

P219 – Geração de Energia Elétrica em Residências com Uso de Célula a Combustível (SOFC*) a Gás Natural - Ciclo 2018/2019

Marcos Avó¹, Renato Franzin² & Guilherme Ary Plonski³

1 LUNICA CONSULTORIA

2 LSI - TEC

3 FIA

Resumo – A procura por novas formas de geração e distribuição de energia tem sido constante nos últimos anos. No Brasil e no mundo, enfrenta-se o desafio de construir-se uma matriz energética mais equilibrada e que permita o trabalho com diferentes fontes de energia, de preferência com flexibilidade. Entende-se que o produto desenvolvido ao longo do projeto atende esta justificativa, uma vez que é uma nova forma de geração de energia distribuída. Além disso, utilizou-se da célula SOFC, justificada como de grande importância, uma vez que sua principal vantagem é a própria utilização de gás natural como combustível primário, como solução de praticidade, redução de custo, ganho de eficiência no processo como um todo e configuração de uma matriz energética mais protegida de riscos de abastecimento de outros energéticos. Não menos importante, entende-se que a materialização de conhecimento da tecnologia de células a combustível foi de grande valor e cumpriu com o propósito de manter a Comgás atualizada no tocante ao que existe de mais novo em pesquisa e desenvolvimento na indústria do Gás Natural em âmbito global.

Palavras-chave: Célula a Combustível; Inovação; Gás Natural; Estado de São Paulo; Comgás

Introdução

A Geração Distribuída no Brasil tem avançado de forma significativa, com domínio significativo dos painéis fotovoltaicos como solução. O Gás Natural apresenta participação muito tímida nessa matriz.

Este trabalho desenvolve solução tecnológica para a Geração Distribuída em que o Gás Natural é insumo primário, sem necessidade de reforma apartada, em equipamento aderente às condições construtivas vigentes no Brasil, ocupando o mesmo espaço previsto para o aquecedor de passagem nos edifícios atuais.

Procurou-se desenvolver uma integração de Células a Combustível de Óxido Sólido (SOFC) a aquecedores de passagem, com o propósito de viabilizar aquecedores totalmente independentes da energia elétrica e, sobretudo, a geração de energia excedente que permita o atendimento de demandas elétricas básicas nas residências brasileiras.

Na abordagem adotada, procurou-se fazer tanto o desenvolvimento técnico quanto procurou-se analisar as condições de

viabilização em termos financeiros e de negócio. LSI-TEC (Laboratório de Sistemas Integráveis Tecnológico), Lunica Consultoria e FIA trabalharam em conjunto, integrando competências.

Desenvolvimento

O presente projeto foi dividido em 4 etapas: (A) Entendimento da Tecnologia e Mercado de Células a Combustível no Mundo; (B) Ambiente Regulatório para a Microgeração Distribuída; (C) Desenvolvimento Técnico De Uma Célula SOFC e Integração com Aquecedores de Passagem; e (D) Análise de Mercado e Viabilidade Financeira. Tais etapas são apresentadas resumidamente a seguir:

A. *Entendimento da Tecnologia e Mercado de Células a Combustível no Mundo.*

A análise da tecnologia e do mercado de células a combustível baseou-se em pesquisas secundárias de referências técnicas e de analistas sobre o tema, como a *E4Tech*, que fornece informação sobre as características de

diferentes células a combustível, suas aplicações, sua atuação em outros países em que essa já está mais presente e as tendências dessa tecnologia para os próximos anos. Complementarmente, foram analisadas outras tecnologias de substituição das células combustível, como energia solar, a fim de se entender qual seria a vantagem competitiva que a primeira teria quando aderisse ao mercado.

No sentido de expandir o entendimento da difusão da tecnologia em outros países, explorou-se a evolução histórica das células combustíveis e seus principais programas de incentivo para sua difusão.

Por fim, foram realizadas visitas ao ISH 2019, em Frankfurt/Alemanha, principal evento que trata de aquecimento de água no mundo, com o propósito de obter visões acerca das inovações envolvendo a tecnologia de célula combustível e de aquecedores de passagem.

B. Ambiente Regulatório para a Microgeração Distribuída

a. Mercado de Microgeração Distribuída.

A partir da resolução normativa 482 de 2012, que trata do acesso às redes de distribuição pela micro e minigeração - chamada geração distribuída - foram analisados os casos em que essas são aplicadas e sua representatividade tanto por característica da instalação quanto por tipo de fonte energética utilizada. Observamos que a resolução normativa faz muita referência a energia solar e que a energia gerada através do Gás Natural não é considerada como geração distribuída.

Vemos que as normas estabelecidas em 2012 foram importantes para dar o “empurrão inicial” com a oferta de regras extremamente favoráveis aos usuários que investiram na geração distribuída, de forma que o país alcance uma potência instalada de 4,5 GW até 2024. A revisão da resolução pode ser uma medida necessária para que o Gás Natural seja considerada uma fonte de geração distribuída, assim como em países europeus.

b. Cenário de “apagões” no Brasil.

A ocasião da queda de energia inesperada (“apagão”) para a região metropolitana de São Paulo é uma realidade que atinge muitos dos moradores da capital paulista. Dito isso, a substituição de geradores de energia por um

aquecedor a célula combustível é entendida como potencial solução para esse desafio.

Analisando os dados de FEC (Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) e DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) para a região de concessão da Enel, observamos que em 2017, além de regiões com grande quantidade de consumidores terem ficado sem energia acima do tempo regulado pela concessionária, observamos que regiões “nobres” também enfrentaram a mesma dificuldade.

A introdução de uma solução de aquecedor de passagem que consiga fornecer energia para a residência durante esse tempo de “apagão” se torna interessante, uma vez que pode atender tanto regiões com muitos consumidores quanto regiões mais nobres da capital paulista.

c. Regulações Internacionais.

A utilização de células a combustível já está bastante propagada nos Estados Unidos da América e na Alemanha. Ambos países possuem regulações que abarcam o assunto de células a combustível abastecidas pelo gás natural e promovem incentivos para sua utilização.

Nesse contexto, foram comparadas diversas leis regulamentadas em diferentes estados estadunidenses e na Alemanha que consideram a geração de energia através da célula a combustível como geração distribuída e passíveis do net metering. Garantindo o abatimento da energia gerada da conta de luz do usuário ou na compra do equipamento.

d. Regulação Nacional.

A revisão da Resolução Normativa 482/2012, principal regulação que classifica os energéticos aptos a micro e minigeração, que está agendada para final de 2019, ampliará de forma expressiva o desenvolvimento econômico, social, ambiental, elétrico, energético e estratégico do País.

No entanto, apesar de ainda existirem assuntos como comercialização do excedente de geração da micro e minigeração, a maior parte permeia principalmente as instalações fotovoltaicas (instalações de energia renovável ou cogeração qualificada), não fazendo menção a viabilização do gás natural como uma fonte relevante para cogeração qualificada.

Outra regulação também que abarca a tecnologia de célula combustível é a Resolução Normativa 235/2006, que classifica como cogeração qualificada quando a tecnologia atinge os requisitos mínimos de eficiência térmica e elétrica, o que possibilitaria a compra do gás natural pelo consumidor com um preço reduzido, garantindo assim uma possível viabilidade do equipamento.

e. Poluição Atmosférica e Sonora.

Para suprir quedas inesperadas de energia (“apagão”), usuários têm procurado Geradores Estacionários de Energia Elétrica para que esses forneçam energia para suas residências em situações como essas.

No entanto, pelo fato desses geradores serem abastecidos com combustíveis derivados do petróleo (Diesel ou Gasolina), o próprio manuseio e a geração de poluentes os torna prejudiciais à saúde.

Dessa forma, analisamos a emissão tanto de poluentes atmosféricos quanto sonoros dos geradores a combustível de forma que possamos comparar com a poluição emitida pelo aquecedor de passagem com a célula combustível acoplada, com o propósito de mensurarmos os ganhos qualitativos que o consumidor final terá ao adquirir a tecnologia.

C. Desenvolvimento Técnico De Uma Célula SOFC e Integração com Aquecedores de Passagem.

a. Aquisição de Equipamento de Terceiro.

Primeiramente, foram mapeados fabricantes de células a combustível que teriam potência semelhante à desejada e, após o mapeamento, foi adquirida a célula combustível da empresa Ultra Electronics de 250W, tendo como objetivo a construção de aprendizados a partir de testes com equipamento de geração de energia elétrica através de célula a combustível, tendo gás natural como insumo primário.

Após a aquisição, realizaram-se testes com intensa interação com o fornecedor, variando-se cargas, tempos e gases utilizados, para a concretização de aprendizados.

b. Construção das Membranas para as Células SOFC.

A fase de construção das membranas foi dividida em 4 etapas (Membranas adquiridas no exterior; Membranas construídas em nosso

laboratório; Ativação das membranas no forno; e Montagem das membranas na célula adquirida).

A partir da elaboração dessas 4 etapas, foram construídos aprendizados quanto ao desenvolvimento técnico.

Concluiu-se que é possível construir células mais baratas por meio dos equipamentos de deposição especiais em ambiente laboratorial, pois eles garantem menor uso de catalisadores caros (platina). No entanto, tais células têm vida útil bastante reduzida em relação às células com outros materiais.

A produção em grande escala parece ainda desafiadora, dado que os equipamentos de deposição são caros e seu uso exige alta capacitação técnica, porém uma grande escala poderia tornar viável.

Por fim, a possibilidade de criar células customizadas de diferentes tamanhos e formas permite, por exemplo, o desenvolvimento de células feitas especialmente para serem integradas a aquecedores de passagem, obtendo maior eficiência e ocupando menos espaço.

c. Integração da Célula com Aquecedor de Passagem.

Uma expectativa aqui foi avaliar se o conceito imaginado no início do projeto é funcionalmente factível, ou seja, se é possível ter uma célula SOFC e um aquecedor de passagem que funcionem de forma integrada e independentemente a partir de uma mesma infraestrutura de Gás Natural e de gases de exaustão.

Em conjunto com a Rinnai, fabricante que apoiou este projeto, foi selecionado um aquecedor de passagem para ser usado nos testes de integração. O modelo selecionado foi o E21 (REU-E210 FEHB). Além de atender todos parâmetros desejados, o controle utilizava tecnologias eletrônicas atuais, que teoricamente facilitaria a integração com os controles da célula.

Buscamos os melhores pontos para interconexão elétrica dos equipamentos e foram realizados diversos testes, sendo que em alguns deles verificamos algumas limitações.

O aquecedor utilizado contém um grau de integração de controle bastante alto, tornando a conexão de sistemas externos dificultada, uma vez que os pontos ideias muitas vezes não se apresentavam disponíveis.

Como havia sido alcançado um bom desempenho, em termos de energia gerada, resolvemos tentar alimentar o aquecedor de

forma convencional, externamente ao controle. Isso foi possível utilizando um inversor encontrado comercialmente.

Realizamos testes que demonstraram a viabilidade da solução. Sendo assim, partimos para testes juntando-se as tubulações de exaustão dos dois equipamentos, para verificarmos a viabilidade do compartilhamento, com ambos equipamentos ainda apartados.

Foram realizados testes funcionais para integrarmos as lógicas de funcionamento dos equipamentos. Conforme dito anteriormente, não foi possível integrar os controles dos equipamentos, então iniciou-se a configuração para funcionamento integrado, porém utilizando a lógica de cada equipamento em separado.

Depois de vários testes em diversas configurações, chegamos a uma montagem que atenderia o funcionamento desejado. Os componentes integrados foram os seguintes: aquecedor de passagem, célula a combustível, bateria e inversor.

Por fim, o equipamento conseguiu atingir a geração de 250W, suficiente para o funcionamento autônomo do aquecedor de passagem e fornecimento externo para residência. Vale lembrar que, no caso de acionamento do aquecedor de passagem (apenas para água quente), durante o tempo de pré-aquecimento, a energia é fornecida pela bateria interna.

d. Conclusões e Aprendizados do Desenvolvimento Técnico.

As principais premissas do projeto foram validadas: é possível ter uma célula SOFC de 250 W de potência funcionando em harmonia com um aquecedor de passagem, no espaço adequado e por longos períodos (testes por mais de 8 horas contínuas foram realizados com sucesso).

Atingiu-se, até mesmo antes da conquista do item anterior, uma solução de integração entre SOFC e aquecedor de passagem que tornou o aquecedor completamente independente do fornecimento de energia elétrica.

Apesar do tempo de warmup ser um desafio do sistema integrado, é possível contornar este problema com dimensionamento da bateria do sistema. Com isso, a bateria fica responsável pela alimentação elétrica apenas durante o tempo de warmup.

O consumo de gás da célula começa em 28 L/h durante os primeiros minutos de tempo de warmup até 100 L/h para o funcionamento

pleno e geração de 250W, resultando em 20% de eficiência (PCI).

Este projeto não tratou de otimizações da integração entre aquecedor de passagem e SOFC. Exemplos de itens passíveis de otimizações no futuro, por fabricante potencial do equipamento, são os seguintes: Layout interno dos subsistemas do aquecedor, considerando a presença da SOFC; Aproveitamento do calor gerado pela célula, para fins de aquecimento da água fornecida para o usuário final; Unificação do sistema eletrônico do equipamento, de modo que SOFC e aquecedor utilizem o mesmo sistema.

D. Análise de Mercado e Viabilidade Financeira.

O equipamento em análise - que consiste em uma célula a combustível do tipo SOFC acoplada a um aquecedor de passagem - se trata de uma inovação em aplicações a Gás Natural, não existindo nada igual no mundo.

Buscamos responder em quais condições existirá viabilidade técnico-financeira. Isto é feito simulando a aplicação do nosso equipamento em diferentes situações de uso e, quando existente, comparando-o com a principal solução usada atualmente para aquele uso.

Elencamos 3 lógicas de uso com possíveis benefícios obtidos utilizando o equipamento integrado com a célula SOFC: Spot (Geração de energia elétrica apenas em situações de apagão); Horário de Pico (Geração de energia elétrica nos horários de pico e em situações de apagão) e ininterrupto (Geração de energia elétrica ininterrupta e em situações de apagão).

Além disso, como análise de cenários, alocamos essas 3 lógicas em 3 tipos de residências: Casa Individual; Apartamento em Edifício sem Gerador em Área Comum que Fornece Energia para as Unidades e Apartamento em Edifício com Gerador em Área Comum que Fornece Energia para as Unidades.

Dessa forma, tivemos a análise de 9 cenários para a utilização de nossa tecnologia em comparação com a utilizada atualmente.

a. Condições para a Viabilidade Financeira.

1) Casa Individual - Spot: Para que o Aquecedor (nome dado para referenciar o aquecedor de passagem acoplado com a célula combustível) seja viável nesta situação, o consumidor deve entender que os benefícios da solução com a célula a

- combustível compensam o alto custo de CAPEX pago. Este alto custo deve cair com o aumento da escala de produção de células a combustível no mundo e, estima-se, que com produções superiores a mil unidades, o CAPEX caia o suficiente para que a solução final seja atrativa o suficiente.
- 2) Casa Individual – Horário de Pico: A utilização do equipamento em horários de pico (com a tarifa branca elétrica residencial) melhora marginalmente sua viabilidade. Para isso, o equipamento teria que ser classificado de forma a utilizar uma tarifa de Gás Natural atrativa como a de Cogeração. Entende-se que esta seria uma situação muito mais interessante caso fosse utilizada uma célula com eficiência elétrica superior aos 20% considerado.
 - 3) Casa Individual – Ininterrupto: Não é viável financeiramente utilizar a célula a combustível para gerar energia de forma ininterrupta nas condições atuais, dado que o custo de geração dessa energia é mais caro do que a obtenção dela pela rede elétrica. Para que seja viável a geração de energia elétrica de forma ininterrupta é necessária uma eficiência elétrica de no mínimo 25%, e quanto maior esta eficiência, maior a economia anual obtida.
 - 4) Apartamento em Edifício sem Gerador-Spot: Para que o Aquecedor seja viável nesta situação, o consumidor deve entender que os benefícios da solução com a célula a combustível compensam o alto custo de CAPEX pago. Este alto custo deve cair com o aumento da escala de produção de células a combustível no mundo e, estima-se que, com produções superiores a mil unidades, o CAPEX caia o suficiente para que a solução final seja atrativa o suficiente.
 - 5) Apartamento em Edifício sem Gerador-Horário de Pico: A utilização do equipamento em horários de pico (com a tarifa branca elétrica residencial) melhora marginalmente sua viabilidade. Para isso, o equipamento teria que ser classificado de forma a utilizar uma tarifa de Gás Natural atrativa (como a de Cogeração, utilizada nesta simulação). Entende-se que esta seria uma situação muito mais interessante caso fosse utilizada uma célula com eficiência elétrica superior aos 20% considerado.
 - 6) Apartamento em Edifício sem Gerador – Ininterrupto: Não é viável financeiramente utilizar a célula a combustível para gerar energia de forma ininterrupta nas condições atuais, dado que o custo de geração dessa energia é mais caro do que a obtenção dela pela rede elétrica. Para que seja viável a geração de energia elétrica de forma ininterrupta é necessária uma eficiência elétrica de no mínimo 25%, e quanto maior esta eficiência, maior a economia anual obtida.
 - 7) Apartamento em Edifício com Gerador Central – Spot: Para que o Aquecedor seja viável nesta situação, o consumidor deve entender que os benefícios da solução com a célula a combustível compensam o alto custo de CAPEX pago. Este alto custo deve cair com o aumento da escala de produção de células a combustível no mundo e, estima-se, que com produções superiores a mil unidades, o CAPEX caia o suficiente para que a solução final seja atrativa o suficiente.
 - 8) Apartamento em Edifício com Gerador Central – Horário De Pico: A utilização do equipamento em horários de pico (com a tarifa branca elétrica residencial) melhora marginalmente sua viabilidade. Para isso, o equipamento teria que ser classificado de forma a utilizar uma tarifa de Gás Natural atrativa (como a de Cogeração, utilizada nesta simulação). Entende-se que esta seria uma situação muito mais interessante caso fosse utilizada uma célula com eficiência elétrica superior aos 20% considerado.
 - 9) Apartamento em Edifício com Gerador Central – Ininterrupto: Não é viável financeiramente utilizar a célula a combustível (nem o gerador a diesel) para gerar energia de forma ininterrupta nas condições atuais, dado que o custo de geração dessa energia é mais caro do que a obtenção da mesma da rede elétrica. Para que seja viável a geração de energia elétrica de forma ininterrupta é necessária uma eficiência elétrica de no mínimo 25%, e quanto maior esta eficiência, maior a economia anual obtida.

Resultados

Observamos, com apoio dos estudos de casos internacionais, que para o crescimento da tecnologia dentro de outros países, a tecnologia precisou contar com fortes incentivos estatais. Os principais formatos que possibilitaram a maior viabilização dessa foram as reduções nas tarifas e subsídio para a compra dos equipamentos.

Vemos no Brasil a pauta sobre a Regulação Normativa 482 que favorece significativamente a Energia Solar como solução para a geração distribuída e não contempla o gás natural. Regulações norte americanas e europeias qualificam o gás natural para incentivarem seu uso na geração de energia elétrica ao invés de motores a combustão.

Com o fornecimento de energia elétrica para a rede interna da residência, o suficiente para manter alguns equipamentos supridos com energia elétrica durante um “apagão”, entendemos que o equipamento desenvolvido pode ser pioneiro mundialmente em sua faixa de potência e função, além de estar em alinhamento com práticas globais de redução na emissão de CO2 com menor emissão de poluição sonora quando comparado com outras tecnologias de mesma utilidade.

Em relação ao desenvolvimento técnico, constatamos que, apesar do tempo de warmup ser um desafio do sistema integrado, é possível contornar este problema com o dimensionamento da bateria do sistema. Dessa forma, observamos que, além disso, existe muito espaço para otimizar o equipamento final para uma maior viabilidade.

Vemos que a tecnologia ainda possui diversos obstáculos para se tornar viável no Brasil e apresentar payback admissível pelo usuário comum. Desenvolvimentos técnicos orientados para o barateamento da solução ou mesmo formas criativas de uso da solução podem ser desdobramentos do desenvolvimento aqui realizado.

A produção de células a combustível em larga escala em âmbito mundial é fenômeno em andamento e que deve seguir auxiliando a viabilização financeira da solução ao longo dos próximos anos.

O apelo de proteção contra apagão e fornecimento de energia elétrica para a residência para a entrada desse equipamento no Brasil com o foco em clientes residenciais individuais no curto prazo, apesar de ser um dos grandes benefícios do projeto, tende a atender a nichos muito específicos do mercado. O equipamento poderá ser uma alternativa de conforto e proteção a apagões para clientes de nichos específicos.

Principais Referências

E4Tech, The Fuel Cell Industry Review 2017.

Disponível em: <

<http://www.fuelcellindustryreview.com/archive/TheFuelCellIndustryReview2017.pdf> >.