

**Minigeração Fotovoltaica e Veículos Elétricos numa Microrede Inteligente****Escalante, S.L.; Penna J.; Nascimento, I.****Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ****Brasil****SUMMARY**

A implementação de fontes renováveis vem se tornando mais presentes no sistema elétrico mundial. A necessidade de diversificar a matriz energética, junto com os incentivos da expansão do sistema elétrico com fontes que não degradem o meio ambiente, tornam as tecnologias renováveis fundamentais no cenário atual.

Neste trabalho, são apresentados aspectos que levam ao estudo de minigeração distribuída, além da utilização de veículos elétricos. No trabalho são apresentados aspectos para instalação de uma minigeração distribuída, como a geração solar, e a utilização da energia armazenada nos veículos elétricos.

Este trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade e o impacto da instalação de microgeração em conjunto com estações de recarga de veículos elétricos (VE), em uma rede de distribuição de um grande centro comercial da cidade do Rio de Janeiro.

A metodologia utilizada nesse trabalho consistiu na escolha de um local para instalação da minigeração e a instalação de estações de recarga de veículos elétricos. Através do levantamento de dados de irradiação solar foi observado qualitativamente o potencial da localidade e em seguida analisado a viabilidade técnica da instalação da unidade geradora. Foram realizadas, com modelagem trifásica no software Simulight® (desenvolvido num P&D entre a concessionária Light e COPPE/UFRJ), diversas simulações estáticas e dinâmicas baseadas em casos reais, trazendo resultados estáticos e dinâmicos, sobre o comportamento do sistema com a introdução dessas novas fontes de energia instaladas.

O trabalho também mostra a importância dos veículos elétricos e o seu potencial para uso como no-break. Seu impacto no sistema é mínimo quando eles estão recarregando (absorvendo energia da rede). Já no momento que eles injetam energia ao sistema, os mesmos atuam como uma excelente fonte de energia do tipo emergencial, podendo auxiliar a demanda da microrede em caso de uma eventualidade.

O circuito apresentado mostra uma boa noção do comportamento da inclusão da microgeração e da estação de recarga de VE's na microrede.

**KEYWORDS**

Minigeração; Energia fotovoltaica; Veículos elétricos; Sistema trifásico; Estabilidade estática e eletromecânica.

## 1. Introdução

O aumento do consumo de energia elétrica cresce cada vez mais na sociedade. Novos centros urbanos e novas tecnologias demandam um aumento da produção de energia. Apesar da grande quantidade de usinas existentes, é necessário aprimoramento e inovação para o suprimento de eletricidade.

No Brasil as grandes usinas se localizam bem distante das maiores cidades do país, causando um grande custo na transmissão de energia. Com isso, é preciso a instalação de novas fontes de energia próximas aos centros e uma boa alternativa é a energia solar, eólica, etc.

Este trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade e o impacto da instalação de microgerações de energia em conjunto com estações de recarga de veículos elétricos (VE), em uma rede de distribuição de energia de um grande centro comercial situado na cidade do Rio de Janeiro. Foram realizadas, com modelagem trifásica, diversas simulações estáticas e dinâmicas baseadas em casos reais, mostrando o impacto dessa geração na microrede.

## 2. Geração distribuída

A definição de Geração Distribuída (GD) se dá pela instalação de geradores de pequeno porte próximos aos pontos de consumo de energia elétrica. A mini e microgeração distribuída visa atender a demanda do próprio consumidor. Caso a geração seja maior que a demanda, esse excedente pode ser comercializado com a concessionária de distribuição de energia elétrica [1].

De modo geral as fontes de energias utilizadas para a GD são renováveis ou com base em novas tecnologias como, eólica, solar, biológicas, geotérmicas, do oceano ou pequenas centrais hidrelétricas. Mas, existe a utilização de fontes não renováveis, como microturbinas e motogeradores a gás natural, cogeração a gás natural, geradores a diesel e resíduos de processos industriais [2].

### 2.1. Minigeração

De acordo com a Resolução Normativa – REN nº482, que estabeleceu o acesso para a Microgeração e Minigeração aos sistemas de distribuição de energia elétrica, ficou definido que a Minigeração Distribuída se caracteriza pela geração de energia elétrica através de pequenas centrais que utilizam fontes de energia renováveis ou cogeração qualificada, que se conectam a rede de distribuição através das unidades consumidoras [3]. Conforme a última norma REN nº 687 de 24 de novembro de 2015, que atualiza a REN nº 482, a Microgeração deve possuir uma potência instalada igual ou inferior a 75 quilowatts (kW) e a Minigeração menor de 5 megawatts (MW). [4].

### 2.2. Energia Sola

Descoberta, no século XIX, pelo físico Alexandre E. Bequerel, em um experimento eletroquímico, no qual observou o efeito fotovoltaico a partir da exposição de eletrodos de prata ou platina à luz. O primeiro dispositivo de produção de energia fotovoltaica foi desenvolvido em 1877, feito com um filme de selênio envolto em um substrato de ferro no qual um fino filme de ouro servia de contato frontal. Tinha uma eficiência de conversão, em torno de 0,5% [5].

Em 2016 a potência instalada de geração fotovoltaica foi de 305 GW. China, Japão, Alemanha, EUA e Itália correspondem aproximadamente 70% da produção de energia nesse segmento. O Brasil ainda não aparece no Ranking Mundial Solar. [6].

**Uma célula fotovoltaica** é a unidade elementar de conversão da radiação do sol em energia elétrica. Essa célula tem como componentes materiais semicondutores com características intermediárias entre o isolante e condutor. O silício é o elemento mais utilizado na conversão fotovoltaica.

XIV SYMPOSIUM OF SPECIALISTS IN ELECTRIC OPERATIONAL AND EXPANSION PLANNING

SEPTEMBER 30TH THRU OCTOBER 3RD OF 2018 / RECIFE / PE / BRASIL

O **módulo fotovoltaico** tem como base a celular fotovoltaica. Ela é composta por uma borda de alumínio (para suporte); uma camada de vidro de alta resistência (proteger de algum impacto), película encapsulante EVA (etil vinil acetato) antirreflexos (maximiza a captura da luz), camada de contato fina (para contato entre as células), outra película EVA; uma camada de material termoplástico (tipo tedlar) e uma estrutura de metal que é responsável pela sustentação do painel. [7].

### 2.2.1. *Tecnologias Disponíveis*

- a) Painel de silício cristalino: Cerca de 90% das células são de silício cristalino. Tem-se dois tipos: **Monocristalino**: de tecnologia antiga, tem um custo alto na sua produção (desperdiça silício), eficiência pode atingir os 24% (em laboratório), mas nos módulos comerciais está entre 14 e 21%, tempo de vida útil de 25-30 anos; **Policristalino**: mais econômico, eficiência entre 13 e 16,5%.
- b) Painel de filme fino: composto por várias camadas de material fotovoltaicas finos, são caracterizados pelo material que é depositado sobre o substrato: Silício Amorfo. - eficiência entre 6% a 9 % (em laboratório de 12,5%), custo elevado e produzem uma baixa energia elétrica; Telureto de Cádmio: tem um bom custo/benefício, eficiência em torno de 14% (em laboratório 18%), muito usada em grandes usinas de energia solar; Seleneto de cobre, índio e gálio: custo elevado, ele usa menor quantidade de cádmio (material tóxico), eficiência de 10 a 13%. As de gálio são usadas em aplicações espaciais; Orgânicas: usa polímeros orgânicos condutores ou pequenas moléculas orgânicas para a absorção de luz e transporte de cargas [8]. Idealizada como uma tecnologia flexível de baixo custo, produzida a partir de processo de impressão. [9][10].

### 2.2.2. *Aplicações dos Sistemas Fotovoltaicos*

- a) Sistemas conectados à rede (*on-grid*): A energia seria uma fonte complementar ao sistema elétrico. Não apresentam nenhuma fonte de armazenamento de energia, a potência gerada é injetada diretamente à rede de forma imediata.
- b) Sistemas autônomos isolados (*off-grid*): A geração é conectada diretamente às cargas sem conexão com a rede elétrica externa, tendo assim um sistema geração-carga trabalhando isoladamente da rede externa. Pode ter uma configuração de acordo com a carga a ser alimentada (CA ou CC) assim como a utilização de armazenadores de energia (baterias).
- c) Sistema autônomo híbrido: utiliza várias formas de geração de energia, como aerogeradores, geradores a diesel entre outros, da qual estão ligadas ou alimentando uma mesma rede elétrica.

## 2.3. **Veículos Elétricos**

Sua história se inicia no século XIX, onde se deu origem os primeiro Veículos Elétricos (VE), antes da invenção do motor de combustão interna (MCI) por Benz em 1885-1886 [11]. O desenvolvimento de VE está diretamente relacionado com a evolução das baterias. Este aperfeiçoamento se deu graças aos estudos de G. Trouvé, na França, em 1881, que tornou possível a recarga de baterias [12]. Já em 1901, Thomas Edison cria a bateria níquel-ferro que possuía um desempenho de armazenamento 40% superior às baterias de chumbo, que eram utilizadas até então. No final do século XIX desenvolveu-se baterias com melhores capacidades, tais como as baterias níquel-zinco e zinco-ar [11].

O mercado dos VEs se encontra em grande expansão principalmente nos EUA, Japão, China e Europa onde foram criadas políticas de incentivo que incluem aporte financeiro para compradores de VE.

### 2.3.1. *Tecnologias Automotivas*

- a) Veículos Convencionais: Transformam a energia oriunda dos combustíveis, que são principalmente de origem fósseis, em energia mecânica através do MCI. Do ponto de vista

**XIV SYMPOSIUM OF SPECIALISTS IN ELECTRIC OPERATIONAL AND EXPANSION PLANNING****SEPTEMBER 30TH THRU OCTOBER 3RD OF 2018 / RECIFE / PE / BRASIL**

energético, o MCI é ineficiente, já que apenas cerca de 20% da energia química presente no combustível é convertida para locomover o automóvel. [13].

- b) Veículos Elétricos a Bateria (VEB): a energia é fornecida por um conjunto de baterias como única forma de acionar os motores elétricos [14]. Tem um alto rendimento do motor elétrico (superior a 90%) que juntamente com a frenagem regenerativa o torna mais eficiente que as outras categorias de veículos, além disso, possuem pouca vibração e baixo nível de ruído, mas tem baixa autonomia e um custo elevado. [15].
- c) Veículos Elétricos Híbridos (VEH): possui duas ou mais formas distintas de armazenamento de energia, fontes ou conversores, sendo que uma delas deve ser proveniente da energia elétrica. Os VEH combinam o sistema de propulsão dos MCI e o sistema elétrico de tração. Os VEH classificam-se basicamente em três modelos [13]: Híbrido em Série; Híbrido em Paralelo; Sistema Misto: o veículo possui dois motores elétricos, um atuando em série ao MCI e outro atuando em paralelo ao MCI.
- d) Veículos Elétricos Híbridos Plug-in (VEHP): assim como o VEH, utiliza uma bateria, um motor elétrico e um MCI. A bateria alimenta o motor e pode ser recarregada.
- e) Outras Tecnologias: Existem outras tecnologias de VE no mercado, algumas em fase mais experimental e outras que despertaram menos interesse: VE de Célula a Combustível (VECC); VE Solar (VES); e Troleibus. [14].

### 2.3.2. Formas de Recarga

As baterias podem ser recarregadas de forma indutiva ou condutiva. A carga indutiva (indução eletromagnética) necessita de uma estação de recarga, tem alta durabilidade, é mais segura, mas possui baixa eficiência e é necessário muito tempo para uma recarga completa. A carga condutiva utiliza o contato físico para realizar a transferência de energia através de tomada padrão [16].

Na atualidade, as normas SAE J1772 e IEC 62196 definem os padrões de carregadores de VE. A SAE J1772 é um padrão emitido em 1996 e revisado em 2016, onde define um sistema de carga condutiva para VE o que inclui a parte elétrica e mecânica do carregador, protocolo de comunicação e requisitos de desempenho. A Tabela I mostra um resumo dos padrões da SAE J1772 [17].

Tabela I - Tipos de cargas previsto na norma SAE J1772

Padrões SAE	Tensão - CA	Corrente	Potência	Tensão CC	Corrente	Potência
Nível 1	120 V	16 A	1,92 kW	200 a 500 V	80 A	40 kW
Nível 2	240 V	80 A	19,2 kW	200 a 500 V	200 A	100 kW

A IEC 62196 se aplica para todas tomadas, plugues, configurações de cabos e conectores de VEs, que utilizam recarga condutiva que não ultrapassem 1500V/400A em corrente contínua e 690V/250A em corrente alternada com uma frequência de 50Hz a 60Hz [18]. Os modos de recarga da norma IEC 62196/61851 são: Modo 1- Carga lenta, em CA, a partir de uma tomada padrão do tipo doméstico; Modo 2 - Carga lenta, em CA, a partir de uma tomada padrão do tipo doméstico, mas com uso de um dispositivo de proteção; Modo 3 - Carga lenta ou rápida, em CA, usando uma tomada específica e plugue com função de controle e proteção permanentemente instalada; Modo 4 - Carregamento rápido, em CC, usando um carregador externo.

Na China, umas das maiores produtoras de VE no mundo, a norma vigente é a GB/T 20234 de 2015 [19]. Existe também uma tecnologia de recarga rápida de veículo chamada “CHAdemo” (“charge for moving”) em uso no Japão. No Brasil foi adotada a norma IEC 61851. Onde a mesma foi traduzida e assim gerou a ABNT NBR IEC 61851 de 2013. A norma define os procedimentos técnicos e as diretrizes para o sistema de VEs rodoviários, embarcados ou não embarcados [20].

**XIV SYMPOSIUM OF SPECIALISTS IN ELECTRIC OPERATIONAL AND EXPANSION PLANNING**

SEPTEMBER 30TH THRU OCTOBER 3RD OF 2018 / RECIFE / PE /BRASIL

**2.3.3. Veículo na Rede Elétrica**

Em média, os veículos ficam estacionados 95% do tempo, permitindo o uso da bateria como *no-break* ou fonte em caso da perda principal de energia.

Veículo na rede (V2G - *Vehicle-to-Grid*) é a integração de um VE com a rede de energia. A combinação de diversos veículos ligados à rede pode ajudar na estabilidade do sistema. Uma central de controle tem a função de facilitar a comunicação entre o VE e a rede. Essa central emite sinais de controle através de sinais de rádios, redes de celulares ou até mesmo pelas linhas de transmissão.

Veículo na casa (V2H - *Vehicle-to-Home*) é a integração do carro elétrico no sistema inteligente de uma casa. A bateria do VE armazena energia de forma inteligente, quando requerido, ele pode devolver essa energia para suprir o sistema da casa [21].

Há três quesitos que representam a tecnologia do V2G: Conexão da energia: O VE é conectado a uma estação de recarga e o sistema eletrônico interno é capaz de identificar em que sentido deve ser o fluxo de energia; Comunicação: A comunicação é estabelecida em tempo real entre o veículo e a unidade ou ao operador para fornecer controle e gerenciamento; Medição: Um sistema preciso de medida de energia é necessário para a medição da energia ou de serviços provenientes pelo veículo e também a sua duração.

Segundo [22] os transformadores de distribuição podem suprir carga dos VEs de forma satisfatória em momentos de menor demanda. Por outro lado, o reabastecimento para recarga de VEs constitui um mercado propício para as concessionárias de distribuição de energia.

**2.3.4. Capacidade de Atender às Demandas Elétricas de Pico**

A tecnologia do V2G permite o uso dos VEs como armazenadores de energia para distribuição. A energia armazenada pode ser utilizada para alimentar um sistema elétrico durante períodos de pico de demanda ou podem ser usados para alimentar casas e escritórios. Isso também ajuda a economizar com os custos da energia elétrica proveniente das distribuidoras, quando o VE alimenta a rede nos horários de pico. V2G também tem utilização para suprir uma casa quando houver problemas de fornecimento na rede, funcionando como um back-up em casos de emergência [23].

**2.4. Rede Inteligente**

São os sistemas de transmissão e distribuição de energia elétrica com recurso de automação, controle e proteção combinado com a tecnologia da informação. Essas redes conseguem responder a diversas demandas da sociedade atual, tanto no quesito de eficiência energética quanto em relação à sustentabilidade.

Segundo [24] e [25], os benefícios das redes inteligentes são: Redução das emissões de CO<sub>2</sub> ligadas à geração de energia elétrica; Menos consumo de energia e maior eficiência operacional das concessionárias; Maior qualidade de energia em vários níveis de tensão (aumenta a estabilidade do sistema); Possibilidade de ter fluxo bidirecional de energia; Melhor monitoramento; Maior segurança.

**3. Estudo de Caso**

Para a escolha, foi considerado o potencial e espaço físico para a instalação da minigeração FV. Além disso, procura-se uma região com futura aptidão para receber veículos elétricos.

**3.1. Área Para a Instalação do Projeto**

O local de escolha para a instalação do projeto de minigeração distribuída foi um centro comercial de grande porte, localizado na zona oeste da cidade do Rio de Janeiro. O empreendimento em questão é

## XIV SYMPOSIUM OF SPECIALISTS IN ELECTRIC OPERATIONAL AND EXPANSION PLANNING

SEPTEMBER 30TH THRU OCTOBER 3RD OF 2018 / RECIFE / PE /BRASIL

um dos maiores polos de compras, lazer e negócios da América Latina, onde diariamente circulam milhares de pessoas. O centro comercial dispõe de uma área externa considerável, com um estacionamento de grande porte.

Esta área possui grande potencial para instalação de painéis solares e pontos de recargas de veículos elétricos, como podemos observar na Figura 1. A instalação de painéis solares além de gerar energia elétrica irá proporcionar sombra aos automóveis.

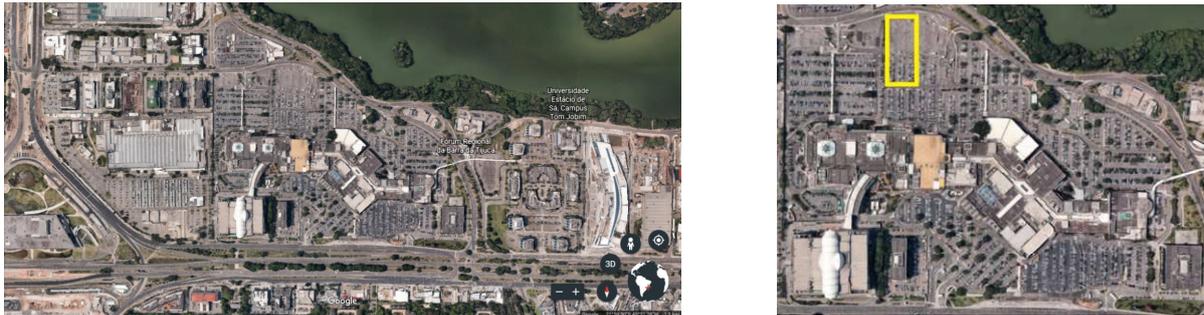


Figura 1 – Vista superior do centro comercial em estudo e localização da usina solar

### 3.2. Potencial Solar da Área

Foram utilizados três tipos de irradiação: **irradiação normal direta**, onde a média anual registrada pelo INPE foi de 5,177 kWh/m<sup>2</sup>.dia e da NASA de 4,181 kWh/m<sup>2</sup>.dia; **irradiação horizontal global**, onde a média anual do INPE foi 5,126 kWh/m<sup>2</sup>.dia e da NASA foi 4,491 kWh/m<sup>2</sup>.dia; e **irradiação de inclinação de latitude**, onde a média anual do INPE foi de 5,567 kWh/m<sup>2</sup>.dia e da NASA de 4,693 kWh/m<sup>2</sup>.dia. A Figura 2 mostra a irradiação solar da área do centro comercial em estudo.

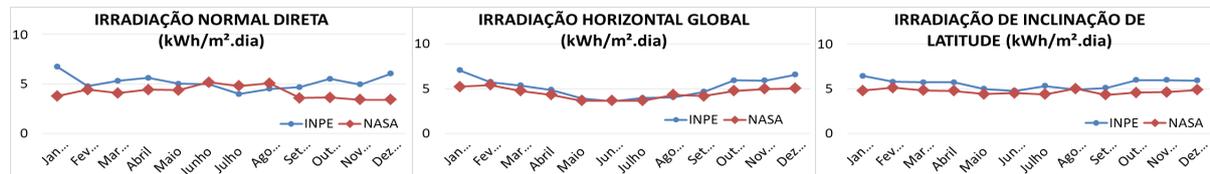


Figura 2 – Irradiação no centro comercial

#### 3.2.1. Viabilidade da Instalação

Com relação ao espaço, o centro comercial possui uma área superior a 40.000 m<sup>2</sup>, e de acordo com o mapa solar do Rio de Janeiro, o teto do centro comercial é um excelente local para a instalação de painéis solares. Segundo a topografia da região, há incidência solar na maior parte do dia. Além da área do teto, o centro comercial dispõe de uma grande área de estacionamento a céu aberto.

Para o estudo, utilizou-se como referência o módulo fotovoltaico policristalino do fabricante Jinko Solar, modelo JKM315P [26], isto por ser um tipo de painel muito utilizado no mercado, tem um custo menos elevado e tem uma vida útil consideravelmente longa (em torno de 30 anos). Suas especificações técnicas são indicadas na Tabela II. A equação 1 expressa a produção de energia  $E_{sd}$  a partir de um sistema fotovoltaico [27] e o cálculo do número de painéis  $n_{sfv}$  a serem utilizados.

 Tabela II – Especificações técnicas do módulo fotovoltaico JKM315P de Área 1,94 m<sup>2</sup>.

Descrição	Valor	Descrição	Valor
Potência Máxima (Pmax)	315Wp	Tensão de Circuito Aberto (Voc)	46,2V
Tensão Máxima (Vmp)	37,2V	Tensão de Curto Circuito (Isc)	9,01A
Máxima Corrente (Imp)	8,48A	Eficiência do Módulo (%)	16,23%

$$E_{sd} = n_{sfv} \times A_m \times I_d \times \eta_m \times PR \quad \text{e} \quad n_{sfv} = \frac{E_{sd}}{A_m \times I_d \times \eta_m \times PR} \quad (1)$$

Onde:  $E_{sd}$  - Energia produzida durante um dia (kWh);  $n_{sfv}$  - Número de módulos instalados no sistema;  $A_m$  - Área da superfície referente a um único módulo fotovoltaico ( $m^2$ );  $I_d$  - Irradiação média solar diária ( $kWh/m^2.dia$ );  $\eta_m$  - Eficiência do módulo (%);  $PR$  - Taxa de desempenho do sistema.

Adotando para o estudo a minigeração com potência de 300 kW, considerando a irradiação de 5,567  $kWh/m^2.dia$  (mostrado na Figura 2) com um período de 10 horas por dia, um  $PR$  de 0,8 e as demais informações da tabela II, serão necessários 2100 painéis fotovoltaicos.

### 3.2.2. *Localização da Minigeração Solar*

De posse de todos os dados de irradiação solar vistos no item 3.2, assim como a viabilidade dela, a unidade de minigeração solar poderá ser instalada com 2100 painéis utilizando uma área em torno de 4100  $m^2$ . Para instalação dos painéis, foi selecionada a área destacada em amarelo na Figura 1

### 3.3. Estações de Recarga

A Barra da Tijuca é o bairro do Rio de Janeiro que mais teve crescimento econômico e populacional nas últimas décadas. É caracterizada por uma população e comércio de alto padrão. Possui grandes e largas avenidas em que o principal meio de deslocamento da população é o automóvel. Esta região foi pioneira na instalação de estações de recarga, onde em junho de 2009 [28], recebeu a primeira estação de recarga de VEs da América Latina.

O centro comercial escolhido possui um estacionamento com mais de 5 mil vagas para carros. A instalação da estação de recarga para VEs não acarretaria na diminuição do número de vagas e contribuiria para a mobilidade elétrica do Rio de Janeiro. No ano de 2013 foi adotado o programa de táxis elétricos da Nissan. A montadora disponibilizou 15 unidades do modelo Leaf, VEB, e em seus dois primeiros anos foi evitado a emissão de 9 toneladas de  $CO_2$  na atmosfera [29]. Para este trabalho, foi adotado a potência de recarga de 7 kW referente ao modelo Nissan Leaf [30]. Além disso, o modo 2 da norma ABNT NBR IEC 61851 de 2013 (para recarga monofásica em corrente alternada) foi considerado a corrente de 32A e a tensão de 220V para as estações de recarga.

#### 3.3.1. *Localização da Estação de Recarga*

Podem-se instalar a estação de recarga de VE na área do estacionamento onde estarão os painéis solares. Na Figura 1 foi apresentado o local de instalação da minigeração solar, área ocupada por 240 vagas a qual é possível instalar 42 pontos de recarga. Neste trabalho, cada ponto de recarga dispõe de uma potência aproximada de 7 kW, Logo, colocando 42 pontos de recargas para VE's, ter-se-á uma potência de 294kW. Observa-se que esta carga pode ser suprida, praticamente em sua totalidade, pela minigeração solar a ser instalada (300 kW).

## 4. Análise Estática e Dinâmica da Minigeração Distribuída

O sistema elétrico utilizado é parte de uma rede maior de um centro comercial a qual foi modelado no software Simulight® [31]. A demanda de carga e o diagrama unifilar encontram-se em [32].

Entre as premissas a serem consideradas têm-se: sistema com disjuntores para comando automático; sistema sem equipamentos de proteção; alimentação de cargas prioritárias como sala de controle e guarita de segurança; considerar a microrrede é “inteligente” (sistema com sensores e disjuntores que são acionados instantaneamente em caso de problemas detectados). Para a análise, a microrrede levará em consideração as tolerâncias de frequência da Tabela III, onde CN: condição normal [33].

XIV SYMPOSIUM OF SPECIALISTS IN ELECTRIC OPERATIONAL AND EXPANSION PLANNING

SEPTEMBER 30TH THRU OCTOBER 3RD OF 2018 / RECIFE / PE / BRASIL

Tabela III – Tolerância de frequência.

Frequência (Hz)	Tolerância fora CN	Frequência (Hz)	Tolerância fora das CN
$f > 66$	Desconectar	$58,5 \leq f < 59,5$	30 s
$63,5 < f \leq 66$	10 s	$57,5 \leq f < 58,5$	10 s
$62 < f \leq 63,5$	30 s	$56,5 \leq f < 57,5$	5 s
$59,5 \leq f \leq 60,5$	Até a recuperação da CN	$f < 56,5$	Desconectar

### 4.1. Estudo Estático

A Figura 3 mostra a tensão e carregamento de barras e linhas, respectivamente, no caso atual, isto é sem a minigeração. Neste sistema é adicionado o consumo ou recarga dos VEs, mas sem a inserção da FV, onde as novas tensões e carregamentos são mostrados na Figura 4.

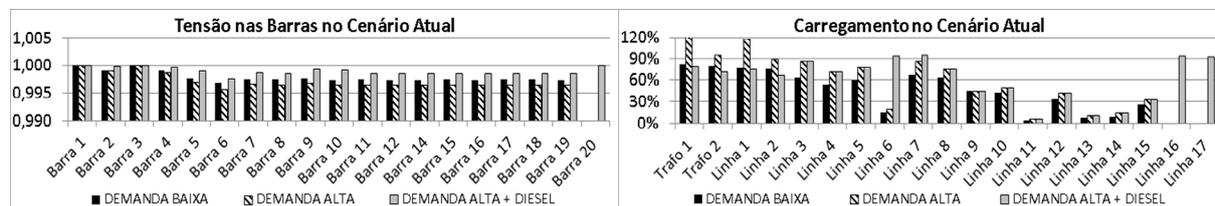


Figura 3 – Tensão e carregamento do cenário atual do centro comercial.

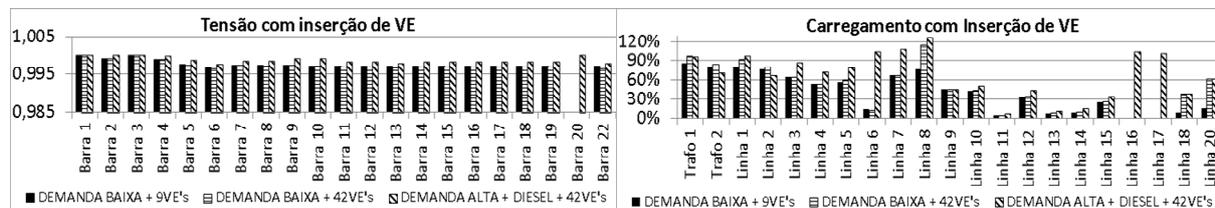


Figura 4 – Tensão e carregamento do centro comercial com consumo dos VEs.

Comparando as Figuras 3 e 4, tem-se que as tensões caem e os carregamentos das linhas aumentam. Caso seja inserida a minigeração FV no sistema elétrico, os níveis de tensão e o carregamento aumentarão e diminuirá, respectivamente, em comparação aos casos anteriores, tal como mostra a Figura 5. Isto indica, qualitativamente, o ganho da energia FV no centro comercial.

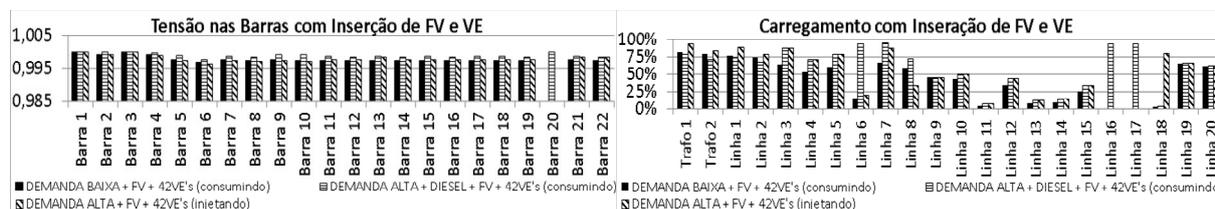


Figura 5 – Tensão e carregamento do centro comercial com inserção da FV e VEs.

### 4.2. Estudo Dinâmico

Neste trabalho, consideram-se três tipos de análise, Caso 1: carregamento de VEs; Caso 2: Perda da geração externa e; Caso 3: influência climática (nuvem a cima da FV). Para todos os casos o sistema elétrico do centro comercial conta com a minigeração FV instalada e está na demanda alta.

A Figura 6 mostra o comportamento do sistema de acordo com a recarga de VE's de conexão monofásico. Observa-se que módulos da tensão nas três fases são diferentes, tal como acontece numa recarga monofásica real. A injeção de potência das fontes de energia varia também com a recarga.

## XIV SYMPOSIUM OF SPECIALISTS IN ELECTRIC OPERATIONAL AND EXPANSION PLANNING

SEPTEMBER 30TH THRU OCTOBER 3RD OF 2018 / RECIFE / PE / BRASIL

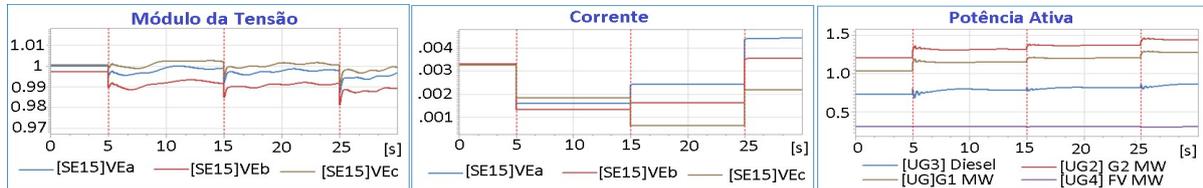


Figura 6 – Tensão e carregamento do centro comercial com consumo dos VEs.

No caso de perder a geração externa, o gerador a diesel e a minigeração FV não poderão alimentar a carga toda do sistema, mas considerando a microrrede inteligente, ter-se-á recorte de carga, assim como o aproveitamento da energia armazenada dos VE's. A Figura 7 mostra o comportamento no caso da perda da geração externa do centro comercial.

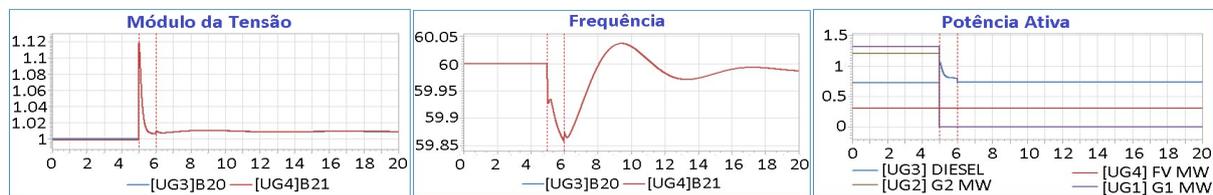


Figura 7 – Tensão e carregamento do centro comercial com consumo dos VEs.

No caso de ter efeitos climáticos, isto é considerando a passagem de uma nuvem acima da usina FV, a geração da FV será reduzida, logo para manter as cargas alimentadas, as outras fontes terão que compensar dita perda de energia. Para este caso, o comportamento do sistema é mostrado na Figura 8.

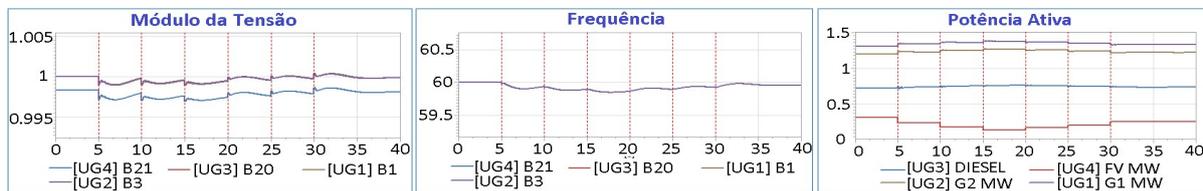


Figura 8 – Tensão e carregamento do centro comercial com consumo dos VEs.

## 5. Conclusões

A localidade do empreendimento analisado é uma das mais favoráveis em seu bairro (boa irradiação solar e área sem interferência de sombras), além disso, ainda é possível expandir a minigeração FV.

O impacto dos VE's no sistema é mínimo quando eles estão recarregando. Já no momento que eles injetam energia no sistema (usados como *no-break*), os VE's são uma excelente fonte de emergência para auxiliar as demandas da microrrede no caso de uma eventualidade.

Com relação à energia gerada pela minigeração FV, observou-se que é possível abastecer todas as estações de recarga, logo, existe a possibilidade de que os VE's recarreguem independentemente da energia proveniente da concessionária, tornando-se assim consumidores de uma energia "limpa".

O circuito apresentado representa um circuito real de um centro comercial por tal, ele mostra uma boa noção do comportamento da inclusão da minigeração e da estação de recarga de VE's numa microrrede "inteligente", pois suas cargas possuem valores reais dos equipamentos e os casos estudados são reais.

Por fim, concluímos que as configurações geradas para o estudo impactam no sistema de forma positiva, pois não geram sobrecarregamentos, melhoram os níveis de tensão e auxiliam o sistema em caso de emergência, além de demandar uma menor energia da concessionária.

**XIV SYMPOSIUM OF SPECIALISTS IN ELECTRIC OPERATIONAL AND EXPANSION PLANNING**

**SEPTEMBER 30TH THRU OCTOBER 3RD OF 2018 / RECIFE / PE /BRASIL**

**BIBLIOGRAPHY**

- [1] D.T. Cruz, Micro e Minigeração Eólica e Solar no Brasil: Propostas para Desenvolvimento do Setor. Tese de M.Sc, Escola Politécnica da USP São Paulo, SP, Brasil, 2005.
- [2] \_\_\_\_\_. Nota Técnica EPE: Avaliação da eficiência Energética e Geração Distribuída para os próximos 10 anos (2014-2023). Disponível em: <https://goo.gl/eT6EXx>, Rio de Janeiro, RJ, DEA 26/14, 2014.
- [3] ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). Resolução Normativa N°482, de 17 de abril de 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>, acesso em 25/03/2017.
- [4] ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). Resolução Normativa N°687 de 24 de novembro de 2015. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>, acesso em 25/03/2017.
- [5] P.F.A Silva, Breve História da Energia Solar. Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa, 2004. Disponível em: <[web.ist.utl.pt/palmira/solar.html](http://web.ist.utl.pt/palmira/solar.html)>. Acesso em: 17/03/ 2017.
- [6] IEA – International Energy Agency, A Snapshot of Global PV, Disponível em: <[http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/statistics/IEA-PVPS\\_-\\_A\\_Snapshot\\_of\\_Global\\_PV\\_-\\_1992-2016\\_\\_1\\_.pdf](http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/statistics/IEA-PVPS_-_A_Snapshot_of_Global_PV_-_1992-2016__1_.pdf)>, último acesso em 09/03/2017.
- [7] U.G.V. Ribeiro, Estudo de Viabilidade Econômica de Instalação de Fontes de Energia Renováveis Baseadas em Células Fotovoltaicas para o Uso Residencial. Projeto de Graduação apresentado à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, SP, Brasil, 2012.
- [8] M. Talbi, M.A. El-Agouch, S. Jedidi, 2017. Organic photovoltaic cells: OPC (Células fotovoltaicas orgânicas: CFO). University of Sousse, Tunisia.
- [9] Solar, Tipos de painel solar fotovoltaico, Disponível em: < <http://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>>, acesso em 15/05/2017.
- [10] Portal Energia, 2017 Disponível em: < <https://www.portal-energia.com/quem-matou-o-carro-eletrico-ev1-da-general-motors/> > acesso em 15/02/2018.
- [11] R. Baran, L.F.L. Legey, 2011. Veículos elétricos: história e perspectivas no Brasil. BNDES, Setorial. v. 33, p. 207-224.
- [12] GRUVE – Grupo de Estudos de Veículos Elétricos Disponível em: < <http://www.gruve.eng.uerj.br/>>, acesso em 22/02/2017.
- [13] R. Baran, 2012, A introdução de Veículos Elétricos no Brasil: Avaliação do Impacto no Consumo de Gasolina e Eletricidade. Tese de D.Sc, PPE/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- [14] INEE, Sobre Veículos Elétricos – Instituto Nacional de Eficiência Energética, Disponível em: <[http://www.inee.org.br/veh\\_sobre.asp?Cat=veh](http://www.inee.org.br/veh_sobre.asp?Cat=veh)>, acesso em 22/02/2017.
- [15] B.S.M.C. Borba, 2012, Modelagem Integrada da Introdução de Veículos Leves Conectáveis à Rede Elétrica no Sistema Energético Brasileiro. Tese de D.Sc, PPE/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- [16] H.B.M. Valle, 2015. Aplicação do Conceito Vehicle-to-Grid para nivelamento de Carga e Suprimento de Pico de demanda. Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/UFRJ, RJ, Brasil, 2015.
- [17] SAE Hydro-Québec, 2015. Electric Vehicle Charging Stations – Technical Installation Guide, 2nd edition – August 2015. Disponível em: < <http://www.hydroquebec.com/data/electrification-transport/pdf/technical-guide.pdf>>, acesso em 13/03/2017.

**XIV SYMPOSIUM OF SPECIALISTS IN ELECTRIC OPERATIONAL AND EXPANSION PLANNING****SEPTEMBER 30TH THRU OCTOBER 3RD OF 2018 / RECIFE / PE /BRASIL**

- [18] IEC Newslog, 2014 - B. Disponível em: <<http://www.iec.ch/newslog/2014/nr1014.htm>>, acesso em 08/03/2017.
- [19] China National Standards, GuoBiao – GB Standards, 2015. Disponível em: <[http://gbstandards.org/index/Standards\\_Search.asp?word=GB/T%2020234-2015](http://gbstandards.org/index/Standards_Search.asp?word=GB/T%2020234-2015)>, acesso em 20/01/2018.
- [20] ABNT, 2013 – Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR IEC 61851-1 – Sistema de recarga condutiva para veículos elétricos. Parte 1: Requisitos gerais, de 03 de junho de 2013.
- [21] The Mobility House, Disponível em: <<http://www.mobilityhouse.com/en/vehicle-to-grid-und-vehicle-to-home/>>, acesso em 24/05/2017.
- [22] W.B. Pereira, L.A.P. Peres, J.F.M. Pessanha, 2017, Modelo Estocástico para Simulação de Transformadores que Suprem a Recarga de Veículos Elétricos IEEE Latin America Transactions, Vol. 15, nº10, Outubro de 2017.
- [23] Technavio – V2G Disponível em: <<http://www.technavio.com/blog/what-is-vehicle-to-grid-v2g-and-how-is-it-improving-the-ev-market>>, acesso em 24/05/2017.
- [24] Siemens, 2017 Disponível em: <<https://www.energy.siemens.com/br/pt/topicos-sobre-energia/smart-grid/o-que-e-smart-grid.htm#content=Benef%C3%ADcios>>, acesso em 24/05/2017.
- [25] W. Correia, Cidade Inteligente Búzios, 2012. Disponível em: <[http://www.ppe.ufrj.br/ppeseminario\\_renovaveis/2016/apresentacao/mauricio\\_rouca.pdf](http://www.ppe.ufrj.br/ppeseminario_renovaveis/2016/apresentacao/mauricio_rouca.pdf)>, acesso em 24/05/2017.
- [26] Jinko Solar Disponível em: <[https://recursos.minhacasasolar.com.br/MediaCenter/PT-MKT-315P\\_v1.0\\_rev2015.pdf](https://recursos.minhacasasolar.com.br/MediaCenter/PT-MKT-315P_v1.0_rev2015.pdf)>, acesso em 21/11/2017.
- [27] F.P.P.S. Santos, T.C.S. Muniz. Análise técnica de implementação de um sistema de microgeração solar, eólica e híbrida para uma residência no Estado do Rio de Janeiro. Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, RJ, Brasil, 2017.
- [28] Zeppini, 2013 Disponível em: <<http://zeppini.com.br/blog/?s=eletroposto>>, acesso em 15/12/2017.
- [29] O Globo, 2015 Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/economia/carros/taxis-eletricos-do-rio-completam-dois-anos-na-praca-sem-dar-defeitos-15999956>>, acesso em 23/10/2017
- [30] Nissan, Autonomia e Carregamento, 2017 Disponível em: <[https://www.nissan.pt/veiculos/novos-veiculos/leaf/carregamento.html#charging:\\_home\\_and\\_public](https://www.nissan.pt/veiculos/novos-veiculos/leaf/carregamento.html#charging:_home_and_public)>, acesso em 23/10/2017
- [31] Simulight, COEP – Light, Manual do usuário, Disponível em: <http://www.coep.ufrj.br/~tarang/Simulight/index.htm>; acesso em 15/09/2017.
- [32] I.N. Silva; J.S. Penna. Estudo de minigeração com inserção de veículos elétricos conectados à rede elétrica. 2018. Projeto Final (Graduação em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.
- [33] Prodlist, 2010 - Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico; Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica, ANEEL.

## XIV SYMPOSIUM OF SPECIALISTS IN ELECTRIC OPERATIONAL AND EXPANSION PLANNING

SEPTEMBER 30TH THRU OCTOBER 3RD OF 2018 / RECIFE / PE /BRASIL

## 6. DADOS BIOGRÁFICOS

	<p>Autor de contato:</p> <p>Nome: SERGIO ESCALANTE</p> <p>Local/Ano nascimento: Arequipa - Perú, 1974</p> <p>Formação: Engenheiro Elétrico (UNI, 2001). DSc. Em Sistemas de Energia (COPPE-UFRJ, 2011).</p> <p>Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Transmissão da Energia Elétrica, Distribuição da Energia Elétrica, atuando principalmente nos seguintes temas: sistemas elétricos de potência, controladores FACTS e HVDC, fluxo de potência, oscilações eletromecânicas, estabilizadores de sistemas de potência, unidades de medição fasorial-PMU, dependability eilhamento automático. Atualmente é Professor Adjunto da Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ.</p>
<p>FOTO (opcional)</p>	<p>Autor n: 2</p> <p>Nome: JADER SANTOS PENNA</p> <p>Local/Ano nascimento: Rio de Janeiro - Brasil, 1991</p> <p>Formação: Engenheiro Eletricista com ênfase em Sistemas de Potência (UERJ, 2018). Técnico em Eletrotécnica (FAETEC, 2009).</p> <p>Experiência profissional: Em 2015 atuou no Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE) como prestador de serviços. Em 2013 atuou na Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE) como Estagiário de Engenharia Elétrica. Em 2010 atuou como Auxiliar Técnico de Eletrotécnica na Empresa CH Consultoria.</p>
	<p>Autor n: 3</p> <p>Nome: IVAN NASCIMENTO DA SILVA</p> <p>Local/Ano nascimento: Rio de Janeiro - Brasil, 1991</p> <p>Formação: Engenheiro Eletricista com ênfase em Sistemas de Potência (UERJ, 2018). Técnico em Eletrotécnica (FAETEC, 2008).</p> <p>Experiência profissional: Em 2016 atuou na Atos Serviços de TI Brasil como Analista de Suporte. Em 2014 e 2015 atuou como Estagiário de Engenharia Elétrica na Ampla Energia e Serviços S.A.. Em 2013 atuou como Estagiário de Engenharia Elétrica na Emissora TV Esporte Interativo. Em parte de 2012 atuou como Auxiliar Técnico na Engel Estudos e Soluções em Engenharia Ltda. Em parte de 2011 e 2012 atuou como Técnico em Eletrotécnica III na CAM Brasil Multiserviços Ltda. Em 2011 atuou como Auxiliar Técnico III na Montacon Engenharia Ltda.</p>