

Análise Comparativa da Elevação de Tensão causada pela Inserção de Geração Distribuída Fotovoltaica Concentrada e Pulverizada

Ronaldo Sérgio Chacon Camargos
Rafael Amaral Shayani
Marco Aurélio Gonçalves de Oliveira
Universidade de Brasília
Brasília, Brasil

Resumo— A publicação da Resolução Normativa 482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) fez com que os estudos de impactos técnicos na rede de distribuição necessitassem de uma mudança de enfoque, pois agora a instalação de geração distribuída (GD) deixa de ser definida pela concessionária e passa a ser definida pelos consumidores. Nesse contexto, o presente artigo propõe um método para análise comparativa de dois tipos de geração distribuída fotovoltaica, a concentrada e a pulverizada. O método proposto é aplicado em uma rede radial de distribuição e os resultados são apresentados e discutidos.

Palavras-chave-- Compensação de Energia, Elevação de Tensão, Geração Distribuída Fotovoltaica.

I. INTRODUÇÃO

A crescente necessidade pela eletricidade faz com que novas maneiras de se obter energia elétrica sejam criadas. Nessa busca por novas alternativas de geração, as fontes renováveis, como a eólica, fotovoltaica e biomassa, por exemplo, surgiram como uma excelente opção.

Um fato muito interessante é que, juntamente, com a utilização dessas fontes surgiu um novo modo de geração de energia elétrica. De maneira oposta ao que é usual, construir grandes usinas distantes dos centros de carga, iniciou-se um processo conexão de pequenas unidades de geração entre as cargas. Esse novo modo de geração recebeu o nome de geração distribuída (GD).

Percebe-se que pequenas gerações utilizando fontes renováveis podem contribuir para o aumento da oferta de eletricidade causando menores impactos ambientais e reduzindo os valores dos investimentos necessários para a implantação e operação da unidade geradora [1].

Contudo, a instalação de pequenas usinas nas redes de distribuição não pode ser feita sem a realização de estudos prévios, pois podem causar impactos nessas redes quando utilizadas em larga escala. Desta forma é indispensável a

realização de uma análise técnica da conexão de GD aos ramais de distribuição [2].

O objetivo deste trabalho concentra-se nos estudos necessários para a avaliação da elevação de tensão causada pela inserção de GD nas redes de distribuição. Sabendo que esse impacto na rede depende da fonte primária de energia, da potência instalada e da localização na rede da unidade geradora, este artigo apresenta e discute um método para ser utilizado na comparação da elevação de tensão em um ramal radial de distribuição causada por uma geração distribuída fotovoltaica concentrada (GDFVC) e por uma geração distribuída fotovoltaica pulverizada (GDFVP).

Para facilitar o entendimento desses dois tipos de GDFV, considere a rede mostrada na Fig. 1. Ela representa um alimentador hipotético em que será instalada GDFV.

Num primeiro momento, suponha que será instalada GDFV em todas as unidades consumidoras, desta forma a GDFV será instalada em todas as barras de cargas 5, 7, 10, 11, 14 e 15. Agora numa segunda situação, será instalada GDFV somente em uma única barra de carga, por exemplo, na UC da barra 15.

Na primeira situação, Fig. 1 à esquerda, diz-se que a GDFV está pulverizada na rede, pois ela está espalhada por todo o alimentador. Enquanto que na segunda, Fig. 1 à direita, nota-se uma concentração de GDFV em um único ponto da rede, por isso entende-se que essa GDFV está concentrada naquela localização.

Sabe-se que os impactos causados na rede de distribuição pela inserção de GDFV dependem da potência que está sendo instalada e da posição dessa GD no alimentador. Desta forma, é necessário conhecer como esses fatores influenciam esses impactos e como o desempenho da rede de distribuição é alterado.



Figura 1. Rede hipotética com instalação de GDFV

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A. Impactos técnicos da GD na rede de distribuição

1) Inversão do fluxo de potência

O sistema elétrico foi planejado com grandes centros de geração alimentando os centros de carga, sendo que essa geração fica situada em locais distantes das cargas. Esse modelo é chamado de geração centralizada (GC) e é caracterizado por extensas linhas de transmissão e distribuição que conectam as grandes usinas aos centros de carga, o que causa perdas devido ao longo caminho percorrido pela energia.

A GD consiste em unidades consumidoras que instalam pequenas unidades de geração e ficam, portanto, conectadas ao sistema, junto com as cargas, na própria rede de distribuição. Essa conexão de geração próximo às cargas pode trazer problemas para o sistema elétrico, visto que ele foi projetado para que o fluxo de energia ocorresse em um único sentido, das usinas para as cargas. Quando a potência gerada é superior à potência consumida, as unidades consumidoras passam a se comportar como pequenas usinas e injetam energia na rede, invertendo o fluxo de potência original. Essa inversão do fluxo de energia faz com que o mesmo deixe de ser unidirecional, tornando o dimensionamento desses ramais não triviais [1].

2) Elevação de tensão

Nos alimentadores radiais tradicionais, aqueles em que a energia flui em um único sentido – das subestações para as cargas – há uma queda de tensão ao longo desse percurso causada pelas perdas nas linhas de distribuição. Compensada na própria subestação, através de reguladores de tensão ou taps dos transformadores, por exemplo [3].

Com a inserção da GD e a injeção de potência na rede, o fluxo de potência inverso faz com que a corrente elétrica percorra o alimentador em direção à subestação. Com isso, a tensão na carga torna-se superior à tensão na subestação, invertendo a situação encontrada nas redes sem GD [3].

Existem outras perturbações na rede causadas pela inserção de GD que não foram detalhadas, como sobrecorrente, perdas, ilhamento não-intencional, perda de proteção, por fugir ao escopo deste trabalho.

B. Regulação da GD no Brasil

Em abril de 2012, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) publicou a Resolução Normativa 482/2012 tornando livre o acesso às redes de distribuição para pequenas unidades geradoras desde que sejam atendidos os requisitos mínimos estabelecidos por ela.

Esta resolução é considerada o marco regulatório da GD no Brasil por ser o primeiro documento a estabelecer e regular a instalação de GD em qualquer unidade consumidora. A RN 482/2012 “estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências” [5].

Um dos pontos importantes da resolução é a definição dos limites da microgeração e da minigeração distribuída. É considerada microgeração distribuída aquela central geradora cuja capacidade instalada seja menor ou igual 100kW e uma central geradora é considerada minigeração distribuída se a sua capacidade instalada for superior a 100kW e inferior ou igual a 1MW. Sendo que os dois tipos devem utilizar fontes renováveis e estar conectadas na rede de distribuição através de unidades consumidoras [5].

Um outro assunto que merece destaque é o estabelecimento das regras do sistema de compensação de energia. Essa compensação de energia é a contabilização da energia ativa injetada na rede e o abatimento dessa da energia ativa consumida, ou seja, faz-se um balanço entre a energia consumida e a energia injetada [5]. Dessa forma, fica claro que não há transações financeiras entre a distribuidora e a unidade consumidora, o benefício de quem instala a GD é a redução do valor pago na fatura de energia elétrica.

III. O MÉTODO

A. Alocação da GD definida pelo consumidor e não pela concessionária

Durante muito tempo, diversos trabalhos sobre a inserção de GD abordaram uma alocação ótima dessa geração, tanto do ponto de vista de potência instalada como da localização na rede de distribuição, com o intuito de reduzir as perdas ao máximo. Então, uma análise financeira era feita para constatar se existia viabilidade na instalação de GD. Toda essa análise, técnica e econômica, era feita do ponto de vista da concessionária da rede [6].

Com a publicação da RN 482/2012 da ANEEL, essas análises passam a ter um novo enfoque. Agora, qualquer consumidor pode instalar uma unidade de geração e compensar uma parte ou a totalidade da energia consumida com a quantidade gerada. Desta forma, não existem mais locais preferenciais de instalação, pois qualquer ponto do alimentador em que há um consumidor pode receber uma GD. Com isso, novas análises devem ser feitas considerando que a GD pode se conectar em qualquer lugar da rede alterando o seu desempenho. Isso faz com que novos estudos sejam realizados para que se conheçam os novos impactos.

B. Método para a análise comparativa dos impactos técnicos causados por GDFVC e GDFVP

O método apresentado a seguir visa identificar o aumento de tensão nas barras decorrente da inserção de GDFV devido ao fluxo inverso de potência.

1) Cálculo dos impactos

O cálculo da potência injetada na rede é função da demanda das unidades consumidoras (UC's) e da potência gerada pela GDFV. Assim, as curvas de carga e de irradiância solar são os dados de entrada do algoritmo, que calcula as tensões em cada uma das barras para cada hora do dia.

É estabelecido uma quantidade de potência instalada de GDFV, e, a partir desse valor e da demanda, obtém-se a potência resultante das UC's. Essa potência resultante é utilizada no cálculo de fluxo de potência do alimentador. Com base nesses resultados, são identificadas as tensões em cada barra da rede. Assim, esses valores são comparados com os limites estabelecidos e verifica-se se algum deles foi ultrapassado.

Esses cálculos são repetidos para cada hora do dia e para cada dia típico – dia útil, sábado e domingo. Essa repetição é realizada por uma rotina, que atualiza os valores de demanda e de irradiância solar para cada hora do dia e para cada dia típico.

Os impactos são calculados e, de forma resumida, os principais indicadores são destacados para cada iteração:

- O valor da tensão máxima e a barra em que isso ocorreu;
- Se o limite de tensão foi ultrapassado; e
- A injeção de potência resultante de cada unidade consumidora e a injeção total de potência do sistema fotovoltaico.

2) Comparação GDFVC x GDFVP

O que distingue o tipo de GDFV instalada é a potência instalada e os locais onde foi instalada. Dessa forma, o algoritmo explicado na subseção anterior pode ser utilizado para o cálculo de qualquer tipo de GDFV. Bastando, para isso, determinar em quais UC's serão instaladas a GD – feito através da escolha das barras que terão sua demanda substituída pela potência resultante para o cálculo do fluxo de potência – e qual vai ser o valor da potência instalada. Dessa forma, são obtidos os resultados dos impactos para os dois tipos de GDFV, possibilitando uma análise criteriosa e a constatação de qual tipo causa maior alteração no desempenho da rede.

IV. REDE DE DISTRIBUIÇÃO PARA TESTES DOS IMPACTOS DE GDFV

A rede utilizada nas simulações é um alimentador hipotético que atende a diferentes tipos UC's. Optou-se por utilizar um alimentador hipotético, porém bastante didático, para facilitar a compreensão do método, que foi apresentado na seção anterior.

A rede escolhida foi obtida a partir de um alimentador criado por [4], com o intuito de estudar impactos da inserção de GDFV.

Este alimentador possui topologia radial e atende às suas unidades consumidoras através de uma rede aérea de distribuição.

O alimentador é de média tensão trifásico, simétrico e equilibrado e com cargas do tipo potência constante. Toda a rede opera em regime permanente e sem chaveamentos, desconsiderando-se os transitórios, visto que os impactos analisados no presente trabalho são em regime permanente. Os transformadores 13.800/380 V são específicos para cada tipo de carga, ou seja, trafos de cargas comerciais alimentam somente cargas comerciais. Quanto à GDFV, considerou-se que ela não sofre influência da temperatura e que todos os painéis absorvem a mesma irradiância solar, pois estão localizados em regiões próximas geograficamente [4].

Todas essas hipóteses foram feitas com o objetivo de simplificar a análise, mas sem prejudicar a confiabilidade e aplicabilidade dos resultados obtidos.

A Fig. 2 apresenta um esquemático do alimentador em que são mostrados o comprimento de cada trecho, o tipo e a seção transversal do cabo utilizado, assim como as potências, em kVA, dos transformadores.

Repare que o alimentador escolhido para a análise apresenta uma simetria particular dos parâmetros elétricos, o que facilita a análise dos impactos quando se variam a potência de GDFV instalada e a posição da rede onde foi inserida.

A. Unidades consumidoras e suas curvas de carga

O alimentador radial possui um ramo principal de onde derivam seis ramificações, sendo que duas alimentam UC's residenciais de médio consumo, outras duas, UC's residenciais de alto consumo, e as duas restantes alimentam UC's comerciais [4].

Cada ramificação está conectada a três transformadores abaixadores. Cada trafa alimenta um conjunto de 72 lotes, ou seja, um único transformador supre 72 UC's independentemente do seu tipo de carga e/ou em qual ramificação está conectada [4].

O que difere o tipo de cada UC é o seu consumo que depende da curva de carga. Como as UC's de mesmo tipo estão agrupadas nos transformadores, utilizou-se uma curva de carga por transformador, isto é, uma curva de carga para cada conjunto de UC's.

Para a curva de carga comercial foi adotado o formato típico com base em UC's que ultrapassam o consumo de 5000 kWh/mês. Para a curva dos trafos que alimentam as UC's de alto consumo, os dados utilizados para a determinação foram de unidades que consomem entre 500 e 1000 kWh/mês. E, finalmente, a curva de carga típica que representa as residências de médio consumo estão na faixa entre 151 e 200 kWh/mês [4].

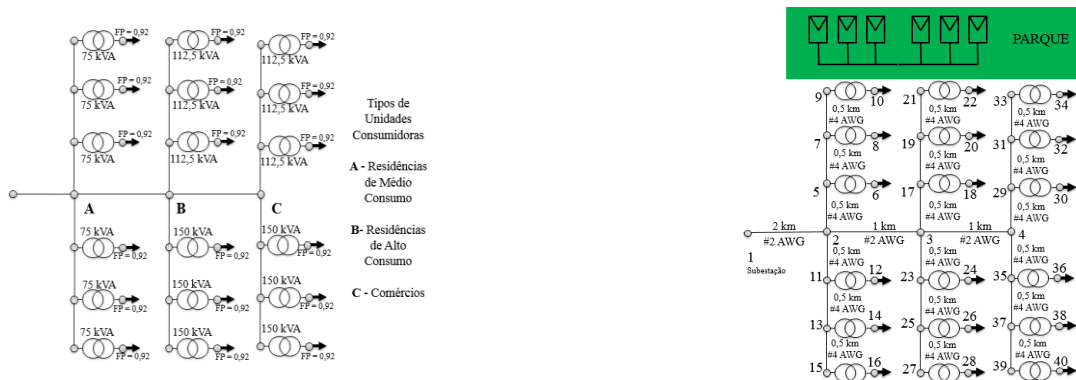


Figura 2. Parâmetros elétricos do alimentador

É importante destacar que tipos diferentes de consumidores são essenciais para analisar impactos de GDFV, visto que a potência injetada na rede é a diferença entre a demanda e geração. Desta forma, ter variações de curva de carga é interessante para se comparar a injeção de potência no alimentador em diferentes tipos de consumidores.

B. Irradiância Solar

A curva de irradiância solar utilizada foi retirada de [4], que foi obtida a partir de dados que foram captados na estação do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizada em Brasília. Mais de 3200 dias foram monitorados, obtendo-se valores de irradiância a cada hora. Esses dados foram tratados e a curva resultante utilizada no presente artigo.

V. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados foram obtidos com a aplicação do algoritmo em Matlab, utilizando o pacote MATPOWER [7]. Escolheu-se quatro situações com a mesma quantidade total de GDFV instalada, três casos de GDFVC variando a posição de instalação e um de GDFVP, para fazer uma comparação entre os impactos causados.

Nos casos simulados, a GDFV gerou 17,34 MWh de energia, o que equivale a 97,5% de um domingo típico de todo o consumo do alimentador. Dessa forma, a rede teve um consumo líquido de 442 kWh, isto é, consumiu 442 kWh a mais que a energia gerada. A potência instalada total responsável pela GDFV foi igual a aproximadamente 2,47MWp.

A. GDFVC em um parque

No caso de GDFVC, considerou-se a instalação de painéis fotovoltaicos na área de um parque frequentado pelos moradores da região. Supõe-se que o parque apresenta uma grande área livre para receber a GDFV, fazendo com que a superfície disponível para a instalação não fosse um fator limitante.

Por se tratar de um parque, a conexão dessa UC à rede de distribuição foi feita através de uma barra de carga. Devido à localização do parque, mostrada na Fig. 2, a GDFVC foi conectada às barras 10, 22 e 34.

Foi feita a simulação para os três dias típicos das curvas de carga – dias úteis, sábados e domingos. Contudo são

apresentados a seguir somente os resultados para o domingo, situação em que os impactos foram mais intensos.

As Tabs. 1, 2 e 3 mostram os resultados de tensão máxima nos momentos do dia em que a irradiância solar é diferente de zero para o caso da GDFVC conectada às barras 34, 22 e 10, respectivamente.

TABELA 1. VALORES DE TENSÃO MÁXIMA PARA UM DOMINGO TÍPICO – GDFVC – BARRA 34

Hora do Dia	Tensão Máxima (pu)	Barra de Tensão Máxima	Limite de Tensão Ultrapassado
7	1,0000	1	Não
8	1,0000	1	Não
9	1,0478	34	Não
10	1,0970	34	Sim
11	1,1118	34	Sim
12	1,0972	34	Sim
13	1,0814	34	Sim
14	1,0872	34	Sim
15	1,1058	34	Sim
16	1,1137	34	Sim
17	1,1003	34	Sim
18	1,0619	34	Sim
19	1,0000	1	Não

TABELA 2. VALORES DE TENSÃO MÁXIMA PARA UM DOMINGO TÍPICO – GDFVC – BARRA 22

Hora do Dia	Tensão Máxima (pu)	Barra de Tensão Máxima	Limite de Tensão Ultrapassado
7	1,0000	1	Não
8	1,0000	1	Não
9	1,0473	22	Não
10	1,0944	22	Sim
11	1,1079	22	Sim
12	1,0933	22	Sim
13	1,0772	22	Sim
14	1,0830	22	Sim
15	1,1014	22	Sim
16	1,1096	22	Sim
17	1,0967	22	Sim
18	1,0583	22	Sim
19	1,0000	1	Não

Para as três situações simuladas, nota-se que os limites de tensão estabelecidos pelo Procedimentos de Distribuição (PRODIST) foram ultrapassados em algum momento do dia, ou seja, houveram barras que ultrapassaram o valor de 1,05 pu

de tensão. E repare que as barras que ultrapassaram esse limite de tensão foram aquelas em que a GDFVC foi inserida, causando uma inversão no fluxo de potência do alimentador.

TABELA 3. VALORES DE TENSÃO MÁXIMA PARA UM DOMINGO TÍPICO – GDFVC – BARRA 10

Hora do Dia	Tensão Máxima (pu)	Barra de Tensão Máxima	Limite de Tensão Ultrapassado
7	1	1	Não
8	1,0042	10	Não
9	1,0798	10	Sim
10	1,1225	10	Sim
11	-	-	-
12	-	-	-
13	-	-	-
14	-	-	-
15	-	-	-
16	-	-	-
17	-	-	-
18	-	-	-
19	-	-	-

Analisando as diferenças obtidas em cada caso pode-se compreender como a posição da GDFVC na rede influencia os impactos. Ao se comparar os resultados apresentados nas Tabs. 1 e 2, constata-se que o limite de tensão foi ultrapassado no mesmo período do dia, entre 10h e 18h, e os valores máximos atingidos foram de 1,1137pu quando conectada à barra 34 e 1,1096pu, à barra 22. Apesar da barra 34 está mais afastada da subestação, o valor de tensão atingido foi superior ao do caso em que a GDFV estava conectada à barra 22. Fato explicado pela diferença de consumo entre as cargas de cada uma das barras. Como a potência instalada nos dois casos é a mesma, a diferença na energia injetada é causada pelos consumos distintos. Isto é, potência resultante é a diferença entre geração e demanda, como as residências de alto consumo (barra 22) possuem uma demanda superior aos comércios (barra 34), elas acabam injetando menos potência na rede e, por consequência, impactam menos o seu desempenho.

Observando a Tab. 3, nota-se que a partir das 11h não há informações sobre a tensão máxima. Isso ocorreu porque o fluxo de carga calculado, a partir desse momento, não convergiu, fazendo com que a rotina de cálculo fosse interrompida. Fato explicado pela proximidade da geração à subestação, pois a tensão estava elevando-se a patamares insustentáveis pela rede, causando instabilidade no sistema. Pode-se ver que às 10h da manhã o limite de tensão já tinha sido ultrapassado e o valor de tensão desse caso, 1,1225pu, foi superior ao das demais situações.

Essa diferença de potência injetada na rede é compreendida claramente ao se analisar a Fig. 3, que apresenta a potência resultante das UC's em cada ponto de conexão. Repare que, como o valor da potência instalada é muito superior às curvas de carga, a potência resultante das três UC's ficaram quase que sobrepostas. Contudo, mesmo assim é possível notar que a situação que injetou mais potência no alimentador foi quando a GDFVC estava conectada nas residências de médio consumo, sendo seguida

pelos comércios e, por último, pelas residências de alto consumo.

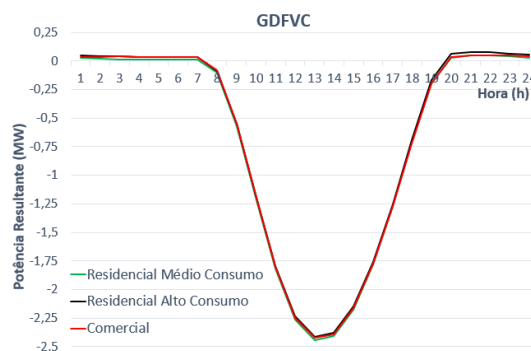


Figura 3. Potência resultante das UCs com GDFVC em um domingo típico

B. GDFVP em todas UC's

Com o intuito de evitar que a energia gerada fosse superior à consumida, a potência instalada de GDFV em cada tipo de consumidor ficou diferente, sendo proporcional ao respectivo consumo. Dessa forma, a potência instalada de GDFV nas residências de alto consumo foi de 178 kWp; nas residências de médio consumo, de 96 kWp; e nas unidades comerciais, de 137 kWp.

A Tab. 4 apresenta os valores de tensão máxima obtidos para as horas de um domingo típico com irradiância solar não nula.

TABELA 4. VALORES DE TENSÃO MÁXIMA PARA UM DOMINGO TÍPICO – GDFVP

Hora do Dia	Tensão Máxima (pu)	Barra de Tensão Máxima	Limite de Tensão Ultrapassado
7	1,0000	1	Não
8	1,0000	1	Não
9	1,0000	1	Não
10	1,0041	22	Não
11	1,0124	34	Não
12	1,0215	22	Não
13	1,0266	22	Não
14	1,0270	22	Não
15	1,0223	22	Não
16	1,0136	34	Não
17	1,0049	34	Não
18	1,0000	1	Não
19	1,0000	1	Não

Observando-se a Tab. 4, nota-se que os valores de tensão máxima assumidos das 10h às 17h – horário em que os valores de irradiância solar são representativos – ocorreram em barras em que foram inseridas GDFV, barras 22 e 34. O fato da barra 10 não estar entre os resultados apresentados é explicado pelo baixo valor de potência injetada na rede. A Fig. 4 mostra as curvas de potência resultante para cada tipo de UC.

Fica nítido que a UC que mais injetou potência na rede foi a residencial de alto consumo, fazendo com que a sua barra de conexão apresentasse valores de tensão máxima em boa parte do dia. A unidade comercial foi a segunda a apresentar maior quantidade de potência injetada, justificando a elevação de tensão em suas barras em alguns momentos do dia. E, por último, as residências de médio consumo foram as que

injetaram menos potência. Essas diferenças são explicadas pelos valores distintos de potência instalada e de consumo.

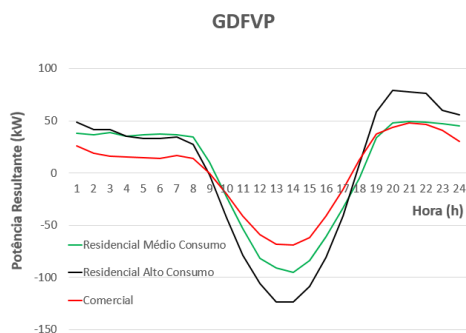


Figura 4. Potência resultante das UC's com GDFVC em um domingo típico

Como a GDFV foi instalada em mais de um tipo de UC é interessante olharmos o balanço energético das UC's de maneira separada. A GDFV instalada nas residências de médio consumo gerou 677,1 kWh, o que representa 97,3% de toda energia consumida, fazendo com que o consumo líquido fosse de 18,3 kWh. A GDFV nas UC's residenciais de alto consumo gerou quase toda a energia consumida por elas, 99,6%, fazendo com que o consumo líquido fosse de 5,15 kWh, sendo que a energia gerada foi de 1,25 MWh. E para um conjunto de uma UC comercial, o percentual de geração foi de 95%, levando a um consumo líquido de 50 kWh, sendo que a GDFV gerou 963,5 kWh.

É importante ressaltar que os valores apresentados acima dizem respeito a uma única UC. E, observando a Fig. 2, conclui-se que há 6 unidades de cada tipo. Dessa forma, para se obter os valores para toda a rede basta somar as contribuições de cada UC e multiplicar pela quantidade de cada uma na rede e verificar que os resultados obtidos estão de acordo com aqueles para os casos de GDFVC.

Repare que para todas as UC's, a geração não foi superior ao consumo, visto que essa é uma limitação da RN 482/2012, que não estimula a venda de energia e, sim, o equilíbrio entre a demanda e a geração. Esse equilíbrio quase atingido pelas UC's causou o mesmo efeito quando se olha a rede como um todo.

No caso da GDFVC, o mesmo equilíbrio foi atingido pela instalação de GDFV no parque. Um aspecto que não pode deixar de ser ressaltado é que a instalação de uma potência instalada elevada de GDFV culminou em uma produção de energia muito superior ao consumo, o que não é vantajoso. Contudo, quando se trata de propriedades do governo, essa injeção em excesso se torna interessante, pois a RN permite a compensação do excesso de energia em outras edificações desde que sejam do mesmo dono e estejam na área servida pela mesma concessionária. Isto significa que, para o governo, investir em GDFVC pode ser muito vantajoso, pois ele pode fazer essa compensação com os outros edifícios de sua propriedade.

VI. CONCLUSÃO

Quando se comparam as elevações de tensão causadas pelas inserções de GDFV, nota-se que esses impactos sofrem

influência de dois fatores: da potência instalada e da posição no alimentador.

Constatou-se que um maior valor de potência instalada concentrada em um ponto único da rede, causa maiores impactos. Sendo que, quanto mais próximo da subestação for instalada a GDFVC, maior será a elevação de tensão. Quando se comparam os impactos técnicos causados por uma GDFVC com os impactos gerados por uma GDFVP equivalente, isto é, que produz a mesma quantidade de energia, percebe-se que há diferenças que devem ser consideradas em um estudo do tipo.

Viu-se que uma GDFV mais concentrada pode causar mais impactos que uma GDFV pulverizada na rede de distribuição, pois provoca maiores aumentos de tensão. E que, quando se faz uma comparação da intensidade dessa influência no desempenho da rede, nota-se que são superiores àqueles causados pela GDFVP.

E, finalmente, sabe-se que a alteração no funcionamento dos alimentadores causada pela GDFV depende da potência e da localização na rede. Sendo que quando se instala uma determinada potência de GDFV em um único ponto, como por exemplo parques, estacionamentos, hipermercados, estádios, etc, esta causa mais impactos do que quando se instala a mesma potência de GDFV só que pulverizada ao longo da rede de distribuição.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal (FAP-DF) pela contribuição dada à publicação deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] Shayani, R. A. "Método para determinação do limite de penetração da geração distribuída fotovoltaica em redes de distribuição radial". Tese de doutorado em engenharia elétrica, publicação PPGENE.TD051/10, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2010.
- [2] ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, 2012. *Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - PRODIST, Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição*.
- [3] Oliveira, M. A. V. de. "Dimensionamento de geração distribuída fotovoltaica em redes radiais de distribuição considerando curvas de irradiância solar e de carga". Trabalho de conclusão de curso. Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2011.
- [4] Lopes, L. Z. "Alimentador radial de distribuição para simulações de penetração da geração distribuída fotovoltaica. Trabalho de conclusão de curso. Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2011.
- [5] ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, 2012: *Resolução Normativa Nº 482/2012; 17/04/2012. Alterada pela RN Nº 517; 11/12/2012*.
- [6] Guedes, L. M. "Alocação de unidades de geração distribuída considerando perdas e aspectos econômicos". Tese de doutorado em engenharia elétrica, publicação 075/2013, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2012.
- [7] Zimmerman, R. D.; Murillo-Sanchez, C. E.; Thomas, R.J; MATPOWER SteadyState Operations, Planning and Analysis Tools for Systems Research and Educations. Power Systems, *IEEE Transactions on*, vol. 26, Nº 1, p. 12-19, 2010.