C

Condenser - Key Data

Additional heat output:	
– at 60°C return temp.	0.8 kW
– at 50°C return temp.	0.9 kW
– at 35°C return temp.	2.3 kW
– at 20°C return temp.	3.0 kW
Height	1750 mm
Width	400 mm
Depth	300 mm
Top clearance required	1000 mm
Weight	25 kg
Max. hydraulic W.P.	5.0 bar
Heating F&R connections	½"
Exhaust gas outlet (plastic)	DN80
Condensate drain	25 mm.
High limit safety 'stat (STL)	110°C
Heating inlet temp. (return)	10°C – 70°C

Figura 4.1 – Dados técnicos do Dachs micro-CHP®.

Fonte: bdrthermea.com

Assim, após a escolha da tecnologia que atende os quesitos elétrico e térmico, será analisada a economia com energia, e os gastos com a implementação da tecnologia, então será adicionado a exportação do excedente produzido para a rede elétrica da concessionária local.

Para o cálculo da conta de energia elétrica inicial será utilizado os dados da tabela 4.3:

$$Ee = 1436,37 \frac{kWh}{mês}$$

Com essa demanda, chegamos à tabela 4.5 abaixo, que calcula quanto será o gasto anual com a conta de energia (base Eletropaulo):

Tabela 4.5 – Cálculo do gasto da residência analisada com energia elétrica, sem sistema de cogeração.

Cálculo custo de Energia Elétrica - Sistema Convencional - Tarifa Energia Eletropaulo B1 RESIDENCIAL									
Tarifa Eletropaulo B1	TUSD (R\$/kWh)	Tarifa de Energia (R\$/kWh)	Tarifa de Energia (R\$/kWh)	Tarifa de Energia (R\$/kWh)	Consumo mensal (kWh)	Tarifa TUSD	Custo Tarifa Verde	Custo Tarifa Amarela	Custo Tarifa Vermelha
	R\$ 0,17096	R\$ 0,20086	R\$ 0,22586	R\$ 0,25586	1436,37	R\$ 245,56	R\$ 288,51	R\$ 324,42	R\$ 367,51
Total mensal médio							R\$ 534,07	R\$ 569,98	R\$ 613,07
Total anual sem impostos							R\$ 6.408,85	R\$ 6.839,76	R\$ 7.356,86
ICMS							R\$ 2.136,28	R\$ 2.279,92	R\$ 2.452,29
COFINS							R\$ 355,79	R\$ 379,72	R\$ 408,42
PIS/PASEP							R\$ 77,54	R\$ 82,76	R\$ 89,02
Total anual com impostos							R\$ 9.122,92	R\$ 9.736,32	R\$ 10.472,39

Como a tecnologia de micro-cogeração não está presente no mercado nacional, para se instalar uma tecnologia dessas deverá ser feita a importação (será utilizado a Nomenclatura Comum do Mercosul – N.C.M. – como sendo a 85023900, referente à “Outros Grupos Eletrogêneos”). Através de pesquisas, foi encontrado o valor de £ 13.000,00 e então foram considerados os impostos de importação, presentes num simulador de cálculo no site da receita federal, conforme podemos verificar na figura 4.2 abaixo:

Simulação do Tratamento Tributário e Administrativo das Importações		
Código NCM	8502.39.00	
Descrição NCM	OUTROS GRUPOS ELETROGÊNEOS	
Taxa de Câmbio do Dia 20/5/2015	R\$ 4.7261	
Valor Aduaneiro Convertido	R\$61.439,30	
Aliquota II (%)	14,00	Tributo II R\$ 8.601,50
Aliquota IPI (%)	0,00	Tributo IPI R\$ 0,00
Aliquota PIS (%)	2,10	Tributo PIS R\$ 1.290,23
Aliquota COFINS (%)	10,65	Tributo COFINS R\$ 6.543,29
As alíquotas podem ser preenchidas manualmente e os tributos recalculados		
Recalcular Tributos		

Figura 4.2 – Cálculo do valor dos tributos para a importação do equipamento.

Fonte: receita.fazenda.gov.br.

Com esses valores, chegamos que o investimento somente com a importação do equipamento será o valor aduaneiro somando-se à todas as alíquotas de importação, resultando em: R\$ 77.874,32.

Assim, o investimento para a residência será de:

- Equipamento: R\$ 77.874,32;
- Encanamento para atender à demanda de água quente: R\$700,00 (conforme pesquisas);
- Atualização no sistema elétrico (incluindo medidor inteligente):
 - Medidor bidirecional: R\$ 330,00
 - Adequações no sistema elétrico: R\$ 500,00

- Custo de manutenção (baseados em pesquisa): R\$ 0,028/kWh (totalizando R\$ 141,22/ano);
- Investimento total: **R\$ 79.545,54.**

Além do gasto do investimento, mensalmente haverá gasto com o fornecimento de gás natural para o sistema, e através da vazão de gás de entrada do cogerador (**2,13m³/h**) presente na figura 4.1, temos:

$$\text{Volume de gás consumido} = 2,13 \frac{m^3}{h} * 24 \frac{h}{dia} * 30 \frac{dias}{mês} = 1.533,60 \frac{m^3}{mês} \quad (6)$$

Para esse volume de gás consumido, teremos:

Tabela 4.6 – Memória de cálculo do consumo de gás para cogeração com exportação, segundo resolução Arsesp nº 534.

Termo Variável (Cogeração)			Tarifas	Valores
1	0,00 a 5.000	1.533,60 m3	0,399122 R\$/m3	R\$ 612,09
2	5.000,01 a 50.000	0,00 m3	0,313437 R\$/m3	R\$ 0,00
3	50.000,01 a 100.000	0,00 m3	0,269829 R\$/m3	R\$ 0,00
4	100.000,01 a 500.000	0,00 m3	0,204970 R\$/m3	R\$ 0,00
5	500.000,01 a 2.000.000	0,00 m3	0,211882 R\$/m3	R\$ 0,00
6	2.000.000,01 a 4.000.000	0,00 m3	0,191783 R\$/m3	R\$ 0,00
7	4.000.000,01 a 7.000.000	0,00 m3	0,167813 R\$/m3	R\$ 0,00
8	7.000.000,01 a 10.000.000	0,00 m3	0,143839 R\$/m3	R\$ 0,00
9	> 10.000.000	0,00 m3	0,119310 R\$/m3	R\$ 0,00
Termo Variável			0,399122 R\$/m3	R\$ 612,09

COGERAÇÃO	Termo Fixo	0,961068 R\$/m3	R\$ 1.473,89
	Valor fatura s/ ICMS		R\$ 2.085,99
	Valor fatura c/ ICMS		R\$ 2.370,44
	Tarifa média s/ ICMS		1,360190 R\$/m3
	Tarifa média c/ ICMS		1,545670 R\$/m3

E o valor gasto mensalmente para se utilizar o sistema de cogeração 24h/dia é de: **R\$ 2.370,44**. E anualmente o gasto será de:

$$\text{Gasto com gás natural} = 2.370,44 \frac{R\$}{mês} * 12 \frac{meses}{ano} = 28.445,28 \frac{R\$}{ano} \quad (7)$$

Assim, o total desembolsado para a implementação do sistema de cogeração com a tecnologia considerada será de:

- Equipamento: **R\$ 79.404,32;**
- Manutenção do equipamento (anual): **R\$141,22;**
- Consumo de gás (anual): **R\$ 28.445,28;**

Considerando a situação energética brasileira, será considerada a tarifa vermelha como a cobrada pela concessionária, assim anualmente serão economizados **R\$ 10.472,39** por ano com conta de energia elétrica, conforme tabela 4.5.

Para a comercialização de energia, teremos que todo o excedente de energia, ou seja, a energia gerada e não consumida será comercializada. O cálculo dessa quantidade de energia exportada é dada pela expressão abaixo:

$$\text{Energia elétrica gerada} = 5,5 \text{ kW} * 24 \frac{\text{hr}}{\text{dia}} * 30 \frac{\text{dias}}{\text{mês}} = 3960 \frac{\text{kWh}}{\text{mês}} \quad (8)$$

$$\text{Energia excedente} = 3960 \text{ kWh} - 1436,37 \text{ kWh} = 2523,63 \frac{\text{kWh}}{\text{mês}} \quad (9)$$

O retorno financeiro pela energia excedente para cada cenário será de:

- PLD:

$$\begin{aligned} \text{Retorno pela geração distribuída (PLD)} &= 2,52363 \frac{\text{MWh}}{\text{mês}} * 388,48 \frac{\text{R\$}}{\text{kWh}} * \\ 12 \frac{\text{meses}}{\text{ano}} &= 11.764,56 \frac{\text{R\$}}{\text{ano}} \end{aligned} \quad (10)$$

- CVU:

$$\begin{aligned} \text{Retorno pela geração distribuída (CVU)} &= 2,52363 \frac{\text{MWh}}{\text{mês}} * \\ 1.169,67 \frac{\text{R\$}}{\text{kWh}} * 12 \frac{\text{meses}}{\text{ano}} &= 35.421,77 \frac{\text{R\$}}{\text{ano}} \end{aligned} \quad (11)$$

- Preço intermediário:

$$\begin{aligned} \text{Retorno pela geração distribuída (PI)} &= 2,52363 \frac{\text{MWh}}{\text{mês}} * 779,08 \frac{\text{R\$}}{\text{kWh}} * \\ 12 \frac{\text{meses}}{\text{ano}} &= 23.593,32 \frac{\text{R\$}}{\text{ano}} \end{aligned} \quad (12)$$

Já a economia com a água quente para torneiras e banho será de:

$$\text{Consumo de água quente} = \frac{1050l}{dia} * \frac{1m^3}{1000l} * \frac{365 dias}{ano} = \frac{383,25m^3}{ano} \quad (13)$$

E esse volume, considerando o valor do m³ da COMGÁS para residência como sendo R\$ 0,390021/m³ (termo variável) e R\$ 0,948114/m³ (termo fixo), então:

$$\text{Economia com água quente} = \frac{R\$ 48,56}{mês} * 12 \text{ meses} = R\$ 582,72 \quad (14)$$

Assim a economia anual será de:

- PLD:
 - Economia na conta de energia elétrica: **R\$ 10.472,39**;
 - Economia com água quente para banho: **R\$ 582,72**
 - Venda de energia para a concessionária: **R\$ 11.764,56**;
 - Economia total: **R\$ 22.819,67**
- CVU:
 - Economia na conta de energia elétrica: **R\$ 10.472,39**;
 - Economia com água quente para banho: **R\$ 582,72**
 - Venda de energia para a concessionária: **R\$ 35.421,77**;
 - Economia total: **R\$ 49.476,88**
- Preço Intermediário:
 - Economia na conta de energia elétrica: **R\$ 10.472,39**;
 - Economia com água quente para banho: **R\$ 582,72**
 - Venda de energia para a concessionária: **R\$ 25.593,32**;
 - Economia total: **R\$ 36.648,43**

E o payback para o investimento (considerando o investimento e os valores gastos anualmente com gás e manutenção) realizado será de:

- PLD:

$$\begin{aligned} \text{Economia anual(PLD)} &= R\$ 22.819,67 - R\$ 28.445,28 - R\$ 141,22 = \\ &-R\$ 5.766,83 \end{aligned} \quad (15)$$

Com o preço da energia pelo PLD, não haveria retorno financeiro, visto que o gasto anual supera em mais de 5 mil e setecentos reais a economia.

- CVU:

$$\begin{aligned} \text{Economia anual(CVU)} &= R\$ 49.476,88 - R\$ 28.445,28 - R\$ 141,22 = \\ &R\$ 20.890,38 \end{aligned} \quad (16)$$

$$\text{Payback (anos)} = \frac{\text{R\$ } 79.404,32}{\frac{\text{R\$ } 20.890,38}{\text{ano}}} = 3,8 \text{ anos} \quad (17)$$

Com o preço da energia pelo CVU, teríamos um retorno num curto tempo de quase 4 anos, que faz com que seja um investimento muito atrativo.

- Preço Intermediário:

$$\begin{aligned} \text{Economia anual(CVU)} &= R\$ 36.648,43 - R\$ 28.445,28 - R\$ 141,22 = \\ &R\$ 8.061,93 \end{aligned} \quad (18)$$

$$\text{Payback (anos)} = \frac{\text{R\$ } 79.404,32}{\frac{\text{R\$ } 8.061,93}{\text{ano}}} = 9,85 \text{ anos} \quad (19)$$

Já com o preço intermediário teríamos um retorno de aproximadamente 10 anos, o que é um tempo muito elevado para o retorno de qualquer investimento.

Para que tivéssemos um payback de 7 anos, considerando até um tempo maior do que o esperado dado a nova tecnologia, deveríamos ter o investimento na tecnologia de no máximo:

$$\text{Investimento máximo na tecnologia} = \frac{\text{R\$ } 8.061,93}{\text{ano}} * 7 \text{ anos} = \text{R\$ } 56.433,51 \quad (20)$$

4.2. OPERAÇÃO HÍBRIDA

A operação híbrida consiste na utilização do sistema de micro-cogeração em paralelo com a rede elétrica da concessionária local, fazendo com que a energia consumida seja de ambas as fontes, conforme preceitos que serão explicitados nesta análise.

A princípio a análise em questão se daria com o atendimento da energia mínima demandada pela mesma residência considerada no início do item 4, porém como é possível verificar no gráfico 4.1 (gráfico da carga residencial), a energia mínima demandada é de apenas 0,046kWh. Porém, para termos base de comparação com os outros 2 cenários já apresentados, continuaremos utilizando o mesmo equipamento utilizado no estudo anterior, porém sua utilização será somente em horário de pico de energia.

Segundo toda documentação estudada para a elaboração dessa monografia, não há possibilidade de utilizarmos o sistema para a geração de menos energia, pois isso se daria com uma perda grande de rendimento, assim os sistemas dimensionados sempre foram considerados como geração à plena carga.

Do gráfico 4.1 (curva de carga), temos que existem 3 períodos do dia os quais acontecem picos de consumo de energia elétrica, que são: das 09 às 11, das 14 às 16 e das 18 às 20hrs. Esses horários também coincidem com os horários de consumo de água quente (chuveiros), assim o sistema além de fornecer a energia, forneceria água quente para a residência.

Assim os custos não-variáveis para essa aplicação seriam:

- Equipamento: **R\$ 79.404,32;**
- Manutenção do equipamento (anual): **R\$ 141,22;**

Já o custo variável para esse cenário, dos 3 períodos considerados temos que o consumo de gás será:

$$\text{Consumo de gás natural diário} = 6\text{hrs} * 2,13 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}} = 12,78\text{m}^3 \quad (21)$$

$$\text{Consumo anual de gás natural} = 12,78 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} * 30 \frac{\text{dias}}{\text{mês}} * 12 \frac{\text{meses}}{\text{ano}} = 383,4\text{m}^3 \quad (22)$$

E através da tabela 4.7 abaixo, o valor gasto com o gás natural no ano será de:

Tabela 4.7 – Memória de cálculo do consumo de gás em operação híbrida, segundo resolução Arsesp nº 534.

Termo Variável (Cogeração)			Tarifas	Valores
1	0,00 a 5.000	383,40 m3	0,399122 R\$/m3	R\$ 153,02
2	5.000,01 a 50.000	0,00 m3	0,313437 R\$/m3	R\$ 0,00
3	50.000,01 a 100.000	0,00 m3	0,269829 R\$/m3	R\$ 0,00
4	100.000,01 a 500.000	0,00 m3	0,204970 R\$/m3	R\$ 0,00
5	500.000,01 a 2.000.000	0,00 m3	0,211882 R\$/m3	R\$ 0,00
6	2.000.000,01 a 4.000.000	0,00 m3	0,191783 R\$/m3	R\$ 0,00
7	4.000.000,01 a 7.000.000	0,00 m3	0,167813 R\$/m3	R\$ 0,00
8	7.000.000,01 a 10.000.000	0,00 m3	0,143839 R\$/m3	R\$ 0,00
9	> 10.000.000	0,00 m3	0,119310 R\$/m3	R\$ 0,00
Termo Variável			0,399122 R\$/m3	R\$ 153,02

COGERAÇÃO	Termo Fixo	0,961068 R\$/m3	R\$ 368,47
	Valor fatura s/ ICMS		R\$ 521,50
	Valor fatura c/ ICMS	R\$ 592,61	
	Tarifa média s/ ICMS	1,360190 R\$/m3	
	Tarifa média c/ ICMS	1,545670 R\$/m3	

E o valor gasto anualmente para se utilizar o sistema de cogeração 24h/dia é de: **R\$ 592,61**.

Para o gasto com a energia elétrica teremos essa nova lista de consumo conforme ajuste para os períodos em que a cogeração estiver gerando a energia para a residência conforme a tabela 4.8 abaixo:

Tabela 4.8 – Nova lista de demanda por equipamento para a residência analisada.

Equipamento	Quantidade	Potência (W)	Tempo de uso (hs)	Número de dias de uso/mês	Consumo mensal (kWh)
Geladeira*	1	300	4	30	36
Televisão	3	90	1	30	8,1
TV+TV a cabo standby**	3	10	15	30	13,5
Ar Condicionado***	4	1000	12	30	504
Forno Microondas	1	1300	0,25	30	9,75
Rádio relógio	2	8	18	30	8,64
Secadora de roupas	1	3500	0,5	12	21
Iluminação****	-	120	10	30	36
Consumo mensal total (kWh)					636,99

* Tempo médio de 10 hrs diárias para geladeira refere-se ao período em que o compressor fica ligado para manter o interior na temperatura desejada.

** Considera-se o conjunto TV+TV a cabo em stand-by gastando 10W

*** Foi considerado um fator de carga de 0,35 para o ar condicionado, tendo em vista que os 3 equipamentos não funcionarão simultaneamente o tempo todo.

**** Sistema de iluminação considerado como sendo 12 lâmpadas de 10W

Com essa demanda, chegamos à tabela 4.9 abaixo, que calcula quanto será o gasto anual com a conta de energia (base Eletropaulo):

Tabela 4.9 – Cálculo do gasto da residência analisada com energia elétrica, sem sistema híbrido.

Cálculo custo de Energia Elétrica - Sistema Convencional - Tarifa Energia Eletropaulo B1 RESIDENCIAL									
Tarifa Eletropaulo B1	TUSD (R\$/kWh)	Tarifa de Energia (R\$/kWh)	Tarifa de Energia (R\$/kWh)	Tarifa de Energia (R\$/kWh)	Consumo mensal (kWh)	Tarifa TUSD	Custo Tarifa Verde	Custo Tarifa Amarela	Custo Tarifa Vermelha
	R\$ 0,17096	R\$ 0,20086	R\$ 0,22586	R\$ 0,25586	639,99	R\$ 109,41	R\$ 128,55	R\$ 144,55	R\$ 163,75
Total mensal médio							R\$ 237,96	R\$ 253,96	R\$ 273,16
Total anual sem impostos							R\$ 2.855,53	R\$ 3.047,53	R\$ 3.277,93
ICMS							R\$ 951,84	R\$ 1.015,84	R\$ 1.092,64
COFINS							R\$ 158,53	R\$ 169,19	R\$ 181,98
PIS/PASEP							R\$ 34,55	R\$ 36,87	R\$ 39,66
Total anual com impostos							R\$ 4.064,82	R\$ 4.338,12	R\$ 4.666,09

E com o valor da tabela acima, temos que a economia da residência com energia elétrica será:

- Gasto inicial com energia elétrica: R\$ 10.472,39
- Gasto com energia conforme tabela 4.8 anterior: R\$ 4.666,09

Então a economia será da subtração desses valores: **R\$ 5.806,30.**

Haverá ainda a economia de R\$ 582,72 com água quente para banho.

Assim, sejam os gastos fixos de: **R\$ 141,22** (manutenção) e **R\$ 592,61**(gás), então a economia anual será de:

$$\begin{aligned} \text{Economia anual} &= R\$ 5.806,30 + R\$ 582,72 - R\$ 141,22 - R\$ 592,61 = \\ &R\$ 5.655,19 \end{aligned} \quad (23)$$

E o payback simples para o investimento será de:

$$\text{Payback (anos)} = \frac{R\$ 79.404,32}{\frac{R\$ 5.655,19}{ano}} = 14,04 \text{ anos} \quad (24)$$

Tempo que inviabiliza totalmente o investimento. Novamente considerando um payback de 7 anos, conforme o item anterior, teríamos que o investimento com o equipamento teria de ser de:

$$\text{Investimento máximo na tecnologia} = \frac{R\$ 5.655,19}{ano} * 7 \text{ anos} = R\$ 39.586,33 \quad (25)$$

4.3. ALTERNATIVA TECNOLÓGICA – GHP

Como já foi analisado anteriormente, é nítido que a tecnologia à qual foi estudada necessita de um alto investimento para implementação, ainda mais no Brasil que não possui indústria voltada para tal, cabendo ao proprietário importar o equipamento.

Essa conclusão nos faz classificar tal tecnologia como elegível a uma minoria da população, capaz de arcar com tais custos para ter maior segurança na geração de sua energia.

Assim, foi estudada uma alternativa tecnológica aos micro-cogeradores, chamada de GHP (Gas Heat Pump do inglês), no exterior vem sendo uma tecnologia bastante usada para sistemas de climatização (seja aquecimento ou resfriamento) de ambientes. Se trata de um motor a gás, de rendimento elevado, que por sua vez movimenta um compressor responsável pela movimentação do gás refrigerante, como podemos ver na figura 4.3 abaixo:

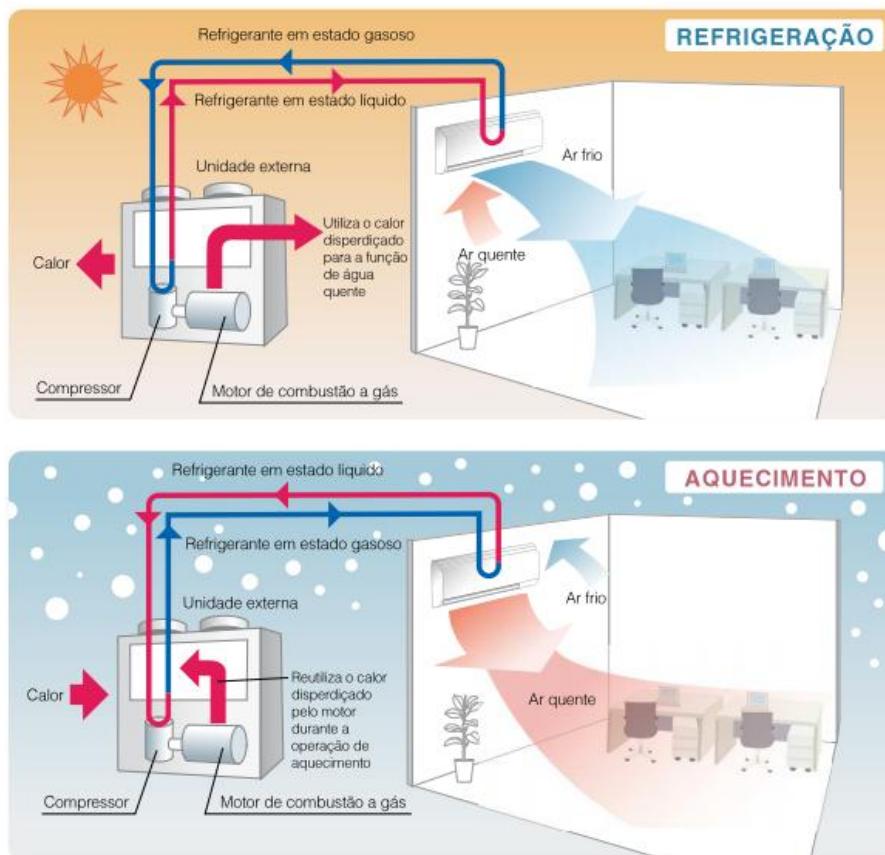


Figura 4.3 – Funcionamento de um *Gas Heat Pump*.

Fonte: Panasonic.

Então para o público alvo já mencionado anteriormente, teríamos um sistema de climatização para a residência e como na maior parte do tempo teríamos um sistema de resfriamento, dado as características climatológicas brasileira, teremos também a geração de água quente para consumo na residência, como pode ver novamente na figura 4.3 anterior.

Assim, serão analisadas 2 variantes dessa tecnologia, a GHP como já mencionado e a chamada GHP Power, uma variante da tecnologia onde há a presença de um gerador que fornece energia elétrica para o consumo na residência.

CLIMATIZAÇÃO RESIDENCIAL UTILIZANDO O GHP

O GHP é um sistema composto por um motor a gás, compressor e um acumulador. Essa configuração substitui um sistema de ar condicionado convencional e acaba por melhorar o rendimento do sistema como um todo, ao fornecer além de tudo, água quente para a residência, obtido através das trocas de calor que acontecem num sistema como esse.

Abaixo na figura 4.4, é possível verificar um esquemático desse sistema:

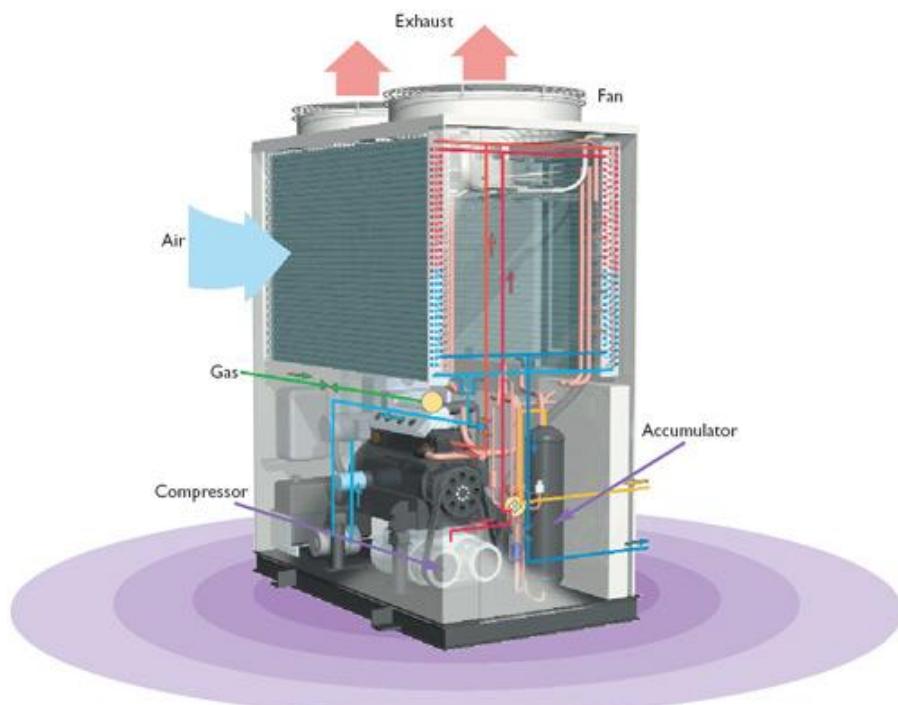


Figura 4.4 – Diagrama esquemático de um GHP.

Fonte: beairconditioning.co.uk.

Como não haverá mais o consumo de energia elétrica com o sistema de ar condicionado, conforme a tabela 4.3 temos que a economia com a energia consumida para a climatização do ambiente será de:

$$\begin{aligned} \text{Economia com ar condicionado} &= 756 \frac{kWh}{mês} * 0,25586 \frac{R\$}{kWh} * 12 \frac{meses}{ano} = \\ &2.321,16 \frac{R\$}{ano} \end{aligned} \quad (26)$$

Como esse sistema apenas substitui o ar condicionado, será então analisado o retorno do investimento analisado apenas com essa economia apresentada anteriormente.

Através de contatos obtidos com um dos fornecedores dessa tecnologia (Panasonic) durante a realização deste trabalho, obtivemos o valor de um sistema de GHP, que seria de aproximadamente US\$ 2.700,00 por tonelada de refrigeração, para um empreendimento de 100TR.

Mesmo considerando que para uma residência como a já dimensionada nos itens anteriores necessita de apenas 12 TR, iremos utilizar este valor acima informado para os cálculos de custo do equipamento, assim:

$$\text{Valor GHP} = \frac{\text{US\$ } 2.700,00}{TR} * 12 \text{ TR} = \text{US\$ } 32.400,00 \quad (27)$$

Considerando o dólar cotado a R\$ 3,14, teremos então o valor do investimento em reais:

$$\text{Valor GHP (R\$)} = \text{US\$ } 32.400,00 * \frac{R\$ 3,14}{US\$ 1} = R\$ 101.736,00 \quad (28)$$

Conforme o datasheet do fabricante apresentado na figura 4.5 (Sanyo/Panasonic), temos que o modelo de 20HP possui capacidade de refrigeração de 56kW, o que dá os 12TR que estamos procurando. Nele ainda temos que o consumo de gás é dado pela potência exigida deste, pelo fato do gás natural ter diferentes propriedades conforme diferentes nacionalidades.

Seja então a seguinte relação:

$$\text{Consumo gás } \left(\frac{m^3}{h} \right) = \frac{\text{consumo GN(kW)} * 860}{PCS} \quad (29)$$

Como dados em questão, teremos:

- consumo GN = 38.3 kW (considerado apenas para resfriamento);
- PCS gás natural COMGAS = 9400 kcal/m³

Então:

$$\text{Consumo gás } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) = \frac{38,3 \cdot 860}{9400} = 3,504 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \quad (30)$$

Para termos a mesma base comparativa, quanto ao uso do ar condicionado, será utilizado o dado de capacidade de resfriamento do modelo escolhido em questão, ou seja: 56 kW, como visto na figura 4.5.

HP		20	
Model name		SGP-EW190M2G2W	
Capacity	Cooling	kW	56.00
	Heating	STD	63.00
	Heating	Low temp*1	67.00
	Hot water		20.00
Electricity	Cooling	kW	1.35
	Heating		
Gas consumption	Cooling	kW	38.30
	Heating	STD	43.00
	Heating	LOW	56.40

Figura 4.5 – Dados presentes no datasheet do GHP da Sanyo/Panasonic.

Fonte: Sanyo/Panasonic.

Como o cálculo realizado na tabela 4.3 se utilizou de 4 ar condicionados com 1kW, funcionando durante 18 hrs por dia com um fator de utilização de 0,35, totalizando 756kWh mês, então teremos condições de uso do GHP que gerará o mesmo consumo de energia:

$$\text{Tempo uso GHP} = \frac{\text{Energia considerada}}{\text{Potência equipamento}} = \frac{756\text{kWh/mês}}{56\text{kW}} = 13,5 \frac{\text{h}}{\text{mês}} \quad (31)$$

Assim, para termos uma base de cálculo do consumo de gás para o GHP suprindo o ar condicionado:

$$\text{Gás consumido pelo GHP} = 3,504 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * 13,5 \frac{\text{h}}{\text{mês}} = 47,304 \frac{\text{m}^3}{\text{mês}} \quad (32)$$

Segundo a tabela 4.10 abaixo, esse volume consumido de gás gera um gasto de:

Tabela 4.10 – Memória de cálculo do consumo de gás com utilização do GHP, segundo resolução Arsesp nº 534.

Termo Variável (Cogeração)			Tarifas	Valores
1	0,00 a 5.000	47,304 m3	0,399122 R\$/m3	R\$ 18,88
2	5.000,01 a 50.000	0,00 m3	0,313437 R\$/m3	R\$ 0,00
3	50.000,01 a 100.000	0,00 m3	0,269829 R\$/m3	R\$ 0,00
4	100.000,01 a 500.000	0,00 m3	0,204970 R\$/m3	R\$ 0,00
5	500.000,01 a 2.000.000	0,00 m3	0,211882 R\$/m3	R\$ 0,00
6	2.000.000,01 a 4.000.000	0,00 m3	0,191783 R\$/m3	R\$ 0,00
7	4.000.000,01 a 7.000.000	0,00 m3	0,167813 R\$/m3	R\$ 0,00
8	7.000.000,01 a 10.000.000	0,00 m3	0,143839 R\$/m3	R\$ 0,00
9	> 10.000.000	0,00 m3	0,119310 R\$/m3	R\$ 0,00
Termo Variável			0,399122 R\$/m3	R\$ 18,88

COGERAÇÃO	Termo Fixo	0,961068 R\$/m3	R\$ 45,46
	Valor fatura s/ ICMS		R\$ 64,34
	Valor fatura c/ ICMS	R\$ 73,12	
	Tarifa média s/ ICMS	1,360190 R\$/m3	
	Tarifa média c/ ICMS	1,545670 R\$/m3	

Assim, o gasto anual com gás natural, utilizando-se do GHP será:

$$\text{Gasto anual com gás (GHP)} = \frac{\text{R\$ } 73,12}{\text{mês}} * \frac{12 \text{ meses}}{\text{ano}} = \text{R\$ } 877,44 \quad (33)$$

Como o sistema GHP substituirá o sistema de ar condicionado, então teremos a economia de R\$ 3.500,00 por TR. O que gerará uma economia de:

$$\text{Economia com sistema de AC convencional} = \frac{\text{R\$ } 3.500,00}{\text{TR}} * 12 \text{ TR} = \text{R\$ } 42.000,00 \quad (34)$$

Como já vimos que a economia de energia com o GHP será de **R\$ 2.321,16**, a economia com água quente para banhos e torneiras será de **R\$ 582,72**, contra um custo anual com o gás de **R\$ 877,44**, então a economia anual com esse novo sistema será de:

$$\begin{aligned} \text{Economia anual com GHP} &= R\$ 2.321,16 + 582,72 + R\$ 42.000,00 - \\ R\$ 877,44 &= R\$ 44.026,44 \end{aligned} \quad (35)$$

E o payback para esse financiamento será de:

$$\text{Payback (GHP)} = \frac{R\$ 101.736,00}{R\$ 44.026,44} = 2,31 \text{ anos} \quad (36)$$

Assim, o GHP tem uma ótima viabilidade financeira e tecnológica, segundo as características analisadas.

CLIMATIZAÇÃO RESIDENCIAL E GERAÇÃO DE ENERGIA UTILIZANDO O GHP POWER

A variante da tecnologia GHP, como já dito, utiliza-se de um gerador presente no sistema, para a geração de energia elétrica, abaixo na figura 4.6 é demonstrado como funciona o sistema:

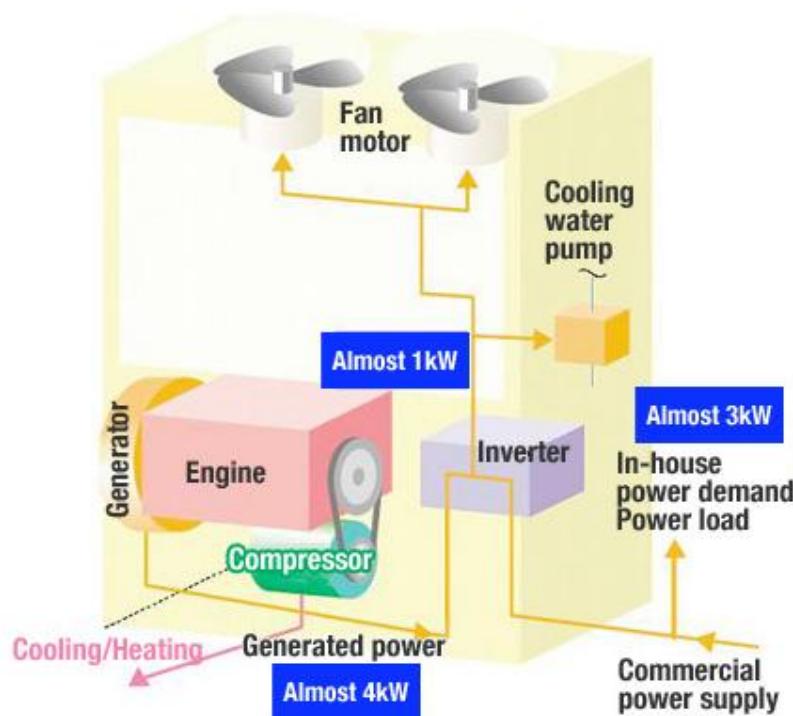


Figura 4.6 – Diagrama esquemático de um GHP Power.

Fonte: Osaka Gas.

Segundo documentação do equipamento ECO G Power (Panasonic/Sanyo), estudado nesse trabalho é semelhante ao GHP do estudo de caso anterior, tendo a mesma potência de climatização. Seu diferencial é a geração de até 4kW de energia elétrica, sendo essa na verdade variável entre 2kW e 4kW dependendo da característica de carga do ar condicionado, como podemos verificar na figura 4.7 abaixo:

Production of electricity

Generates from 2kW to 4kW depending on air conditioning load

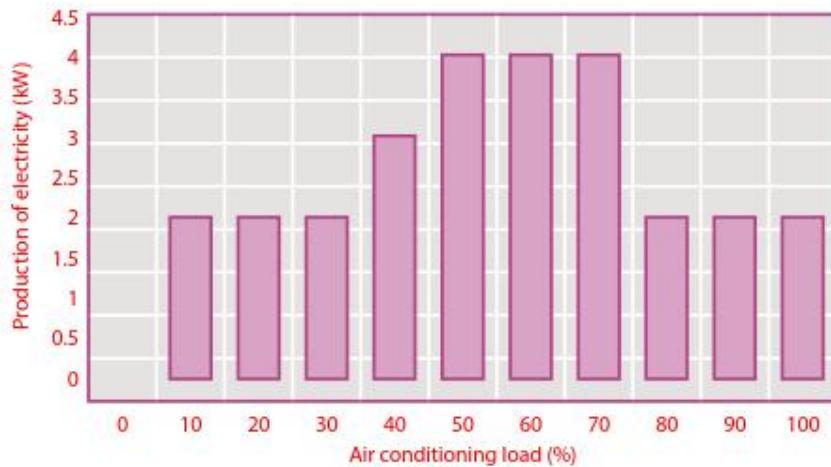


Figura 4.7 – Geração elétrica pelo ECO G Power, conforme comportamento do Sistema de AC. Fonte: Sanyo.

Para a análise de viabilidade dessa tecnologia, manteremos o consumo da residência na analisado, porém o sistema de GHP Power só funcionará 35% do tempo (aproximadamente 6 horas diárias, já que o ar condicionado está sendo considerado utilização de 18 horas diárias), como fora considerado com o ar condicionado normal (tabela 4.4).

Não haverá o consumo de energia pelo ar condicionado e teremos ainda a geração de energia elétrica (serão 4kW de geração, pois está sendo considerado que o ar condicionado funciona com carga de 70%) para o consumo dos demais equipamentos durante essas 9 horas.

Sem o consumo do ar condicionado, teremos o seguinte comportamento de consumo para a residência, conforme o gráfico 4.3 abaixo:

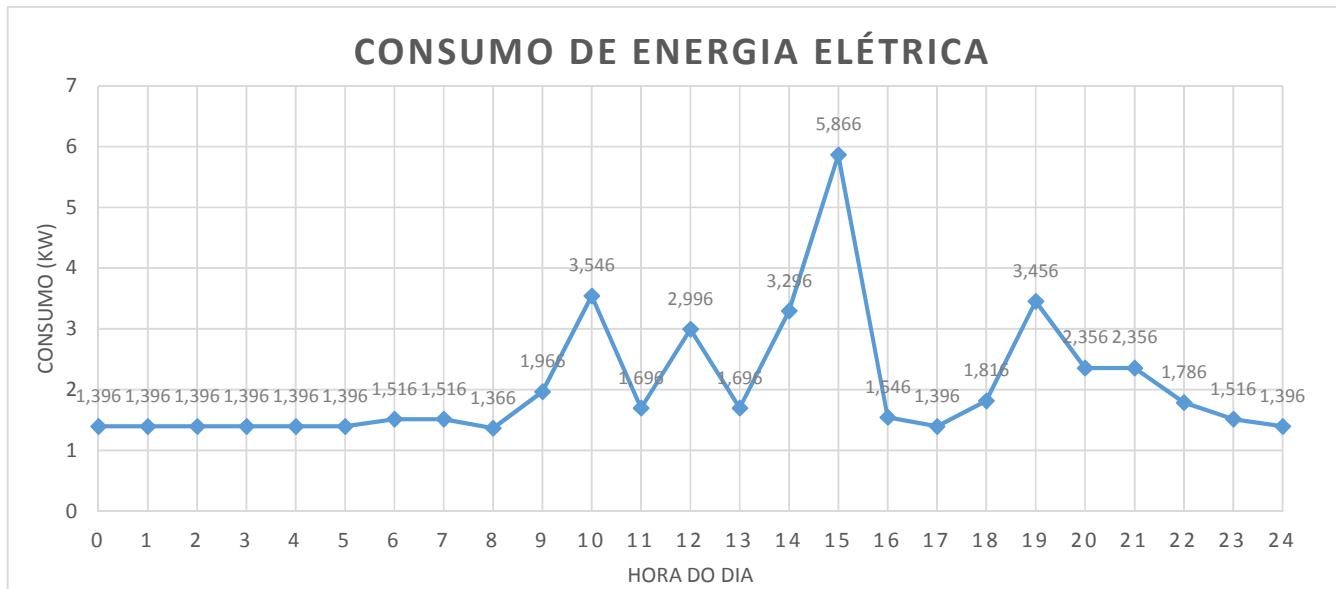


Gráfico 4.3 – Consumo de energia, sem a utilização do ar condicionado.

No gráfico anterior, fora adicionado o consumo dos próprios equipamentos para seu funcionamento, conforme temos na figura 4.8 abaixo:

HP	20		
Model	SGP-EGW190M2G2W		
Capacity	Cooling	kW	56.0
	Heating STD	kW	63.0
	Heating Low temp*1	kW	67.0
	Hot water	kW	22.0
Power generator capacity at rating		kW	DC 2.5 (Max 4.3)
Electricity	Cooling	kW	1.35
	Heating	kW	1.01
Gas consumption	Cooling	kW	44.0 (38.3)*
	Heating STD	kW	48.7 (43.0)*
	Heating LOW	kW	62.1 (56.4)*

Figura 4.8 – Dados técnicos para o ECO G Power.

Já o gráfico 4.4 abaixo, confronta a geração de energia pelo sistema x consumo de energia elétrica pela residência, foi considerado que da meia noite às 7 da manhã, que a carga do ar condicionado foi baixa, sendo assim a geração de energia elétrica será de apenas 2kW.

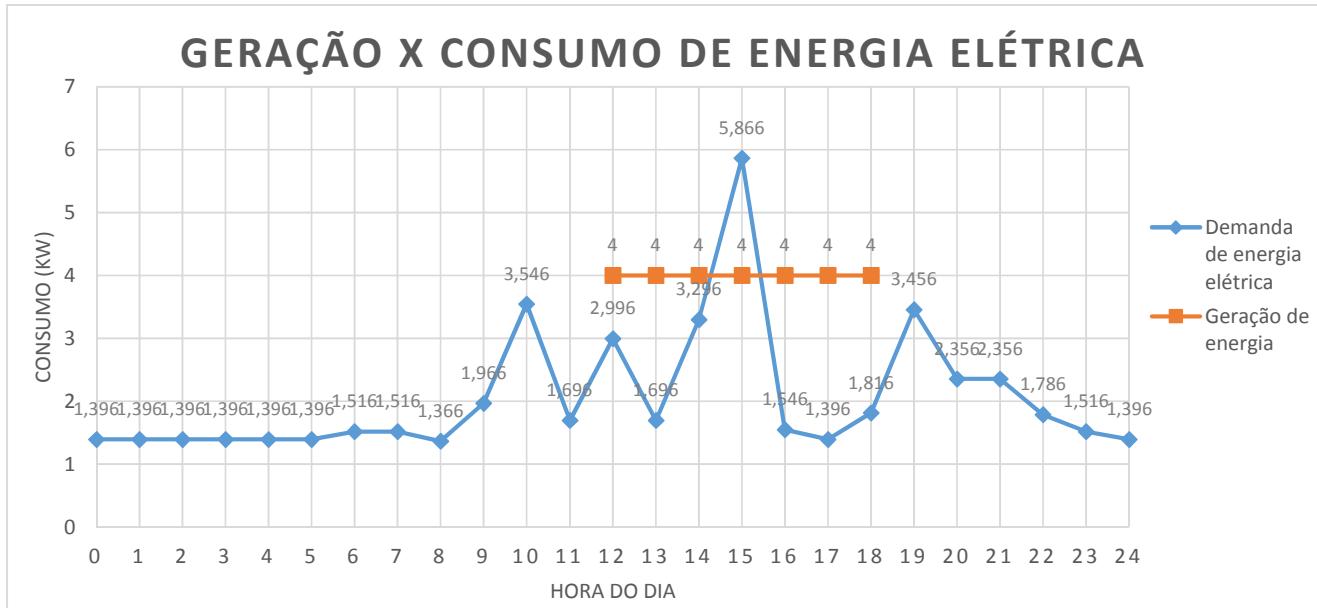


Gráfico 4.4 – Geração x consumo de energia elétrica, com a utilização do ECO G Power.

Assim, do gráfico teremos que o consumo de energia elétrica mensal será de **1041,42kWh** mensais e teremos a geração de excedente mensal de **11,254kWh** de energia elétrica.

Com visto na tabela 4.12 abaixo, serão gastos anualmente com energia elétrica **R\$ 7.592,86**, frente aos **R\$ 10.472,39** gastos com a conta de energia sem qualquer tipo de cogeração, já analisados anteriormente.

A economia com a energia elétrica será de:

$$\text{Economia com a conta de energia} = \text{R\$}10.472,39 - \text{R\$}7.592,86 =$$

$$2.879,53 \frac{\text{R\$}}{\text{ano}} \quad (37)$$

Nos demais horários, haverá exportação de energia elétrica para a rede, o que dará em retorno financeiro:

$$\begin{aligned} \text{Energia anual exportada} &= 11,254 \frac{\text{kWh}}{\text{dia}} * 30 \frac{\text{dias}}{\text{mês}} * 12 \frac{\text{meses}}{\text{ano}} = 4.051,44 \frac{\text{kWh}}{\text{ano}} = \\ &4.05144 \frac{\text{MWh}}{\text{ano}} \end{aligned} \quad (38)$$

Com essa quantidade de energia exportada para a rede, teremos então para cada um dos cenários de venda de energia o seguinte retorno financeiro:

- PLD:

$$\text{Retorno pela geração distribuída (PLD)} = 4,05144 \frac{\text{MWh}}{\text{ano}} * 388,48 \frac{\text{R\$}}{\text{kWh}} = \\ 1.573,91 \frac{\text{R\$}}{\text{ano}} \quad (39)$$

- CVU:

$$\text{Retorno pela geração distribuída (CVU)} = 4,05144 \frac{\text{MWh}}{\text{ano}} * \\ 1.169,67 \frac{\text{R\$}}{\text{kWh}} = 4.738,85 \frac{\text{R\$}}{\text{ano}} \quad (40)$$

- Preço intermediário:

$$\text{Retorno pela geração distribuída (PI)} = 4,05144 \frac{\text{MWh}}{\text{ano}} * 779,08 \frac{\text{R\$}}{\text{kWh}} = \\ 3.156,40 \frac{\text{R\$}}{\text{ano}} \quad (41)$$

Já os gastos com gás natural com o GHP Power será o do funcionamento do sistema por 6 horas diárias:

$$\text{Gás consumido pelo GHP} = 3,504 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * 6 * 30 \frac{\text{h}}{\text{mês}} = 630,72 \frac{\text{m}^3}{\text{mês}} \quad (42)$$

Segundo a tabela 4.11 abaixo, esse volume consumido de gás gera um gasto de:

Tabela 4.11 – Memória de cálculo do consumo de gás com utilização do GHP, segundo resolução Arsesp nº 534.

Termo Variável (Cogeração)			Tarifas	Valores																										
1	0,00 a 5.000	630,72 m3	0,399122 R\$/m3	R\$ 251,73																										
2	5.000,01 a 50.000	0,00 m3	0,313437 R\$/m3	R\$ 0,00																										
3	50.000,01 a 100.000	0,00 m3	0,269829 R\$/m3	R\$ 0,00																										
4	100.000,01 a 500.000	0,00 m3	0,204970 R\$/m3	R\$ 0,00																										
5	500.000,01 a 2.000.000	0,00 m3	0,211882 R\$/m3	R\$ 0,00																										
6	2.000.000,01 a 4.000.000	0,00 m3	0,191783 R\$/m3	R\$ 0,00																										
7	4.000.000,01 a 7.000.000	0,00 m3	0,167813 R\$/m3	R\$ 0,00																										
8	7.000.000,01 a 10.000.000	0,00 m3	0,143839 R\$/m3	R\$ 0,00																										
9	> 10.000.000	0,00 m3	0,119310 R\$/m3	R\$ 0,00																										
Termo Variável			0,399122 R\$/m3	R\$ 18,88																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">Termo Fixo</td> <td style="padding: 2px;">0,961068 R\$/m3</td> <td style="padding: 2px;">R\$ 606,16</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="padding: 2px;"></td><td style="padding: 2px;">Valor fatura s/ ICMS</td></tr> <tr> <td colspan="2" style="padding: 2px;"></td><td style="padding: 2px;">R\$ 857,90</td></tr> <tr> <td colspan="2" style="padding: 2px;"></td><td style="padding: 2px;">Valor fatura c/ ICMS</td></tr> <tr> <td colspan="2" style="padding: 2px;"></td><td style="padding: 2px;">R\$ 974,89</td></tr> <tr> <td colspan="2" style="padding: 2px;"></td><td style="padding: 2px;">Tarifa média s/ ICMS</td></tr> <tr> <td colspan="2" style="padding: 2px;"></td><td style="padding: 2px;">1,360190 R\$/m3</td></tr> <tr> <td colspan="2" style="padding: 2px;"></td><td style="padding: 2px;">Tarifa média c/ ICMS</td></tr> <tr> <td colspan="2" style="padding: 2px;"></td><td style="padding: 2px;">1,545670 R\$/m3</td></tr> </table>				Termo Fixo	0,961068 R\$/m3	R\$ 606,16			Valor fatura s/ ICMS			R\$ 857,90			Valor fatura c/ ICMS			R\$ 974,89			Tarifa média s/ ICMS			1,360190 R\$/m3			Tarifa média c/ ICMS			1,545670 R\$/m3
Termo Fixo	0,961068 R\$/m3	R\$ 606,16																												
		Valor fatura s/ ICMS																												
		R\$ 857,90																												
		Valor fatura c/ ICMS																												
		R\$ 974,89																												
		Tarifa média s/ ICMS																												
		1,360190 R\$/m3																												
		Tarifa média c/ ICMS																												
		1,545670 R\$/m3																												
COGERAÇÃO																														

Assim, o gasto anual com gás natural, utilizando-se do GHP será:

$$\text{Gasto anual com gás (GHP)} = \frac{\text{R\$ } 974,89}{\text{mês}} * \frac{12 \text{ meses}}{\text{ano}} = \text{R\$ } 11.698,68 \quad (43)$$

Assim, com os valores encontrados, a economia anual será de:

- PLD:

- Economia na conta de energia elétrica: **R\$ 2.879,53**;
- Economia com sistema de AC: **R\$ 42.000,00**;
- Economia com água quente para banho: **R\$ 582,72**;
- Venda de energia para a concessionária: **R\$ 1.573,91**;
- Economia total: **R\$ 47.036,16**

- CVU:
 - Economia na conta de energia elétrica: **R\$ 2.879,53**;
 - Economia com sistema de AC: **R\$ 42.000,00**;
 - Economia com água quente para banho: **R\$ 582,72**;
 - Venda de energia para a concessionária: **R\$ 4.738,85**;
 - Economia total: **R\$ 52.201,1**

- Preço Intermediário:
 - Economia na conta de energia elétrica: **R\$ 2.879,53**;
 - Economia com sistema de AC: **R\$ 42.000,00**;
 - Economia com água quente para banho: **R\$ 582,72**;
 - Venda de energia para a concessionária: **R\$ 3.156,40**;
 - Economia total: **R\$ 48.618,65**

O investimento para um sistema GHP Power é de aproximadamente 22% acima ao do GHP, conforme contatos com fornecedor. Então o investimento com a tecnologia será de:

$$\text{Valor GHP Power} = 1,22 * \text{Valor GHP (R\$)}$$

$$\text{Valor GHP Power} = 1,22 * \text{R\$ } 101.736,00 = \text{R\$ } 124.117,92 \quad (44)$$

E o payback para o investimento (considerando o investimento e os valores gastos anualmente com gás e manutenção) realizado será de:

- PLD:

$$\text{Economia anual(PLD)} = \text{R\$ } 47.036,16 - \text{R\$ } 11.698,68 = \text{R\$ } 35.337,48 \quad (45)$$

$$\text{Payback (GHP)} = \frac{\text{R\$ } 124.117,92}{\text{R\$ } 35.337,48} = 3,51 \text{ anos} \quad (46)$$

Com o valor de venda de energia pelo PLD, torna-se bastante viável o investimento, com um retorno de investimento em pouco mais de 3 anos e meio.

- CVU:

$$\text{Economia anual(CVU)} = R\$ 52.201,1 - R\$ 11.698,68 = R\$ 40.502,42 \quad (47)$$

$$\text{Payback (GHP)} = \frac{R\$ 124.117,92}{R\$ 40.502,42} = 3,06 \text{ anos} \quad (48)$$

Com o valor de venda de energia pelo CVU, torna-se bastante viável o investimento, com um retorno de investimento em pouco mais de 3 anos.

- Preço Intermediário:

$$\text{Economia anual(CVU)} = R\$ 48.618,65 - R\$ 11.698,68 = R\$ 36.919,97 \quad (49)$$

$$\text{Payback (GHP)} = \frac{R\$ 124.117,92}{R\$ 36.919,97} = 3,36 \text{ anos} \quad (50)$$

Com o valor de venda de energia pelo CVU, torna-se bastante viável o investimento, com um retorno de investimento em pouco mais de 3 anos e 3 meses.

Com os resultados obtidos, vimos que o investimento com o GHP Power é um investimento interessante no país. Consideramos casos extremos e acabamos por maximizar o retorno desse investimento, mas podemos analisar que se trata sim de uma solução atraente do ponto de vista tecnológico e com o investimento em P&D adequados, poderá se tornar mais atraente ainda.

Tabela 4.12 – Consumo anual pela residência com energia elétrica, utilizando-se do GHP Power.

Cálculo custo de Energia Elétrica - Sistema Convencional - Tarifa Energia Eletropaulo B1 RESIDENCIAL														
Tarifa Eletropaulo B1	TUSD (R\$/kWh)	Tarifa de Energia (R\$/kWh)	Tarifa de Energia (R\$/kWh)	Tarifa de Energia (R\$/kWh)	Consumo mensal (kWh)	Tarifa TUSD	Custo Tarifa Verde	Custo Tarifa Amarela	Custo Tarifa Vermelha					
							R\$ 0,17096	R\$ 0,20086	R\$ 0,22586					
Total mensal médio							R\$ 387,22	R\$ 413,26	R\$ 444,50					
Total anual sem impostos							R\$ 4.646,65	R\$ 4.959,08	R\$ 5.333,99					
ICMS							R\$ 1.548,88	R\$ 1.653,03	R\$ 1.778,00					
COFINS							R\$ 257,96	R\$ 275,31	R\$ 296,12					
PIS/PASEP							R\$ 56,22	R\$ 60,00	R\$ 64,54					
Total anual com impostos							R\$ 6.614,45	R\$ 7.059,18	R\$ 7.592,86					

5. CONCLUSÕES

Após passarmos por todos os pontos levantados nesse trabalho pudemos chegar à diversas conclusões que serão mostradas nos itens a seguir:

APLICAÇÕES DA TECNOLOGIA

Ao estudar a aplicação da tecnologia no exterior, verificamos que um dos pontos pelo qual a micro-cogeração acaba sendo bem difundida se dá pelo fato das residências já se utilizarem de gás natural para calefação da residência. Sendo assim, adicionando um cogerador faz com que seja utilizada de forma muito mais inteligente e eficaz o mesmo combustível que antes já usara.

Como o Brasil não é um país conhecido pelas altas amplitudes térmicas, se faz necessária a tropicalização da solução (e não somente da tecnologia), ou seja, o estudo sobre as aplicações que poderiam se fazer utilizadas em nosso território nacional. Possibilidades de utilização a água quente para a refrigeração dos ambientes poderia ser uma delas, como verificado com o GHP, porém outras tecnologias e até melhorias para que os equipamentos se adequem às nossas necessidades sempre serão bem-vindas.

Uma condição da utilização da tecnologia é a que o equipamento sempre esteja em pleno funcionamento, ou seja, esteja em sua plena carga. Todos os fornecedores os quais obtivemos dados técnicos informam que a não utilização do sistema à plena geração faz com que o rendimento seja prejudicado, e acabam por nem informar qual seria tal perda. Assim, um cenário que seria inicialmente considerado era o de carga variável (sem geração de excedente), o que consumiria menos gás natural, porém não haveria a possibilidade de venda de energia. E dado à informação técnica mencionada, não foi levado em diante esse cenário.

O que fora analisado é que um dos entraves para a viabilidade do proposto nesse trabalho é o custo para a implementação de um sistema desses, seja com a própria tecnologia, seja com os valores gastos com o gás natural. Então se faz necessária uma grande análise não só para ver do ponto de vista técnico o que seria melhor para a residência (ponto de vista de rendimento, energia fornecida,

etc), mas sim fazer uma maximização da melhor solução, tendo em vista que vimos que as melhores soluções se deram com menos exportação de energia elétrica para a rede.

CLASSE SOCIAIS APLICÁVEIS

Como analisamos no item referente ao potencial brasileiro, o perfil de um possível consumidor brasileiro da tecnologia estudada é o de alto poder aquisitivo. Fora feita até uma análise até confiante demais sobre quais camadas ou níveis da população que poderiam fazer uso da cogeração residencial, algo que no item viabilidade financeira pudemos ver que tal não seria tão abrangente como esperado. Cerca de 1% das residências somente conseguiria efetivamente pagar o investimento e não os 5% do potencial.

Não fora alterado o item referente ao potencial, até para que pudéssemos ver o quanto a questão financeira e a falta de incentivos à indústria local e a campanhas para diversificação na matriz energética (através de incentivos fiscais, taxas reduzidas, etc) podem e fazer diferença. Mesmo sendo levemente positivo quanto a camada da população que poderia consumir tal tecnologia, pudemos observar que isso geraria um atendimento de 1% da energia produzida hoje com a matriz atual (com apenas 5% das residências utilizando a tecnologia).

PRINCIPAIS BENEFÍCIOS

Dos benefícios que podem ser elencados oriundos desta tecnologia, não podemos deixar de falar sobre a grande contribuição que essa geração distribuída pode ter no fornecimento de energia elétrica do país, desonerando a atual matriz energética brasileira e com isso, os riscos da falta de energia seriam menores.

A geração distribuída em si auxilia na menor dependência da matriz energética, uma vez que o autoprodutor em caso de algum problema na geração, não sofrerá com blackouts e além disso permite uma melhor utilização da energia gerada, pois o consumidor estará perto do ponto de geração ou no caso da micro-cogeração, ele será o autoprodutor.

O caso do acidente em Fukushima oriundo de um tsunami, mostrou o quanto um planejamento e uma forte política energética (favorecendo a geração distribuída) pode auxiliar uma cidade ou uma nação em situações de emergência, quando hospitais e pontos críticos possuíam esse tipo de tecnologia e conseguiam suprir a demanda energética, possibilitando o auxílio à população.

Isso deixa claro que não só a tecnologia principalmente estudada nessa monografia, a cogeração em residências, mas também a cogeração de pequeno porte que atende a pontos estratégicos que têm a necessidade do fornecimento de energia elétrica ininterrupta. Hoje, diversos deles no país possuem geradores à diesel para essas situações, porém a cogeração pode vir e suprir a mesma necessidade com altíssimo rendimento e menor impacto ambiental.

BARREIRAS

As barreiras encontradas para a difusão da tecnologia no país já se iniciam com um problema recorrente: a falta de incentivo à pesquisa e desenvolvimento delas no país, contando assim com importações de equipamentos e sujeito a alta taxa de impostos.

Como ainda não se trata de tecnologia difundida, nem que seja um real reconhecimento da existência da mesma, até porque a própria cogeração não é difundida, faz com que qualquer possibilidade de incentivos fiscais não exista.

Como a tecnologia estudada é toda projetada para condições ambientais que não são as que possuímos no Brasil, se faz a necessidade de estudo e tropicalização desta, como já mencionado nas conclusões quanto as suas aplicações. Como não temos ainda esse incentivo, acabamos por ter de utilizar uma tecnologia que não fora idealizada para nossas condições e que talvez possam não gerar o benefício por completo quanto imaginado.

Há a necessidade do país em não só prover uma legislação que possa dar subsídios para o desenvolvimento de tecnologias de geração de energia, mas também que essa seja seguida realmente seguida. Acredito que o país até hoje tem mostrado que só age ou reage em cima de situações de crise, faltando e muito planejamento à longo prazo.

Ainda sobre a legislação, podemos citar a questão da dificuldade que ainda temos na conexão com o SIN, que melhoraram com a resolução N° 482/2012 mas que ainda geram problemas para os consumidores, a falta de taxas diferenciadas para a geração distribuída que inibem à autoprodução. Como fora explorado no item 3.1, nos países que estão na vanguarda dessa tecnologia, há pelo menos um desses incentivos (seja em tarifação ou fiscal) auxiliando o setor a ter maior aderência da população.

O fato de termos o desacordo de mentalidade entre o CONFAZ e a ANEEL sobre a cobrança do ICMS, conforme explorado no item 3.5, já mostra ainda a confusão que existe no setor, bem como a barreira fiscal que o setor atravessa.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2012. “**RESOLUÇÃO NORMATIVA N° 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012**”. 2012. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>, acessado em: Abril 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2014. “**Cadernos Temáticos ANEEL – Micro e Minigeração Distribuída: Sistema de Compensação de Energia Elétrica**”. 2014. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/caderno-tematico-microeminigeracao.pdf>>, acessado em: Abril 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2015. “**Relatório de acionamento das bandeiras tarifárias**”. 2015. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Relatorio do Acionamento das Bandeiras Tarifarias julho2015.pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Relatorio_do_Acionamento_das_Bandeiras_Tarifarias_julho2015.pdf)>, acessado em: Maio 2015.

ANDREOS, R., 2015. “**Tarifa GN Comgas_Port534**”. Material de aula, disponibilizado em: Maio 2015.

ANDREOS, R., 2015. “**Legislação Cogeração**”. Material de aula, disponibilizado em: Maio 2015.

ARSALIS, A., 2011. “**Based on High Temperature Proton Exchange Membrane Fuel Cell Technology**”. 2011. Dissertação (Doutorado) – Faculty of Engineering and Science – Aalborg University. Disponível em: <<https://www.mysciencework.com/publication/file/5055696/modeling-and-simulation-of-a-100-kwe-ht-pemfc-subsystem-integrated-with-an-absorption-chiller-subsystem>>, acessado em Março 2015.

BANCO DE INFORMAÇÕES DE GERAÇÃO – ANEEL, 2015. “**Capacidade de Geração do Brasil**”. 2015. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>, acessado em: Abril 2015.

BARBIR, F., 2005. “**PEM Fuel Cells: Theory and Practice**”. Elsevier.

BARJA, G., J., A., 2006. “**A cogeração e sua inserção ao sistema elétrico**”. 2006. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/biblioteca/trabalhos/trabalhos/Dissertacao_Gabriel de Jesus.pdf](http://www.aneel.gov.br/biblioteca/trabalhos/trabalhos/Dissertacao_Gabriel_de_Jesus.pdf)>, acessado em: Abril 2015.

BARROSO, D.G., 2011. “**Estudo de cogeração em um gerador de células a combustível de membrana polimérica**”. 2011. Dissertação (Graduação) – Universidade Federal do Rio de Janeiro.

BAXI-SenerTec UK. “**DACHS Mini-CHP Product Brochure**”. Disponível em: <http://www.baxicommercial.co.uk/downloads/Dachs_mini_CHP_product_brochure.pdf>, acessado em: Maio 2015.

COGEN Europe, 2009. “**COGEN Europe Position Paper – Micro-CHP – A cost-effective solution to save energy, reduce GHG emissions and partner with intermitente renewables**”. 2009. Disponível em: <http://www.cogeneurope.eu/medialibrary/2013/07/10/3abaf321/COGEN%20Europe_micro%20CHP%20position%20paper.pdf>, acessado em Março 2015.

COGEN Europe, 2014. “**COGEN Europe Position Paper – Micro-CHP delivering energy savings in the framework of Energy Efficiency Directive**”. 2014. Disponível em: <http://www.cogeneurope.eu/medialibrary/2014/04/28/79fdf1be/28_04_2014_COGEN%20Europe_Position%20Paper_Micro-CHP%20delivering%20energy%20savings%20in%20the%20EED%20framework.pdf>, acessado em Abril 2015.

COGEN PORTUGAL. **Brochura sobre Micro-cogeração. 2011**. Disponível em <<http://www.cogenportugal.com/ficheirosupload/Brochura%20Micro-cogera%C3%A7%C3%A3o.pdf>>, acessado em Janeiro de 2015.

COGENERATION & On-site Power Production. 2009. “**Micro-CHP comes to North America – devices include gas-fired generator from Honda**”. 2009. Disponível em: <<http://www.cospp.com/articles/print/volume-10/issue-3/features/micro-chp-comes-to-north-america-devices-include-gas-fired-generators-from-honda.html>>, acessado em Abril 2015.

COMGÁS, 2014. “**TARIFAS DO GÁS NATURAL CANALIZADO**”. 2014. Disponível em: <<http://www.comgas.com.br/pt/nossosServicos/Tarifas/Paginas/residencial.aspx>>, acessado em: Maio 2015.

DE BONA, F., S., FILHO, E., R., 2004. “**As microturbinas e a geração distribuída**”. 2004. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC000000022004000100018&script=sci_arttext>, acessado em Abril 2015.

DIAS, M. V. X., BOROTONI, E. C., HADDAD, J., 2005, “**Geração distribuída no Brasil: oportunidades e barreiras**”, Revista Brasileira de Energia, vol. 11, n° 2, Disponível em: <<http://www.sbpe.org.br/socios/download.php?id=187>>, acessado em Janeiro de 2015.

ENERGY SOLUTIONS CENTER, 2012, “**Micro CHP (MCHP)**”. 2012. Disponível em:
[<http://www.energysolutionscenter.org/gas_solutions/micro_chp_mchp.aspx>](http://www.energysolutionscenter.org/gas_solutions/micro_chp_mchp.aspx), acessado em: Abril 2015.

G.L. SOLAR POWER, 2015, “**Net Metering**”. 2015. Disponível em:
[\(<http://www.glsolarpower.com/net-metering/>\)](http://www.glsolarpower.com/net-metering/), acessado em: Abril 2015.

GOLBACH, A., 2012. “**The New German CHP Law**”. 2012. Disponível em:
[<http://kwkkommt.de/fileadmin/Docs/The_new_German_CHP_law.pdf>](http://kwkkommt.de/fileadmin/Docs/The_new_German_CHP_law.pdf), acessado em Abril 2015.

GOMES, C. A. P. M., 2013. “**Estudo de cogeração em ciclo com células a combustível de óxido sólido**”. 2013. Dissertação (Graduação) – Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em:
[<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10006402.pdf>](http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10006402.pdf), acessado em Março 2015.

HINRICHES, R., A., KLEINBACH, M., 2003. “**Energy: it's use and the Environment**”. 2003. 3. Ed. São Paulo, SP: Thomson Learning Ibero, 2003.

JAPAN GAS ASSOCIATION, 2013. “**CHP Market & Policy Movement in Japan**”. 2013. Disponível em:
[<https://www.iea.org/media/workshops/2013/chp/SeitaShimizu.pdf>](https://www.iea.org/media/workshops/2013/chp/SeitaShimizu.pdf), acessado em Março 2015.

JORNAL DA UNIÃO EUROPEIA. **Directiva 2004/8/CE. 2004**. Disponível em
[<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2004:052:0050:0060:PT:PDF>](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2004:052:0050:0060:PT:PDF), acessado em Fevereiro de 2015.

LIMA, T., M., B., 2009. “**Estudo de um Sistema de Micro-Cogeração com Motor de Combustão Interna Acoplado a um Ciclo de Ejecção**”. 2009. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Disponível em:
[<http://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/57736/1/000134852.pdf>](http://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/57736/1/000134852.pdf), acessado em Fevereiro 2015.

LOPES, B.B., 2012. “**Motores de Combustão Interna**”. 2012. Disponível em:
[<http://brunobonfimlopes.blogspot.com.br/2012/02/mecanica-motores-de-combustao-interna.html>](http://brunobonfimlopes.blogspot.com.br/2012/02/mecanica-motores-de-combustao-interna.html), acessado em: Fevereiro 2015.

MANUALS ONLINE. “**SANYO SGP-EW190M2G2W Air Conditioner User Manual**”. Disponível em:
[<http://homeappliance.manualsonline.com/manuals/mfg/sanyo/sgpew190m2g2w.html>](http://homeappliance.manualsonline.com/manuals/mfg/sanyo/sgpew190m2g2w.html), acessado em: Maio 2015.

MOISÉS, M., A., M., 2008. “**Benefícios da cogeração a Gás Natural para o Estado de São Paulo**”. 2008. Disponível em: <www.maua.br/arquivos/dissertacao/h/f538c596e0165988751f47b641451f25>, acessado em Abril 2015.

MOREIRA, N., A., MONTEIRO, E., FERREIRA, S., 2007. “**Transposition of the EU cogeneration directive: A vision for Portugal**”. 2007. Disponível em: <http://www.academia.edu/9743666/Transposition_of_the_EU_cogeneration_directive_A_vision_for_Portugal>, acessado em Abril 2015.

ÖBERG, R., OLSSON, F., PÅLSSON, M., 2004. “**Demonstration Stirling Engine base Micro-CHP with ultra-low emissions**”. 2004. Rapport SGC 144 – Svenskt Gastekniskt Center. Disponível em: <<http://www.sgc.se/ckfinder/userfiles/files/SGC144.pdf>>, acessado em Março 2015.

OSAKA GAS. “**Principle of PEFC power generation**”. 2012. Disponível em: <<http://www.osakagas.co.jp/en/rd/fuelcell/pefc/pefc/index.html>>, acessado em Março 2015.

OSAKA GAS. “**GHP Equipped with Power Generator**”. Disponível em: <https://www.osakagas.co.jp/en/rd/technical/1198834_6995.html>, acessado em: Maio 2015.

PEREIRA, M., A., L., 2009. “**Estudo do desenvolvimento da integração de micro-cogeração em Portugal**”. 2009. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Disponível em: <[http://paginas.fe.up.pt/~ee98195/files/Tese_versao_provisoria_\(Marco_Lobo\).pdf](http://paginas.fe.up.pt/~ee98195/files/Tese_versao_provisoria_(Marco_Lobo).pdf)>, acessado em Fevereiro 2015.

RECEITA FEDERAL. “**SIMULADOR DO TRATAMENTO TRIBUTÁRIO E ADMINISTRATIVO DAS IMPORTAÇÕES**”. Disponível em: <<http://www4.receita.fazenda.gov.br/simulador/Simulacao-tag.jsp>>, acessado em: Maio 2015.

SAKATSUME, F. H., 2004. “**Uso de cogeração no setor residencial: a aplicação de mini e micro-cogeradores a gás natural**”. 2004. 328p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2004.

SECRETÁRIA DA FAZENDA. “**TABELA DE PRODUTOS NCM**”. Disponível em: <http://www.sefaz.mt.gov.br/portal/download/arquivos/Tabela_NCM.pdf>, acessado em: Maio 2015.

SOLAR ENERGY INDUSTRIES ASSOCIATION, 2015. “**Net Metering**”. 2015. Disponível em: <<http://www.seia.org/policy/distributed-solar/net-metering>>, acessado em: Maio 2015.

SILVA NETO, G., P., 2014. “**Estudo dos combustíveis aplicados à Micro-Cogeração**”. 2014. Dissertação (Graduação) – Universidade Federal da Paraíba, 2014. Disponível em: < <https://pt.scribd.com/doc/251998744/Estudo-Dos-Combustiveis-Aplicados-a-Micro-cogeracao>>, acessado em Fevereiro 2015.

SIMADER, G. R., KRAWINKLER, R., TRNKA, G., 2006. “**Micro CHP systems: state-of-the-art**”. 2006. Deliverable 8 (D8) of Green Lodges Project (EIE/04/252/S07.38608) – Austrian Energy Agency. Disponível em: < http://www.energiatalquid.ee/img_auth.php/f/fd/Micro_CHP_systems._State_of_the_Art.pdf>, acessado em Fevereiro 2015.