

# MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA BASEADA EM VEÍCULOS ELÉTRICOS ASSOCIADOS A CÉLULA DE ÓXIDO COMBUSTÍVEL SÓLIDO A ETANOL ACOPLADOS A TOMADAS DE BAIXA TENSÃO RESIDENCIAIS

<sup>1</sup>Fernando de Almeida Martins, <sup>1</sup>Rogério Cassares Pires, <sup>1</sup>Renato Romio, <sup>2</sup>Luis Possamai, <sup>3</sup>André Meffe, <sup>4</sup>Lucas de Paula Pinheiro Assunção

1 - Instituto Mauá de Tecnologia, 2 - AVL South America, 3 - Daimon Engenharia e Sistemas, 4 - Equatorial Energia

## RESUMO

Utilizando um veículo elétrico (VE) e uma célula a combustível de óxido sólido (SOFC) a etanol para a microgeração distribuída à rede elétrica de energia, o intuito é que a SOFC, desenvolvida pela AVL, produza energia o suficiente para recarregar o VE e contribuir para uma inovadora solução tecnológica de microgeração de energia elétrica enquanto o VE não estiver em movimento, gerando uma alta eficiência energética em termos de mobilidade e de microgeração distribuída de energia através do *Smart Grid*, além disso a utilização da SOFC com o etanol como combustível permite a redução das emissões de dióxido de carbono e ao gerenciamento de resíduos, visto que a SOFC possui o controle dos gases e resíduos emitidos. No momento em que o VE estacionar em um lugar com um ponto de energia elétrica equipado com uma tomada de uso específico de baixa tensão (TUE) do tipo residencial (220V/20A), além de o carregador bidirecional ter a função de recarregar o VE, ele deve permitir que a energia elétrica armazenada no conjunto de baterias do VE e/ou a energia gerada pela SOFC possa ser direcionada para fornecer a energia elétrica para o *Smart Grid* em que se estiver conectado de acordo com o que foi solicitado pelo Proprietário do VE (PVE) e determinado pelo Proprietário da Unidade Consumidora (PUC) através de um aplicativo e de um sistema de gerenciamento da operação de recarga bidirecional desenvolvido pela Daimon. A comunicação dos dados entre o VE, o carregador bidirecional, a SOFC e o sistema em nuvem ocorre por meio de módulos IoT (*Internet of Things*) desenvolvidos pelo Instituto Mauá de Tecnologia (IMT) utilizando tecnologias como *Power Line Communication* (PLC), *Message Queue Telemetry Transport* (MQTT), *Controller Area Network* (CAN), entre outras.



## **Aplicabilidade**

A aplicabilidade se dá pela utilização de infraestrutura com uma TUE para a microgeração de energia sustentável para o *Smart Grid*. Não é identificada uma limitação de aplicação por segmento ou setor econômico, dado que qualquer unidade consumidora com rede de baixa tensão na sua instalação elétrica pode utilizar e se beneficiar com os produtos gerados a partir deste projeto.

Nesse contexto, este desenvolvimento proporciona enormes benefícios para toda a sociedade dado que propicia as condições econômicas, dentro de mercados regulados e não regulados, necessárias para aumentar a inserção de mobilidade elétrica no Brasil, sem a necessidade de enormes investimentos públicos ou privados, alavancando simultaneamente resultados econômicos reais para todos os setores econômicos e produtivos no Brasil.

Ao longo do projeto, foram realizados, constantemente, testes de laboratório de *hardware* e simulações computacionais de avaliação de desempenho do sistema. No primeiro momento do projeto, a SOFC movida a etanol não é enxuta o suficiente para ser transportada pelo VE. Portanto, ela permanece em uma conexão externa, de maneira estacionária. O VE deve ser conectado com a estação de recarga bidirecional por meio de um plugue convencional do tipo CCS2.

## **Objetivo**

O aproveitamento dos recursos naturais do nosso país, aponta para o potencial do Brasil na produção de biocombustível. Assim, este projeto de P&D demonstra que os VEs em território brasileiro podem combinar com a geração de eletricidade por etanol via SOFC com a eletrificação distribuída vinda de baterias de VEs. Este seria, atualmente, um caminho interessante e que se demonstra viável para internacionalizar o biocombustível e transformá-lo em uma *commodity* negociável em bolsas de mercadorias. Semelhantemente a inovação deste projeto demonstra uma rota tecnológica e um novo setor econômico ainda não tão explorado para se tornar um segmento que contribuirá com o desenvolvimento do país em uma nova lógica de energia distribuída e de sustentabilidade. Portanto, o objetivo é a concepção, o desenvolvimento e a implantação de um sistema de comissionamento para a microgeração distribuída baseada em VEs associados a SOFC a etanol acoplados a TUEs ligadas ao *Smart Grid*.

## **1. INTRODUÇÃO**

A microgeração de energia distribuída associada a fontes de energia renováveis conectadas ao *Smart Grid* podem proporcionar ao consumidor final uma maior oferta de energia proveniente de produtores locais, apesar de a microgeração ser capaz de fornecer uma capacidade de até 75 kW [1]. Além disso, a pesquisa e o desenvolvimento por métodos de geração de energia mais eficientes buscam cada vez mais a miniaturização, a escalabilidade, a confiabilidade e a sustentabilidade a partir de fontes renováveis de energia a partir de biocombustíveis como o etanol, ou como fontes naturais de energia como a energia solar e a energia eólica.

Quando se fala em microgeração de energia associada a fontes renováveis de energia, fala-se muito em energia solar. Atualmente, a energia captada pelas placas fotovoltaicas pode ser armazenada em um banco de baterias para a utilização local, isolado da rede elétrica (*off-grid*), conectadas diretamente na rede elétrica sem a utilização de baterias (*on-grid*) ou, através de um sistema híbrido, funcionar com um banco de baterias ligado diretamente na rede elétrica [2].

No caso de VEs, o trem de força consiste, basicamente, em um conjunto de baterias, sistemas eletroeletrônicos de alta e de baixa potência e de um conjunto motor elétrico/transmissão. No caso, as baterias de Alta Tensão (HV) de um VE armazenam uma grande quantidade de energia que podem, em horários de pico, auxiliar no fornecimento e na distribuição da utilização da rede elétrica. Entretanto, no Brasil ainda não há normas para a permissão da utilização do recurso denominado de *Vehicle to Grid* (V2G), isto é, a capacidade de um VE injetar energia à rede elétrica.

Em relação a SOFCs, do ponto de vista de geração de energia, ao invés de uma célula a combustível gerar explosões como um motor a combustão interna, ela produz energia elétrica através de reações físico químicas entre alguns elementos. Além de maior eficiência do processo de transformação de energia, a energia térmica gerada pode ser muito relevante para sistemas de aquecimento de água, o que faz dela, à soma das eficiências, com um rendimento energético total de até 90% [3]. Uma vez que a SOFC esteja acoplada ao VE, a grande oportunidade de energia distribuída é de a energia estar no local onde o usuário está naquele momento, tornando-se uma energia distribuída dinamicamente em relação ao tempo e ao espaço. Isso significa que se o PVE estiver em um *shopping*, em um centro comercial, em uma universidade ou em uma residência, a energia elétrica disponível no seu conjunto VE e SOFC o acompanhará e, quando o preço da energia elétrica estiver com uma tarifa menor, por exemplo, no horário da madrugada, o PVE pode recarregar o seu VE com um preço menor do que a que ele vendeu.

No Brasil, o uso de células a combustível está ainda no começo em relação ao exterior. Fora isso, não há ainda uma indústria voltada para o desenvolvimento de células a combustível movidas a etanol [4]. O que, para o Brasil, é uma grande oportunidade dada as características deste combustível. Este projeto se propõe a desenvolver uma célula a combustível a etanol, garantindo a eficiência do processo e a sua sustentabilidade, a diminuição da poluição atmosférica, o uso consciente de recursos como água e energia, a redução das emissões de dióxido de carbono e o gerenciamento de resíduos

## **2. CONTEXTO**

### **2.1. Informações Gerais**

É importante ressaltar que o projeto proposto apresenta uma enorme contribuição ao estado da arte na integração de SOFCs a etanol na mobilidade elétrica. Ressaltando que o Brasil, tem um enorme potencial de produção, tornando o projeto uma janela de oportunidade não apenas a nível nacional, mas também a nível internacional na medida em que o Brasil pode se inserir nas cadeias globais de valor, participando da produção de componentes ou até mesmo sendo plataforma de exportação de veículos.

Integralmente, a pesquisa é altamente original já que inclui também sistema computacional com uma inovadora proposta de negócio “win-win” entre os proprietários de veículos e donos de prédios públicos e privados com interesse de reduzir o valor faturado de energia, dentro de um livre mercado com uma variação de custos dada pela oferta (veículos elétricos próximos) e demanda dada pelo consumo específico das instalações. De acordo com o ponto de vista de viabilidade econômica, são diversos os benefícios tanto para a sociedade como para o Grupo Equatorial auferidos pela inserção no mercado do novo dispositivo e do sistema desenvolvidos. Seguindo os parâmetros de avaliação da ANEEL, indicados no manual de P&D, foi identificada a viabilidade econômica do projeto nos grupos a seguir:

- A.5.5. Mercado da Empresa: o projeto proposto impactará no mercado de energia da empresa e de outras empresas do setor, reduzindo o custo da energia gerada ou adquirida e/ou influenciando nas variações de previsão do mercado futuro de energia elétrica.
- A.5.6. Eficiência Energética: o projeto de P&D pode proporcionar ganhos econômicos decorrentes da melhoria da eficiência energética no uso final.

Logo, o projeto deve apresentar um ganho efetivo e direto na receita operacional das concessionárias, uma vez que permitirá a diminuição e o deslocamento dos consumos das unidades consumidoras para fora dos horários de ponta gerando uma postergação de investimentos na rede.

Inicialmente, a proposta do projeto é de o VE comportar a SOFC e o Carregador Bidirecional de tal maneira que a única interface entre o VE e o meio externo seja um plugue para tomadas de uso específico de baixa tensão. Entretanto, para suportar a modularidade do sistema e a escalabilidade enquanto o sistema não é enxuto o suficiente, foram também pensadas as propostas de a SOFC e o Carregador Bidirecional ficarem do lado externo ao VE. Nesse caso, a SOFC pode também se conectar à Unidade Consumidora por meio de um plugue de baixa tensão. Semelhantemente, o Carregador Bidirecional se conecta à Unidade Consumidora por meio do plugue de baixa tensão e se conecta ao VE por meio de um plugue CCS2 comercial. A comunicação entre os módulos internos ao VE e o Carregador Bidirecional ocorre por meio de um protocolo de PLC entre o VE e o Carregador por meio do pino de Controle Piloto da conexão CCS2 através dos módulos IoT desenvolvidos.

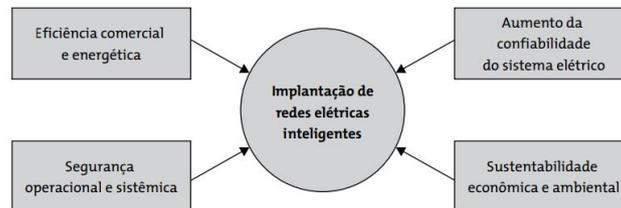
De qualquer forma, o objetivo principal é que a energia elétrica armazenada no VE e/ou gerada pela SOFC possa ser injetada na rede elétrica para cumprir o conceito de microgeração de energia. Nesse processo entra o conceito de *Smart Grid* e Qualidade de Energia. A seguir, foram descritos os principais sistemas do projeto quanto aos requisitos de *Smart Grid* e Qualidade de Energia, Baterias de Alta Tensão para VE, SOFC e Protocolos de Comunicação.

## 2.2. *Smart Grid*

O conceito *Smart Grid*, isto é, rede inteligente, consiste em atender várias demandas da sociedade moderna com pilares em necessidades energéticas e no desenvolvimento sustentável. A principal ferramenta para a implementação desse

conceito são o uso de *Smart Meters*, que significa medidores inteligentes com funções inovadoras como envio de eventos e alarmes, além da possibilidade de medição remota pois são dispositivos conectáveis à Internet. A Figura 1 demonstra um diagrama dos principais agentes motivadores para a implementação de redes elétricas inteligentes no Brasil [5].

Figura 1 — Motivadores para implementação de redes elétricas inteligentes no Brasil



Fonte: EDUARDO FAGUNDES, 2013

As concessionárias de energia, por intermédio dos *Smart Meters*, podem ter acesso a vantagens como a observação e identificação instantânea e precisa de uma queda no fornecimento na rede elétrica, proporcionando manobras automáticas que sejam capazes de reestabelecer o fornecimento de energia, além de poder reconhecer padrões de consumo e características do sistema como fraudes ou perdas.

Quanto aos sistemas de microgeração de energia elétrica de baixa tensão devem funcionar em perfeita sintonia com todo o sistema elétrico. Com isso, pode existir uma tendência de que, no futuro, a troca de grandes estações geradoras centralizadas por formas pulverizadas de microgeração distribuída, diminuindo os custos e democratizando a energia elétrica [5].

### 2.3. Qualidade de Energia

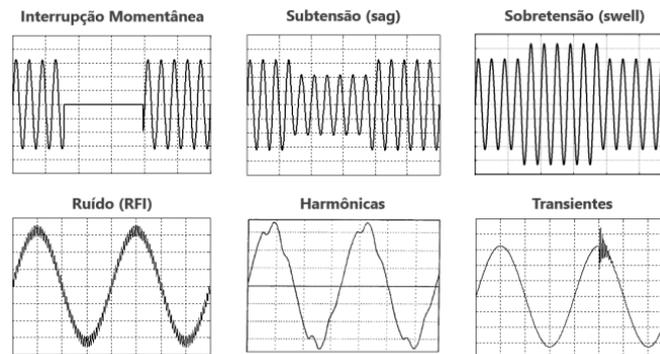
A partir da conexão de um sistema de microgeração distribuída acoplada à rede elétrica de distribuição, é necessária uma análise da qualidade de energia para que o sistema de devolução de energia elétrica a essa rede de distribuição siga os critérios estabelecidos pela ANEEL, conforme PRODIST, assim validando do sistema de compensação de energia [6].

A qualidade de energia elétrica, em termos simples, pode ser analisada sob o quão estável a energia é, se ela sofre ausências ou se ela possui algum comportamento irregular. Em termos técnicos, é possível associar a qualidade de energia a uma senóide fruto de um gerador. Desse modo, quanto mais próximo a medição da curva de tensão e a corrente alternada (CA) da energia estiver do seu formato original melhor é a sua qualidade. A variação e a alteração da forma da onda senoidal (Figura 2) pode se dar pela variação de tensão, pela variação de frequência e pelo incremento de harmônicas, de surtos, de ruídos e de desequilíbrios de tensão provenientes de cargas acopladas à rede elétrica, ocasionando um distúrbio de energia que deve ser injetado na rede elétrica de distribuição.

De acordo com a ANEEL: “3.4.1 O acessante deve garantir, ao conectar suas instalações, que não sejam violados os valores de referência no ponto de conexão estabelecidos em regulamentação específica para os seguintes parâmetros: a)

*distorções harmônicas; b) desequilíbrio de tensão; c) flutuação de tensão; d) variações de tensão de curta duração*”. Portanto, para a análise da qualidade de energia é necessário seguir alguns critérios estabelecidos na norma descrita em [7].

Figura 2 — Efeito de distúrbios na senóide



Fonte:AS3-ENGENHARIA, 2018

#### 2.4. Consumo Residencial Médio

O presente projeto também tem como um de seus objetivos a microgeração distribuída baseadas em VEs. Assim, como parte da avaliação do impacto da vida útil da bateria, foi proposta uma relação entre a energia fornecida por uma bateria de VE e a energia média consumida por residências na cidade de São Paulo. Segundo o Boletim Energético Fevereiro/2021, página 8, o consumo médio do ano de 2020 para uma residência do estado de São Paulo foi de aproximadamente 2,34 MWh [8]

#### 2.5. Bateria

No início dos anos 1900, o veículo elétrico era reservado para dignitários como Thomas Edison, John D. Rockefeller, Jr. e Clara Ford, esposa de Henry Ford. Eles escolheram esse transporte por sua viagem silenciosa em vez do motor de combustão interna vibrante e poluente [9]. Atualmente, os motoristas que se preocupam com o meio ambiente estão redescobrimo o VE, que estão sendo desenvolvidos com um apelo ainda mais atraente e com interface homem máquina mais interativa.

Conforme descrito em [9], a cultura do VE está desenvolvendo filosofias distintas, cada uma satisfazendo um grupo de usuários único. Isso é visível com os tamanhos dos veículos e as baterias a eles associadas. Um VE subcompacto vem com uma bateria que tem 12-18 kWh, um sedan familiar de tamanho médio tem um pacote de 22-32 kWh e os modelos de luxo da Tesla são autônomos com uma bateria superdimensionada de 60-100 kWh para fornecer autonomia estendida e alcançar alta performance. A vida útil de uma bateria de um VE é limitada quanto a capacidade de reter a carga é de 80% da condição inicial, tornando-a indesejável para esta aplicação, conforme [10], [11] e [12]. Após este período, podem ser utilizadas para bancos de bateria, por exemplo. Outra opção, é a reciclagem das células de bateria por meio de um processo de refinamento de materiais, utilizando grande parte novamente em um processo de fabricação de baterias para VEs [13].

A análise de impacto a ser realizada neste documento considerou o meio social e ambiental. O impacto socioambiental tratou de como a bateria pode ser reutilizada para que haja a sustentabilidade e a mobilidade elétrica não seja mais danosa em termos de emissão de poluentes em sua cadeia completa daquilo que já existe com os veículos movidos à combustão interna.

De acordo com [14], as baterias de íons de Lítio são usadas na maioria dos produtos eletrônicos portáteis, como telefones celulares e *laptops*, devido à sua alta energia por unidade de massa em relação a outros sistemas de armazenamento de energia elétrica. Eles também têm uma alta relação peso/potência, alta eficiência energética, bom desempenho em alta temperatura e baixa autodescarga. Em comparação a outros tipos, a bateria de Lítio-ion é a que permite com que o VE alcance uma maior autonomia [15]. A maioria dos componentes das baterias de íons de Lítio podem ser reciclados, mas o custo da recuperação do material continua sendo um desafio para a indústria. O Departamento de Energia dos EUA [14] também apoia o Prêmio de Reciclagem de Bateria de Íon de Lítio para identificar soluções para coleta, classificação, armazenamento e transporte de baterias de íons de Lítio usadas e descartadas para eventual reciclagem e recuperação de materiais. A maioria dos Veículos Elétricos Híbridos Plugáveis (PHEVs) e VEs atuais usam baterias de íons de Lítio, embora a química exata muitas vezes varie daquela das baterias de eletrônicos de consumo.

A durabilidade e o custo da bateria governam o sucesso do VE. Um mercado consumidor provavelmente se desenvolverá para um VE leve com uma bateria fornecendo autonomia de 160 km (100 milhas) ou menos. Este deve ser um carro subcompacto pertencente a um motorista que segue uma rotina de direção rigidamente controlada e segue um regime de recarga disciplinado. De acordo com a pesquisa, 90% do deslocamento envolve menos de 30 km. O mercado de VE também incluirá modelos de última geração para os ricos que se preocupam com a ecologia que desejam reduzir os gases do efeito estufa [9].

Em termos de valor calorífico por peso, uma bateria gera apenas 1 % do que o combustível fóssil produz. Um quilograma (1,4 litro, 0,37 galões) de gasolina rende cerca de 12 kWh de energia, enquanto uma bateria de 1 kg fornece cerca de 150 Wh. No entanto, o motor elétrico é 90% eficiente, enquanto um motor a combustão interna moderno chega até 25 % [9]. Quanto à reciclagem generalizada de baterias pode evitar que materiais perigosos entrem no fluxo de resíduos, tanto no final de sua vida útil quanto durante a sua produção.

A condição de uma bateria é chamada de estado de saúde (SOH). As baterias começam sua vida com 100% SOH e com o tempo elas se deterioram. Por exemplo, uma bateria de 60 kWh com 90% de SOH atuaria efetivamente como uma bateria de 54 kWh. Alguns fatores comuns que afetam a integridade da bateria de íon de lítio são tempo, temperaturas altas, operação em alto e baixo estado de carga, alta corrente elétrica e uso (ciclos de energia). A condição de saúde da bateria do veículo não é a mesma que seu alcance (distância que o veículo pode percorrer com esses kWh), que deve flutuar diariamente viagem, dependendo de uma série de fatores, incluindo o nível de carga, a topografia, a temperatura, o uso auxiliar, os hábitos de direção e a carga de passageiros [16].

## 2.6. SOFC

A diferença essencial entre uma célula a combustível e uma bateria é a forma de fornecer a fonte de energia. Em uma célula a combustível, o combustível e o oxidante são fornecidos continuamente de uma fonte externa quando a energia é desejada. A célula a combustível pode produzir energia elétrica, desde que os materiais ativos sejam alimentados aos eletrodos. Por sua vez, em uma bateria, o combustível e o oxidante (exceto para baterias de metal/ar) são parte integrante do dispositivo. A bateria deixa de produzir energia elétrica quando o reagente limitante for consumido, então ela deve ser substituída ou recarregada [17].

O protótipo de uma célula a combustível, consiste em três subsistemas básicos: uma seção de energia, que consiste em uma ou mais pilhas de células a combustível, um subsistema de combustível que gerencia o suprimento de combustível para a seção de energia, um condicionador de energia que converte a saída da seção de energia para o tipo de potência e qualidade exigidas pela aplicação. Além disso, uma usina (protótipo) de célula a combustível, dependendo do tamanho, tipo e sofisticação, pode requerer um subsistema de oxidante, subsistemas de gerenciamento térmico e de fluido e ainda de subsistemas auxiliares.

As células a combustível têm sido objeto de interesse por mais de 150 anos como um sistema potencialmente mais eficiente e menos poluente para converter o hidrogênio e combustíveis carbonáceos ou fósseis em eletricidade quando comparada com motores térmicos convencionais. Uma aplicação significativa da célula a combustível foi o uso da célula a combustível de hidrogênio/oxigênio pela NASA, a qual utilizou combustíveis criogênicos, em veículos espaciais por mais de 40 anos, incluindo a atual frota de ônibus espaciais [18]. Os mecanismos de reação dessa célula a combustível, utilizando-se em eletrólitos ácidos e alcalinos foram mostrados na Figura 3.

Figura 3 — Mecanismos de reação da célula a combustível H<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>

	Acid electrolyte	Alkaline electrolyte
Anode	$H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e$	$H_2 + 2OH^- \rightarrow 2H_2O + 2e$
Cathode	$1/2O_2 + 2H^+ + 2e \rightarrow H_2O$	$1/2O_2 + 2e + H_2O \rightarrow 2OH^-$
Overall	$H_2 + 1/2O_2 \rightarrow H_2O$	$H_2 + 1/2O_2 \rightarrow H_2O$

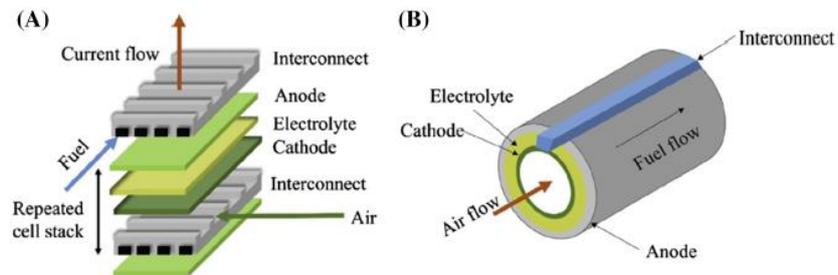
Fonte: LINDEN; REDDY, 2002

A operação das células ganhou notoriedade nos últimos anos por conta do seu baixo impacto ambiental se comparada aos combustíveis fósseis, além de possuírem alta eficiência (60% - 80%) em relação aos motores à combustão interna. Conforme descrito anteriormente, elas podem ser classificadas em células de baixa temperatura, como por exemplo, as membranas de troca iônica (PEMFC) e as de alta temperatura, como as de óxido sólidos (SOFC).

As SOFCs são compostas basicamente de dois eletrodos (ânodo e cátodo) e um eletrólito a base de óxidos cerâmicos, o que possibilita suas altas temperaturas de operação (800°C - 1000°C) [19]. Os eletrodos devem ser bons condutores eletrônicos

e porosos para permitir a passagem dos gases reagentes, sendo no cátodo para a redução do gás oxigênio ( $O_2$ ) e no ânodo para a oxidação do gás hidrogênio ( $H_2$ ), gerando no final a água. O eletrólito necessita ser denso e um bom condutor iônico, para garantir a passagem dos íons entre os eletrodos para a realização das reações químicas [20] (Figura 4).

Figura 4 — Design (a) SOFCs Planar e (b) SOFCs Tubular



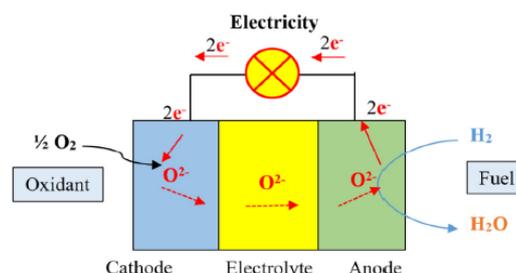
Fonte: NG; RAHMAN; SOMALU, 2019

A formação de multicamadas de uma SOFC, pode ser feita através da laminação de fitas (usando pressão e calor) e co-sinterização. A partir do tratamento térmico do material, calcinação e sinterização, ocorre a consolidação do material particulado, dando origem também às estruturas porosas [21]. Na sinterização investiga-se o comportamento térmico de cada material para evitar o craqueamento da célula devido às expansões térmicas [22].

Uma SOFC é composta de ânodo, de cátodo e de uma camada de eletrólito entre eles e os circuitos externos, conectando o ânodo e o cátodo para coletar a energia elétrica, conforme mostrado na Figura 5. O cátodo está em contato com o oxidante, o  $O_2$  do ar, que é reduzido a ânion óxido ( $O^{2-}$ ). O óxido viaja pelo eletrólito e oxida o combustível no ânodo, produzindo água e liberando elétrons através do circuito elétrico. Os elétrons produzidos no ânodo são coletados, voltando ao cátodo.

Para permitir o processo, o ânodo, o eletrólito e o cátodo precisam preencher certos critérios. O cátodo precisa ser capaz de catalisar a redução do  $O_2$  a  $O^{2-}$ , transferindo esses íons para o eletrólito. O eletrólito precisa ser condutivo a  $O^{2-}$ , enquanto atua como isolante aos elétrons para prevenir um curto-circuito no sistema. Ao mesmo tempo, o ânodo deve fornecer um sítio catalítico para a oxidação do combustível e condução ao  $O^{2-}$  e de elétrons.

Figura 5 — Representação Esquemática do SOFC



Fonte: SHABRI et al., 2021a

### 2.6.1. A escolha do etanol

Desde a sua introdução como combustível veicular em substituição à gasolina com a criação do Proálcool em meados dos anos 1970, o etanol (ou álcool etílico) assumiu rapidamente a importância estratégica na matriz energética brasileira, permitindo a sua diversificação [23]. A partir da implantação do programa, a produção, a distribuição e a utilização do etanol em veículos automotores, ou seja, toda a *supply chain* (cadeia de suprimentos) tem sido uma das poucas políticas de Estado de longo prazo assumidas por todos os governos, já há quase cinco décadas.

Mais recentemente, com a aprovação do RenovaBio pelo Congresso Nacional [24], instituído pela Lei 13.576, de 26 de dezembro de 2017 [25], incrementa-se uma política de Estado com o objetivo de traçar estratégias que reconhecem o papel fundamental dos biocombustíveis (etanol de primeira geração – 1G, etanol de segunda geração – 2G, biodiesel, biometano, bioquerosene, entre outros), dentro da matriz energética brasileira.

O RenovaBio diz respeito tanto a contribuição dos biocombustíveis para a segurança energética, gerando previsibilidade quanto à mitigação de emissões de GEE (gases de efeito estufa) no setor de combustíveis [24].

Por conta disso, foram criadas ações de salvaguardas sociais e ambientais, como o Selo de Combustível Social para os produtores de biodiesel [26]. Melhoras na eficiência de produção e um sistema integrado entre energia e alimentos com o uso do bagaço de cana-de-açúcar para aumentar a produtividade e eficiências da produção destacaram o país no cenário dos biocombustíveis produzidos de forma responsável.

O biocombustível da cana-de-açúcar, etanol de primeira geração, consegue “capturar” de 70 a 80% do CO<sub>2</sub> por meio da fotossíntese no processo de crescimento da planta. Enquanto isso, a captura de CO<sub>2</sub> deve atingir até 100% de captura com o etanol da geração atual [27]. Todas essas ações deram ao país o reconhecimento internacional em relação aos biocombustíveis, em particular o etanol [28]. A importância estratégica do etanol para o Brasil deve-se ao fato de o etanol ser proveniente de uma fonte renovável e sustentável com grande produção centrada nas Regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil e gerar empregos, renda e impostos ao longo de toda a cadeia produtiva.

Somado a isso, o etanol possui grande relevância ambiental, já que, sendo proveniente de biomassa, não acrescenta gases de efeito estufa (GEE) adicional à atmosfera, pois o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) gerado em sua combustão foi extraído da atmosfera durante o crescimento da cana-de-açúcar. Este fenômeno é conhecido como “sequestro de carbono” [29]. A sua utilização em larga escala na matriz energética veicular brasileira promove a mitigação dos GEE que seriam emitidos pelo uso de combustíveis fósseis. A par de possuir um conteúdo energético inferior àquele da gasolina e do diesel, o etanol possui outras vantagens, como o ser renovável, “limpo” (gera menos resíduos que os combustíveis de maior cadeia carbônica), baixa toxicidade (mais baixa do que a gasolina e o diesel), de fácil disponibilidade e amplamente distribuído em todo o território nacional, além de ter a sua produção consolidada no Brasil.

### 2.6.2. Características do Etanol

O etanol ( $C_2H_5OH$ ), do ponto de vista da química orgânica é um dos álcoois mais simples. Possui uma cadeia carbônica de apenas dois átomos de carbono e o grupo hidroxila (OH) em uma das extremidades da molécula. Ele é encontrado em estado físico líquido na temperatura e pressão ambiente, com elevada polaridade, o que permite alta miscibilidade em água, já que interage formando ligações de  $H_2$ . Graças a sua cadeia carbônica, também é miscível com hidrocarbonetos, por meio de interações de dipolos induzidos, o que resulta na possibilidade de sua mistura com a gasolina, para fins de combustíveis veiculares.

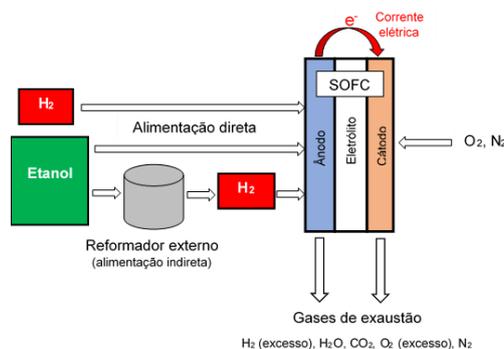
Assim como outros álcoois (como o metanol), o etanol é um ótimo redutor, o que significa que é também um bom combustível. Dentre algumas peculiaridades que o distinguem dos combustíveis convencionais (hidrocarbonetos), estão por exemplo a sua baixa toxicidade, a biodegradabilidade e seu significativo teor de  $O_2$ , cerca de 35% em massa [27]. O etanol não hidratado (100%) possui poder calorífico de 26,7 a 29,7 MJ/kg, respectivamente inferior (PCI) e superior (PCS). Este índice é menor do que o da gasolina, de 43,4 a 46,4 MJ/kg [30].

### 2.6.3. SOFCs existentes com etanol

Dentre os diversos tipos de células a combustível, destacam-se neste trabalho aquelas que utilizam óxidos sólidos como eletrólito. Devido à elevada temperatura de operação (500–1000 °C) as SOFCs oferecem grande versatilidade no que se refere ao uso do combustível [31]. As células a combustível de óxido sólido convencionais mais utilizadas, pesquisadas, aperfeiçoadas e comercializadas, utilizam o gás  $H_2$  como combustível. Este gás pode ser obtido de diversas fontes, contudo, ironicamente, esse combustível é obtido comercialmente em alta escala a partir de fontes fósseis, por meio da reforma catalítica de hidrocarbonetos, como parte da indústria do refino do petróleo.

Os tipos de configuração de SOFC, em geral, tem relação com a forma de alimentação de combustível (Figura 6). Assim, as SOFCs que utilizam etanol podem fazer a conversão deste a gás  $H_2$  através de um reformador prévio, para que só depois o  $H_2$  produzido no ânodo da célula possa ser admitido. Por outro lado, devido à elevada temperatura de operação da célula, é possível a admissão direta do etanol sobre o eletrocatalisador anódico, onde é convertido a  $H_2$  e imediatamente utilizado na reação de oxirredução com o gás  $O_2$  admitido no cátodo.

Figura 6 — Esquema simplificado das configurações de SOFC



Fonte: Próprio Autor, 2021

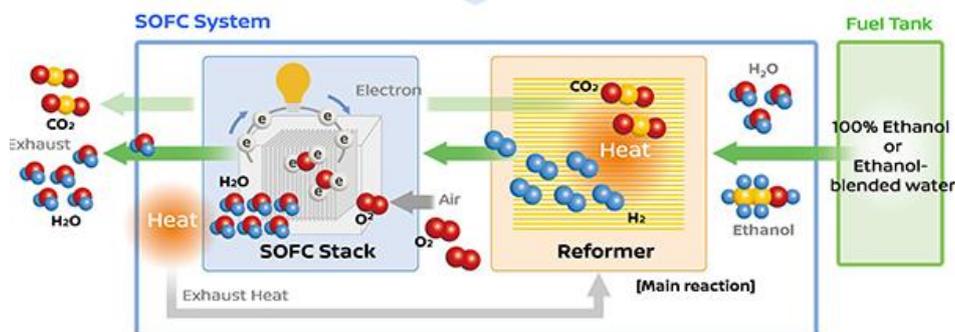
Espera-se que, futuramente, o gás hidrogênio seja obtido comercialmente e em larga escala a partir de fontes sustentáveis como a biomassa (gaseificação, reformação ou conversão microbológica), ou por meio da decomposição da água com a energia solar (solar-termoquímica, fotoeletroquímica, eletrólise ou fotobiológica), dentre outras [32]. Embora sejam muito promissoras, as formas de obtenção do  $H_2$  de forma sustentável e a custo viável, ainda não constituem a realidade do momento. Surge então o etanol como uma excelente alternativa para as SOFC, haja vista a sua posição estratégica na matriz energética brasileira e a sua sustentabilidade, já que provém de biomassa, além de permitir elevada eficiência na produção de energia elétrica [31].

#### 2.6.4. Processos químicos envolvidos na geração de energia em uma SOFC a etanol

Uma SOFC a etanol essencialmente utiliza a troca de elétrons que ocorre durante uma reação de oxirredução entre um oxidante ( $O_2$  do ar) e um redutor (combustível: etanol/ $H_2$ ). Entretanto, essa é uma reação frequentemente mal interpretada como de combustão, que libera muita energia, porém de forma térmica, desordenada e descontrolada em grandes partes dos casos. Em um veículo convencional com motor de combustão interna, o aproveitamento desta energia (térmica) fica limitada pelos ciclos termodinâmicos.

Já em uma célula a combustível SOFC alimentada com etanol equipadas com um reformador externo, ocorrem reações que convertem o etanol em  $H_2$  por meio de um reformador catalítico, que trabalha em alta temperatura ( $\sim 800^\circ C$ ) para a ativação do catalisador. São descritas quatro reações principais, que geram um fluxo gasoso rico em  $H_2$ : reforma a vapor, reforma autotérmica (reforma oxidativa a vapor): oxidação parcial (combustão incompleta), gás d'água. Em um balanço global das reações que ocorrem no reformador, obtém-se uma mistura enriquecida em  $H_2$ , que deve ser utilizado como o combustível da SOFC, sendo descartados  $H_2O$  e  $CO_2$ . A Figura 7 ilustra o processo.

Figura 7 — Ilustração simplificada das reações em uma SOFC a etanol com reformador externo



Fonte: NISSAN MOTOR CORPORATION, [s.d.]

Os mesmos desafios e vantagens das SOFCs comuns aplicam-se àquelas que se utilizam de SOFCs a etanol. Contudo, neste último caso, há a vantagem para sistemas embarcados que substituiriam um tanque de hidrogênio a alta pressão de alto risco, por um tanque de combustível líquido de etanol. Em unidades remotas de sistemas estacionários para geração distribuída de energia, a utilização de etanol em SOFCs pode ser muito mais segura em relação a outros combustíveis, pela facilidade e pela

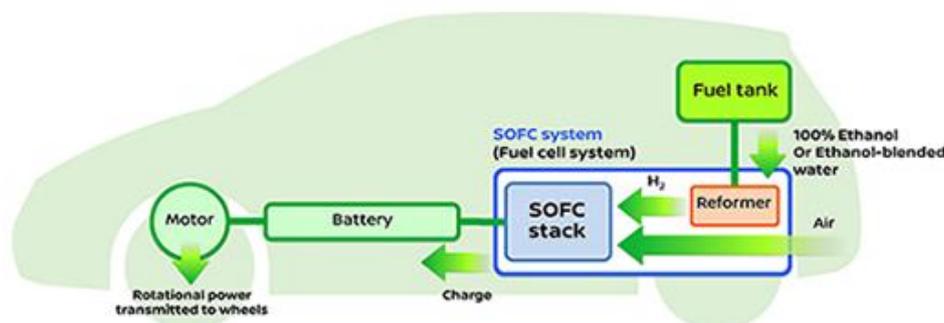
segurança de transporte e estocagem desse álcool, além da disponibilidade em relação ao  $H_2$ . A SOFC a etanol necessita de um reformador para a conversão do álcool em gás  $H_2$ , seja esse externo à célula, seja interno junto ao ânodo. Os desafios a serem vencidos pelas SOFCs a etanol são os mesmos das células comuns a  $H_2$ , acrescentados à redução ou à eliminação de depósito de carbono no ânodo que reduzem a vida útil do sistema.

#### 2.6.5. Processo de fabricação e miniaturização para SOFCs embarcadas

Para que sejam embarcadas em VEs, as SOFCs devem ser o mais leve possível, normalmente constituindo um conjunto de dezenas de células (*Fuel Cell Stack* – Figura 6) de pequena espessura, para permitir a sua mobilidade, inicializar rapidamente e por diversas vezes, além de operar a menores temperaturas possíveis. Outra grande dificuldade em sistemas embarcados com SOFC é o combustível utilizado. As SOFCs com alimentação direta utilizam, de forma geral, o gás  $H_2$  como combustível, o que traz grandes desafios e riscos no seu armazenamento em tanques adequados, em sistemas embarcados em VEs. Nesses sistemas, as dimensões, tanto do tanque de combustível, quanto da SOFC devem ser limitadas, já que se pretende um sistema portátil, diferentemente dos usos em SOFCs estacionárias quando não há limitações de tamanho. No caso de situações em que as SOFCs são estacionárias e operam de forma ininterrupta, como em estações geradoras para demandas locais de energia elétrica, os requisitos mencionados logo acima não são essenciais.

No caso da SOFC com alimentação indireta com etanol, ou com alimentação direta com esse combustível, o problema da estocagem do gás  $H_2$  deixa de existir, pois o  $H_2$  passa a ser gerado *in situ* pelo reformador ou diretamente sobre o ânodo, sendo então muito mais adequado para VEs. A Nissan Motor Corporation divulga em seu site [4] a e-Bio Fuel Cell como uma tecnologia do futuro. Dessa maneira, tecnologia que faz o uso de células a combustível do tipo SOFC embarcadas e alimentadas a etanol já são uma realidade (Figura 8).

Figura 8 — Esquema simplificado de SOFC com reformador externo embarcado e veículos elétricos



Fonte: NISSAN MOTOR CORPORATION, [s.d.]

A Nissan foi a primeira indústria automotiva mundial a desenvolver um protótipo de veículo que utiliza a energia elétrica gerada por uma SOFC com a utilização de bioetanol. O desenvolvimento desse tipo de veículo elétrico foi realizado no Brasil em 2016 e 2017, no Brasil com base no e-NV200, e agora os testes ocorrem no Japão e já contam com a parceria da USP e da UNICAMP, além do IPEN [33].

## 2.7. Protocolos de Comunicação

### 2.7.1. CAN Bus

Segundo [34], “o protocolo CAN Bus (Barramento CAN - Controller Area Network) foi desenvolvido nos anos 80 pela empresa alemã Bosch e atualmente é amplamente utilizado na indústria e em veículos. O protocolo CAN é um protocolo de comunicação serial síncrono e trabalha nos conceitos de multi-mestre e multicast, ou seja, todos os módulos podem se tornar mestres e escravos, dependendo do momento, e as mensagens devem ser enviadas para todos os módulos na rede”. Usualmente, o barramento CAN é composto por dois fios, CAN\_H (CAN High) e CAN\_L (CAN Low). Os dados na rede são interpretados a partir da diferença de potencial entre esses dois fios.

### 2.7.2. Power Line Communication

A comunicação PLC serve para acoplar sinais de comunicação a cabos de energia que são utilizados tanto para uso residencial, quanto para estabelecer um protocolo de carregamento entre o carregador e o VE.

O protocolo de comunicação PLC utilizado neste projeto é totalmente compatível com a especificação HomePlug Green PHY (HPGP). A especificação Green PHY do HomePlug atende às necessidades das aplicações automotivas (padrão de carregamento CCS), domésticos, utilitários e *Smart Grid*. O circuito integrado QCA7000, utilizado neste projeto, é interoperável até a taxa máxima de dados de 10 Mbps e oferece baixo consumo de energia, baixa complexidade do produto e custos de itens de compras reduzidos [35].

### 2.7.3. Message Queue Telemetry Transport

O protocolo MQTT fornece um método leve de execução de mensagens usando um modelo de publicação/assinatura. Isso o torna adequado para mensagens da Internet das Coisas (IoT), como sensores de baixa potência ou dispositivos móveis, como telefones, computadores incorporados ou microcontroladores [36].

## 2.8. Aplicação em Nuvem

Após serem recebidos os dados do VE e do Carregador Bidirecional por meio do barramento CAN bus através do módulo IoT, e ambos estabelecerem uma comunicação de rede por meio dos módulos PLCs, as mensagens então são trafegadas via MQTT e se conectam ao servidor em nuvem.

O servidor em nuvem armazena os dados relevantes a cada aplicação em um banco de dados e permite a conexão de um Aplicativo, por exemplo, ao Banco de Dados em Nuvem e aos dados em tempo real de cada VE e/ou Unidade Consumidora.

A plataforma desenvolvida trata-se de uma solução inovadora baseada na *web* para viabilizar um mercado de mobilidade elétrica, que consiste em conectar dois tipos de usuários: proprietário de VE (PVE) e proprietário de unidade consumidora (PUC). O PVE pode visualizar as localizações dos PUCs mais próximos, seus preços de cobrança (venda) e quitação (compra), entre outras funcionalidades. Enquanto isso, o PUC pode visualizar algumas das configurações de outros PUCs, como os preços de cobrança e descarga mais altos e mais baixos.

Outro processamento importante realizado pelo servidor de aplicação é o Algoritmo de Recomendação de Preço UC. Para cada usuário de PUC, ele realiza uma análise econômica considerando as receitas, despesas e metas de lucro pré-configuradas do usuário de PUC. Tal algoritmo é executado periodicamente e fornece aos usuários da PUC recomendações de preços de compra e venda, visando aumentar suas chances de atingir suas metas de lucro.

### **3. DESCRIÇÃO**

A seguir, foram brevemente descritas as etapas do desenvolvimento do sistema de microgeração distribuída utilizando uma SOFC movida a etanol acopladas a tomadas de baixa tensão.

#### **3.1. VE**

O VE escolhido para a realização deste projeto foi o BMW i3 120Ah. De fábrica, o VE permite o carregamento através de carregadores de corrente alternada e corrente contínua comerciais. Entretanto, para o descarregamento do VE foi necessário atuar sobre alguns dos sistemas de controle do sistema de HV. Com o devido treinamento e com o manual de serviços fornecido pelo fabricante, a empresa AVL identificou os pontos necessários para a liberação de relés HV do VE para que fosse possível a descarga da energia elétrica armazenada no pacote de baterias HV.

Os principais módulos eletrônicos utilizados para o desenvolvimento desta etapa do projeto foram o Módulo Eletrônico da Máquina Elétrica (EME) e o Módulo Eletrônico de Interface de Carregamento (LIM). Dentre algumas das diversas funções do EME, as principais são: estabelecer o controle eletrônico da máquina elétrica que aciona o VE, funcionar como um conversor CC/CA bidirecional entre a bateria e o motor elétrico para as fases de fornecimento de energia ao motor elétrico e regeneração de energia por meio do freio motor. Além disso, o EME serve como um conversor CC/CC para alimentar o circuito de Baixa Tensão (LV) 12V do VE.

Já o módulo LIM permite a comunicação entre o VE e a estação de carregamento. O LIM também pode ativar as unidades de controle no sistema elétrico do VE quando o cabo de energia estiver conectado. Há também uma linha que vai diretamente da unidade de controle LIM para a eletrônica da máquina elétrica (EME). Somente quando a unidade de controle LIM habilita o processo de carregamento por meio de um sinal nessa linha, a eletrônica da máquina elétrica inicia a conversão de tensão e, portanto, o procedimento de carregamento. Dentre as principais tarefas do LIM estão: a comunicação com a estação de carregamento via linha do pino piloto e linha de proximidade, a coordenação do procedimento de carregamento, a ativação dos LEDs para exibir o status de carregamento, a ativação do motor elétrico para travar o plugue de carregamento. Os módulos EME e LIM estão conectados ao barramento CAN voltado para o trem de força do VE (PT-CAN). A esse barramento também está acoplado um módulo utilizado pela AVL que é denominado de Display.

#### **3.2. Display e Gateway**

A função do Display (Figura 9a), além de permitir um monitoramento local do estado de carregamento e descarregamento do VE, serve como uma ponte de informações

entre o barramento PT-CAN do VE e um outro barramento CAN adicionado ao VE para tratar de informações que necessitam ser tratadas localmente pelo Gateway (Figura 9). O Gateway estabelece uma conexão do VE com o carregador para a liberação da energia elétrica do VE através do *link* CC para as funções de carregamento bidirecional. Todas as informações contidas nesse novo barramento CAN são capturadas através do módulo IoT e enviadas ao carregador bidirecional via PLC através de outro módulo IoT contendo *hardwares* específicos para atuar entre VE e estações de carregamento.

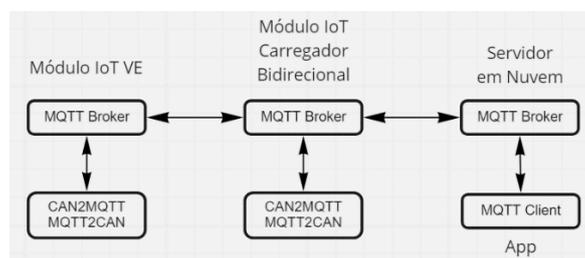
Figura 9 — Display e Gateway



### 3.3. Módulo IoT

O módulo IoT, responsável pelo tráfego de informações entre os módulos do sistema, foi equipado com um dispositivo CAN e um dispositivo de comunicação via PLC capaz de obedecer ao protocolo HomeGreenPhy, citado anteriormente. Há um módulo IoT no VE e outro no carregador bidirecional. Para garantir os termos de modularidade e escalabilidade, ambos possuem *hardwares* idênticos e, quanto ao *software*, há uma diferença em apenas um arquivo de configuração. O dispositivo foi desenvolvido baseando-se em dois programas principais: *can2mqtt* e *mqtt2can*. Cada programa se inscreve no próprio MQTT Broker. Então cada arquivo de configuração de MQTT Broker se conecta a outro. Por exemplo, o MQTT Broker do módulo IoT instalado no VE se conecta no MQTT Broker do Módulo IoT instalado no Carregador Bidirecional via PLC. A partir deste, através de uma conexão Wi-Fi ou Ethernet, o MQTT Broker do módulo IoT instalado no Carregador Bidirecional se conecta ao MQTT Broker instalado no Servidor em nuvem. Esse tipo de conexão entre MQTT brokers é denominado de MQTT Bridge [37].

Figura 10 — Infraestrutura de MQTT

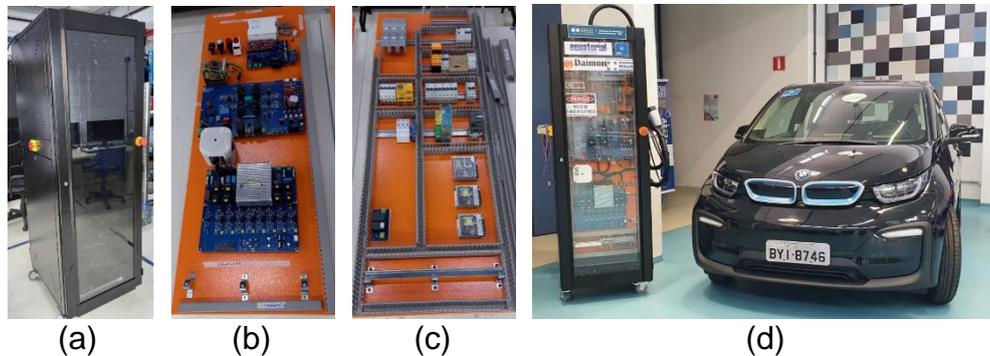


### 3.4. Carregador Bidirecional

O Carregador Bidirecional desenvolvidos pela AVL pode ser visto na Figura 11 a seguir. Na Figura 11a, pode ser contemplado o Gabinete de Alocação dos circuitos de carregamento bidirecional. Na Figura 11b pode ser visualizados os circuitos de carregamento bidirecional, destacando-se o protótipo do Módulo IoT na parte superior,

o circuito de inversão de energia (ao meio da placa) e o circuito de transformador CC/CC na parte inferior. Na Figura 11c, podem ser visualizados o circuito de proteção do sistema de carregamento bidirecional G2V e V2G. Na Figura 11d, estão lado a lado o Carregador Bidirecional e o VE.

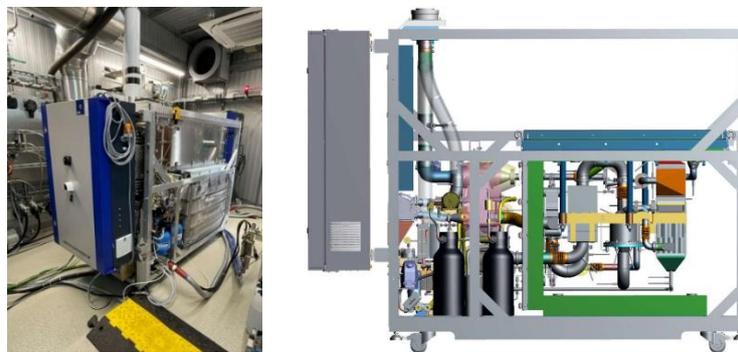
Figura 11 — Protótipo do Carregador Bidirecional



### 3.5. SOFC

A SOFC descrita na Figura 12 abaixo, foi desenvolvida pela empresa AVL, na Áustria, e condicionada para o uso de Etanol como fonte de combustível no Brasil. A partir de um reservatório contendo etanol, o combustível é encaminhado para um reformador, que separa o  $H_2$  da cadeia orgânica do etanol e o utiliza como fonte de alimentação da SOFC junto à entrada de  $O_2$  como o outro elemento para a reação de uma célula a combustível, conforme descrito nos itens superiores.

Figura 12 — SOFC movida a etanol



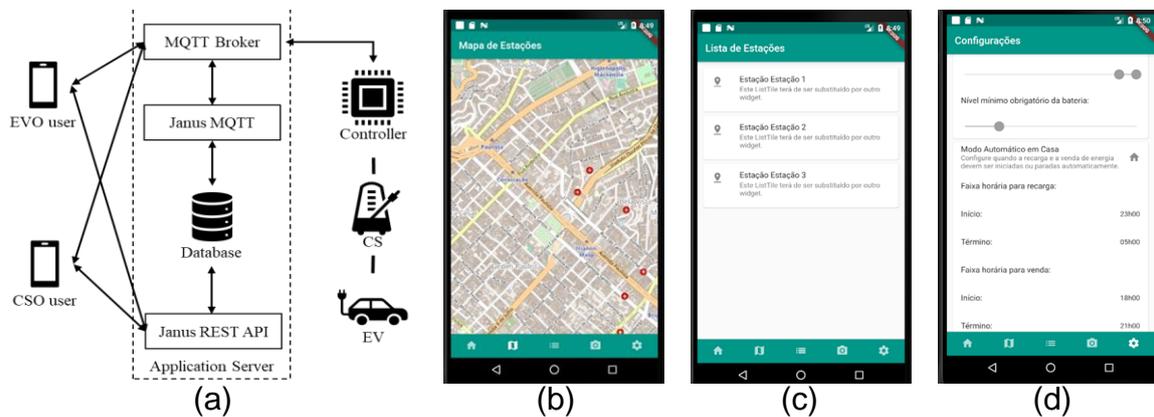
### 3.6. Nuvem e Aplicativo

Conforme pode ser visto na Figura 13 a seguir, existem dois tipos de usuários finais para o aplicativo de celular, por exemplo. Basicamente, o aplicativo se conecta ao MQTT Broker do Servidor para o envio e recebimento de dados em tempo real, e a uma REST API para carregar as informações de usuário e histórico da aplicação para cada usuário. É a partir do próprio servidor em nuvem em que o módulo IoT (Controller) se comunica para habilitar e desabilitar a carga/descarga para G2V e V2G.

Para implementar efetivamente a plataforma proposta, alguns componentes foram necessários para o servidor de aplicação, conforme descrito na Figura 13a. A Figura 13b apresenta uma página específica para visualizar os locais de Unidades

Consumidoras (UCs) mais próximos. A Figura 13c mostra uma página específica para visualizar uma lista das UCs favoritas do PVE, A Figura 13d mostra a página de configurações do PVE, permitindo que o PVE defina várias configurações operacionais. mostra a página de configurações do PVE, permitindo sejam definidas as configurações operacionais.

Figura 13 — (a) diagrama de comunicação com servidor; (b) localização de pontos de carregamento; (c) Lista de estações de carregamento; (d) Configurações de carregamento



#### 4. CONCLUSÃO

Através do sistema entre o VE, o Carregador Bidirecional e a SOFC a etanol, foi possível realizar a carga do VE a partir da rede elétrica (G2V), bem como injetar a energia elétrica das baterias do VE na rede (V2G).

A partir da SOFC a etanol, também foi possível gerar energia elétrica para a rede utilizando fonte de energia renovável e sustentável como o etanol (SOFC2G). Foi possível, através da geração de energia pela SOFC ter o controle e o monitoramento da emissão dos gases emitidos para a atmosfera.

Essa energia foi comissionada através da Internet utilizando módulos de IoT que transmitem dados em tempo real para que os proprietários dos VE e das unidades consumidoras tenham a liberdade de escolha dos devidos parâmetros no momento de cada carga e descarga de energia para a rede distribuída. Assim, à medida em que o sistema em nuvem faz a gestão da energia na rede, ligando e desligando os subsistemas, o aplicativo permite um *marketplace* voltado para a compra e venda de energia utilizando VEs e SOFCs a etanol.

#### 5. REFERÊNCIAS

- [1] EDP. Geração Distribuída - EDP SP - O que é Geração Distribuída?. Disponível em <https://www.edp.com.br/distribuicao-sp/saiba-mais/informativos/microgeracao-e-minigeracao-distribuida>. Acesso em: 5 abr. 2022.
- [2] GENUS. Major Differences between On-Grid and Off-Grid Solar System. Disponível em: <https://www.genusinnovation.com/blogs/on-grid-and-off-grid-solar-system>. Acesso em: 05 abr.2022.

- [3] REIS, Pedro. Vantagens e desvantagens das células de combustível. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/celulas-de-combustivel-vantagens-e-desvantagens/>. Acesso em: 5 abr. 2022.
- [4] NISSAN MOTOR CORPORATION. e-Bio Fuel-Cell | NISSAN | Technology. Disponível em: [https://www.nissan-global.com/EN/TECHNOLOGY/OVERVIEW/e\\_bio\\_fuel\\_cell.html](https://www.nissan-global.com/EN/TECHNOLOGY/OVERVIEW/e_bio_fuel_cell.html). Acesso em: 15 jun. 2021.
- [5] O que é Smart Grid. Disponível em: <https://www.rge-rs.com.br/energias-sustentaveis/sites-tematicos/smart-grid/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 27 jul. 2021.
- [6] ANEEL. Prodist. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, v. Módulo 3, p. 74, 2017.
- [7] ANEEL. Módulo 8-Qualidade da Energia Elétrica Revisão Motivo da Revisão Instrumento de aprovação pela ANEEL Data de vigência. 2016.
- [8] GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Boletim Energético Fevereiro/2021. p. 28, 2021.
- [9] BATTERY UNIVERSITY. BU-1003: Electric Vehicle (EV) – Battery University. Disponível em: [https://batteryuniversity.com/learn/article/electric\\_vehicle\\_ev](https://batteryuniversity.com/learn/article/electric_vehicle_ev). Acesso em: 29 abr. 2021.
- [10] LIPU, M. S. H. et al. A review of state of health and remaining useful life estimation methods for lithium-ion battery in electric vehicles: Challenges and recommendations. *Journal of Cleaner Production*, v. 205, n. September, p. 115–133, 2018.
- [11] MILLNER, A. Modeling lithium ion battery degradation in electric vehicles. 2010 IEEE Conference on Innovative Technologies for an Efficient and Reliable Electricity Supply, CITRES 2010, n. October 2010, p. 349–356, 2010.
- [12] XIONG, R. et al. Lithium-Ion Battery Health Prognosis Based on a Real Battery Management System Used in Electric Vehicles. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, v. 68, n. 5, p. 4110–4121, 2019.
- [13] CATL. CATL, 2021. Disponível em: <https://www.catl.com/en/>. Acesso em: 05 abr. 2022
- [14] U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. Alternative Fuels Data Center: Batteries for Hybrid and Plug-In Electric Vehicles, 2015. Disponível em: [http://www.afdc.energy.gov/vehicles/electric\\_batteries.html](http://www.afdc.energy.gov/vehicles/electric_batteries.html). Acesso em: 5 abr. 2022
- [15] HANIFAH, R. A.; TOHA, S. F.; AHMAD, S. Electric Vehicle Battery Modelling and Performance Comparison in Relation to Range Anxiety. *Procedia Computer Science*. Anais...Elsevier B.V., 2015
- [16] ARGUE, C. What can 6,000 electric vehicles tell us about EV battery health? Disponível em: <https://www.geotab.com/blog/ev-battery-health/>. Acesso em: 05 abr. 2022.
- [17] CEUCA, E.; TULBURE, A.; PLESA, S. The battery management in green energy production. *Proceedings of the International Spring Seminar on Electronics Technology*, n. December 1918, p. 350–354, 2012.
- [18] ARSHAD, A. et al. Energy and exergy analysis of fuel cells: A review. *Thermal Science and Engineering Progress*, v. 9, p. 308–321, 2019.
- [19] SUN, L. et al. Comparative study of solid oxide fuel cells supported on ceramic cathodes with different pore structures. *International Journal of Hydrogen Energy*, v. 46, n. 24, p. 13330–13339, 2021.
- [20] CAMPINAS, U. E. D. E. COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA

MECÂNICA O Etanol como Fonte de Hidrogênio para Células a Combustível na Geração Distribuída de Energia Elétrica O Etanol como Fonte de Hidrogênio para Células a Combustível na Geração Distribuída de Energia Elétric. 2006.

[21] BAHARUDDIN, N. A. et al. Fabrication of high-quality electrode films for solid oxide fuel cell by screen printing: A review on important processing parameters. *International Journal of Energy Research*, v. 44, n. 11, p. 8296–8313, 2020.

[22] YAO, C. et al. Copper doped SrFe<sub>0.9-x</sub>Cu<sub>x</sub>W<sub>0.1</sub>O<sub>3-δ</sub> (x = 0–0.3) perovskites as cathode materials for IT-SOFCs. *Journal of Alloys and Compounds*, v. 868, p. 1–7, 2021.

[23] MILANEZ, A. Y. Biocombustíveis. Diagnóstico e Visão Geral do Tema. In: [s.l.: s.n.]. p. 75–84.

[24] DEPARTAMENTO DE BIOCOMBUSTÍVEIS - DBIO. RenovaBio - Ministério de Minas e Energia. Disponível em:

<http://antigo.mme.gov.br/web/guest/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/acoes-e-programas/programas/renovabio>. Acesso em: 22 jun. 2021.

[25] BRASIL. LEI Nº 13.576, DE 26 DE DEZEMBRO DE 2017. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2017/lei/l13576.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/l13576.htm). Acesso em: 5 jul. 2021.

[26] BRASIL. Solicitar direito de uso do Selo Biocombustível Social — Português (Brasil). Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/servicos/solicitar-selo-combustivel-social-scs>. Acesso em: 13 jun. 2021.

[27] AGUIAR, H.; JÚLIO, E. Universidade Federal De Uberlândia Faculdade De Engenharia Química Curso De Graduação Em Engenharia Química Produção De Etanol De Segunda Geração. 2017.

[28] UNEP. Biofuels Vital Graphics - Powering a Green Economy. [s.l.: s.n.].

[29] AMABIS, J. M.; MARTHO, G. R. Fundamentos da Biologia Moderna. Volume único ed. São Paulo: [s.n.].

[30] THE ENGINEERING TOOLBOX. Fuels - Higher and Lower Calorific Values. Disponível em: [https://www.engineeringtoolbox.com/fuels-higher-calorific-values-d\\_169.html](https://www.engineeringtoolbox.com/fuels-higher-calorific-values-d_169.html). Acesso em: 8 jun. 2021.

[31] FIUZA, R. DA P. et al. A utilização de etanol em célula a combustível de óxido sólido. *Química Nova*, v. 35, n. 8, p. 1635–1643, 2012.

[32] OFFICE OF ENERGY EFFICIENCY & RENEWABLE ENERGY. Hydrogen Resources | Department of Energy. Disponível em:

<https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-resources>. Acesso em: 15 jun. 2021.

[33] BRAGA, P. R. Nissan pode ter novidades sobre célula de combustível no Brasil. Disponível em: <https://www.automotivebusiness.com.br/noticia/32541/nissan-pode-ter-novidades-sobre-celula-de-combustivel-no-brasil>. Acesso em: 15 jun. 2021.

[34] ALEXAG. CAN BUS Barramento Controller Area Network “Conceituação”. Disponível em: [http://www.alexag.com.br/CAN\\_Bus\\_Parte\\_2.html](http://www.alexag.com.br/CAN_Bus_Parte_2.html). Acesso em: 19 jan. 2021.

[35] QUALCOMM. QCA7000. Disponível em:

<https://www.qualcomm.com/products/application/networking/qca7000>. Acesso em: 5 abr. 2022.

[36] MOSQUITTO. Eclipse Mosquitto™ An open source MQTT broker. Disponível em: <https://mosquitto.org/>. Acesso em: 5 abr. 2022.

[37] MOSQUITTO. Mosquitto MQTT Bridge -Usage and Configuration. Disponível em: <https://mosquitto.org/>. Acesso em: 6 abr. 2022.