



University of  
Texas Libraries



e-revist@s



Centro Universitário Santo Agostinho

# revistafsa

[www4.fsnet.com.br/revista](http://www4.fsnet.com.br/revista)

Rev. FSA, Teresina, v. 19, n. 12, art. 11, p. 233-246, dez. 2022

ISSN Impresso: 1806-6356 ISSN Eletrônico: 2317-2983

<http://dx.doi.org/10.12819/2022.19.12.11>

DOAJ DIRECTORY OF  
OPEN ACCESS  
JOURNALS

WZB  
Wissenschaftszentrum Berlin  
für Sozialforschung



## Análise da Qualidade de Energia no Caso da Geração Distribuição Atuando em Serviços Ancilares

### Power Quality Analysis in the Case of Distributed Generation Acting as an Ancillary Service

#### **Claudio Eduardo da Silva Santiago**

Engenheiro Eletricista Universidade Gama Filho  
Mestrando pelo PPGEET da Universidade Federal Fluminense  
E-mail: [claudio.santiago@imc.com](mailto:claudio.santiago@imc.com)

#### **Gustavo Timponi Campos**

Engenheiro Eletricista pela Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Mestrando pela PPGEET da Universidade Federal Fluminense  
E-mail: [gustavo.enel@poli.ufrj.br](mailto:gustavo.enel@poli.ufrj.br)

#### **Keren Tenório Soares**

Mestre em Engenharia Elétrica e de Telecomunicações da Universidade Federal Fluminense  
E-mail: [kerentsoares@yahoo.com.br](mailto:kerentsoares@yahoo.com.br)

#### **Marcio Zamboti Fortes**

Doutor em Engenharia Elétrica da Universidade de São Paulo  
Prof. Associado III da Universidade Federal Fluminense  
E-mail: [mzamboti@id.uff.br](mailto:mzamboti@id.uff.br)

#### **Bruno Soares Moreira Cesar Borba**

Doutor em Planejamento Energético da Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Associado II da Universidade Federal Fluminense  
E-mail: [bborba@id.uff.br](mailto:bborba@id.uff.br)

#### **Endereço: Claudio Eduardo da Silva Santiago**

Universidade Federal Fluminense, R. Mario Santos  
Braga, 30 - Centro, Niterói - RJ, 24020-140, Brasil.

#### **Endereço: Gustavo Timponi Campos**

Universidade Federal Fluminense, R. Mario Santos  
Braga, 30 - Centro, Niterói - RJ, 24020-140, Brasil.

#### **Endereço: Keren Tenório Soares**

Universidade Federal Fluminense, R. Mario Santos  
Braga, 30 - Centro, Niterói - RJ, 24020-140, Brasil.

#### **Endereço: Marcio Zamboti Fortes**

Universidade Federal Fluminense, R. Mario Santos  
Braga, 30 - Centro, Niterói - RJ, 24020-140, Brasil.

#### **Endereço: Bruno Soares Moreira Cesar Borba**

Universidade Federal Fluminense, R. Mario Santos  
Braga, 30 - Centro, Niterói - RJ, 24020-140, Brasil.

**Editor-Chefe: Dr. Tonny Kerley de Alencar  
Rodrigues**

**Artigo recebido em 25/09/2022. Última versão  
recebida em 10/10/2022. Aprovado em 11/10/2022.**

**Avaliado pelo sistema Triple Review: a) Desk Review  
pelo Editor-Chefe; e b) Double Blind Review  
(avaliação cega por dois avaliadores da área).**

**Revisão: Gramatical, Normativa e de Formatação**

## RESUMO

O setor elétrico está passando por mudanças significativas em relação ao novo tipo de consumidor, os *prosumers*, onde as cargas estão se comportando como um fluxo de potência bidirecional. Esse modelo de negócio que está surgindo é interessante porque pode promover o uso de energia renovável (solar) como ferramenta de marketing. Os *prosumers* estão criando preocupações às empresas de distribuição de energia elétrica locais com o aumento da penetração da geração distribuída (GD), podendo causar problemas de qualidade de energia. Nesse sentido, este trabalho apresenta uma proposta de utilização da GD como serviço auxiliar para melhorar problemas de qualidade de energia, atuando positivamente nas mudanças no perfil de tensão devido à potência reversa na GD. Portanto, este trabalho apresenta simulações feitas utilizando o software OpenDSS para ilustrar os problemas de tensão e abordar uma possível solução para as distribuidoras locais, utilizando esta geração como serviço auxiliar e assim motivar este novo modelo de negócio.

**Palavras-chave:** Geração Distribuída. Qualidade de Energia. Geração Energia solar. Serviços Ancilares.

## ABSTRACT

The electric sector is going through significant changes with respect to the ongoing new type of consumer, the *prosumers*, where the loads are moving to a bidirectional power flow behavior. This business model is interesting because can promote the use of renewable energy (solar) as a marketing tool. *Prosumers* are recently arising concerns from the point of view of local distribution companies that are now looking forward to alleviating the power quality drawbacks of increasing distributed generation (DG) penetration. In this sense, this work presents a proposal for using DG as an ancillary service to improve energy quality issues, such as voltage profile changes due to DG reverse power. Therefore, this work presents simulations made using OpenDSS software to illustrate the voltage issues and address a possible solution for local electric power utilities, using this power electric generated as auxiliary services and thus motivating this new business model.

**Keywords:** Distributed Generation. Power Quality. Solar Power Generation. Ancillary. Services.

## 1 INTRODUÇÃO

Com o aumento da geração distribuída (GD) proveniente da diminuição dos custos de produção dos painéis solares e os incentivos a utilização de energias limpas, o consumidor vem passando por uma transição, passando do *status* de consumidor passivo para o modelo de prosumidor, o termo prosumidor vem do inglês *prosumer* que quer dizer produtor e consumidor, respectivamente. Dada a aderência ao tema do trabalho, este será o termo adotado ao longo do artigo.

No primeiro semestre de 2019, o Brasil comemorava o primeiro gigawatt em geração distribuída no país. E, em setembro de 2020, já superava 3,6 GWp, sendo 72,3% no setor residencial (ECOIA, 2021).

Nesse sentido, este trabalho vem somar ao processo de disseminação e crescimento da GD no país, aproveitando os incentivos como por exemplo o programa ProGD no qual o governo brasileiro pretende investir 100 bilhões em energia limpa, podendo os interessados aderir ao programa até 2030 (REZENDE, 2017) e a redução do preço dos painéis solares que acumula uma queda de 90% desde 2010, conforme (FUNDAÇÃO JOAQUIM NABUCO, 2020). Diante dessas possibilidades, o prosumidor pode atuar como carga pura (consumindo energia) ou injetando potência na rede, a depender da disponibilidade dos recursos da GD. O prosumidor também pode auxiliar no gerenciamento de *smart grids* como apresentado por Rathnayaka *et al.* (2014) e se tornar um agente de negócios para, por exemplo, oferecer serviços de suporte tensão ou reativo considerados serviços ancilares.

Neste contexto de elevado interesse por este modelo de negócio por parte do anteriormente consumidor e agora prosumidor, as distribuidoras de energia se veem no desafio de melhorarem o controle e a proteção das suas redes, para que não ocorram problemas de qualidade de energia, na medida em que os montantes injetados na rede passam a afetar a direção dos fluxos da rede que antes era apenas unidirecional. Existem vários estudos publicados que reportam sobre os possíveis problemas causados por GDs conectadas à rede de distribuição como em Bisht (2012) e Swathi *et al.* (2013).

Tem que se considerar também um problema comum gerado pela inversão do fluxo, que é o surgimento de ilhamentos e zonas de tensão mais elevadas (BIAZ *et al.*, 2018). Desta forma, é comum que as distribuidoras façam uma avaliação prévia da instalação de uma fonte de GD em pontos específicos da rede. Para proteger-se destes problemas e evitar cenários de sub/sobretensão nas cargas, as distribuidoras podem contar com as ferramentas do serviço ancilar que podem ser fornecidas pelo próprio prosumidor. Com este serviço, a distribuidora

pode se beneficiar contando com a geração do prosumidor em momentos em que a rede necessitar. Esta abordagem ainda não é utilizada de forma difundida em toda a sua potencialidade, mas vem crescendo à medida que as distribuidoras atinjam um nível de automação suficiente para operar com o comportamento bidirecional das cargas. A oportunidade do estudo da GD como serviço ancilar já possui pesquisas robustas como reportado em Rocha (2017) e Chaves (2009).

A literatura internacional mostra que alguns países com redes mais automatizadas já utilizam este serviço e apresentam pesquisas focadas nas chamadas redes de distribuição ativas (*Active Distribution Networks – ADN*) (STANKOVIC *et al.*, 2021). E já se discutem modelos de precificação para estes serviços (RAINERI *et al.*, 2008). No caso brasileiro, os serviços ancilares abrangem a esfera da geração/transmissão e ainda não são aplicados ao nível da distribuição. Uma pesquisa abordando os benefícios e custos do uso destes serviços está apresentado em Jardini e Casolari (2021).

Nesse sentido, este trabalho traz uma análise de como um gerador distribuído poderá ser utilizado como auxílio para a distribuidora tratar de questões ligadas à qualidade de energia, particularmente a tensão, ficando como opção de o consumidor fazer ou não parte deste “serviço de suporte”.

Para explorar o potencial auxílio das GDs, é necessário um estudo temporal ao longo do ciclo diário de injeção e consumo das cargas na rede. Neste sentido, viu-se necessário utilizar um software que tenha a capacidade de rodar o fluxo de potência ao longo do tempo, como é o caso do OpenDss (Software livre desenvolvido em 1997 pela EPRI - *Electric Power Research Institute* – cujo propósito inicial é simulação e análise de interconexões de GDs). Dada sua forte aderência ao tema aqui proposto, foi escolhido para execução deste trabalho. O OpenDss já está sendo utilizado como ferramenta para estudos na distribuição como explorado em (PEGADO; RODRIGUEZ, 2018; MIYAMOTO *et al.*, 2018; FORTES *et al.*, 2016). É preciso olhar (em geral ao longo de um ciclo de 24 horas, por exemplo) que os momentos carga e GD atuem de maneira ótima em cada instante de tempo.

Este trabalho tem como um dos objetivos apresentar uma análise no tempo, utilizando o software OpenDSS através de uma rede IEEE 13 barras, mostrando como seria possível implementar uma lógica de serviço ancilar atrelado à geração da GD. Para tal, foram feitas simulações em uma rede acadêmica (IEEE13 barras), com devidas alterações para adequações aos fluxos de potência típicos de uma rede real. As principais alterações na rede foram: inserção de GD, alteração do perfil de carga em linha com um comportamento diário típico e alteração do perfil de geração solar típico a um mês de verão.

A importância da análise deste trabalho decorre em ilustrar a abordagem temporal, mostrando a ideal sinergia entre a carga e a geração disponível pelas GDs, podendo beneficiar as distribuidoras em termos de qualidade de fornecimento de energia, especialmente relativo a tensões das barras, fortalecendo o conceito de aplicação de serviço ancilar com a GD e remuneração deste serviço como oportunidade de negócio.

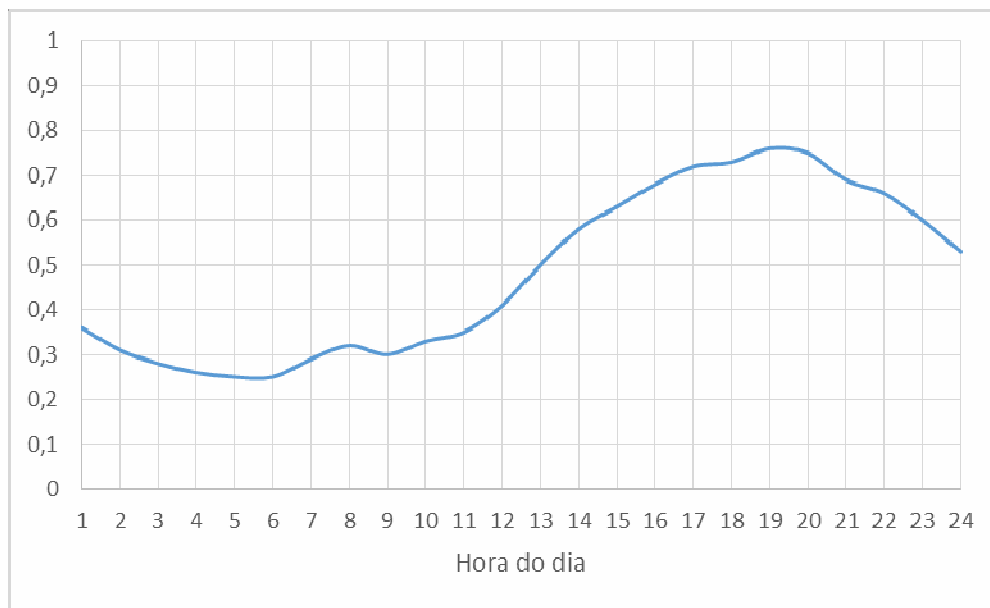
No item 2 apresenta-se a metodologia proposta no trabalho e suas principais premissas. No item 3, são apresentados os resultados e, no item 4, abordam-se as principais conclusões da análise realizada neste estudo.

## 2 METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho consiste em utilizar o software OpenDSS para modelar componentes de uma rede elétrica de um sistema de distribuição IEEE 13 barras, encontrada na biblioteca do próprio OpenDSS. Esse simulador de sistema de distribuição de energia elétrica pode suportar integração de Recursos Energéticos Distribuídos (RED) e contabiliza os impactos de tempo e de grade locacional do RED, introduzindo o conceito de Análise de Séries Temporais Quase-estáticas (QSTS) para a indústria de energia elétrica, que está bem explorado em suas vantagens para o impacto da penetração de GDs em Li *et al.* (2018).

A rede a ser analisada possui características indutivas e, ao se instalar uma unidade de GD em uma barra do sistema de distribuição, esta será tratada como uma fonte de corrente, cujas funções de suprimento de demanda podem ser utilizadas para a manutenção da qualidade e nível de tensão suprida aos consumidores da rede.

Para a inserção da GD, foi escolhida a energia solar fotovoltaica que, conforme comentado na parte introdutória, está em crescente como oportunidade de investimento para diversos setores, inclusive o residencial. Foram realizadas algumas modificações no código texto para atender a necessidades deste trabalho. Uma dessas mudanças foi a inserção de uma curva de carga característica residencial (setor em destaque neste texto), mostrada na Figura 1, cujo multiplicador foi adotado como sendo 5000, para que a potência máxima em 1 p.u seja de 5 MVA. Os valores utilizados estão em p.u. para se adequar às necessidades da simulação. Entretanto, um ponto que requer maior atenção é o consequente aumento do nível de tensão no barramento ligado à GD (barra 671 foi escolhida na simulação) Desse modo, esse cenário de elevação de tensão se torna um tanto desafiador quanto à necessidade de se manter os padrões estabelecidos por regulamentações da Agência Reguladora, como, por exemplo, os padrões estabelecidos no PRODIST – Módulo 8. (ANEEL, 2021).

**Figura 1 - Curva de Carga utilizada nas simulações.**

Na aplicação da geração de energia fotovoltaica propõe-se a possibilidade de se utilizar os serviços ancilares presentes nos inversores, de modo que o nível de tensão não assuma valores tão elevados quanto se não existissem tais serviços habilitados como em [10, x, y]. Outra maneira de se evitar problemas com o aumento da tensão é a aplicação em sistemas automatizados de programas que monitorem os níveis de potência ativa dos barramentos conectados à GD. Assim, é possível permitir que, somente nos instantes cujos níveis de potência estejam abaixo de um determinado valor da potência nominal da linha, a GD atue injetando potência. Do contrário, seria interessante evitar que mais potência ativa continue a ser fornecida pelo sistema, que configuraria um serviço ancilar “personalizado”.

Esse trabalho contribui para a verificação dos melhores períodos e barramentos candidatos a receberem GDs, visto que a curva de geração utilizada para as simulações sem e com GD analisadas é tipicamente residencial. O fluxo de potência foi rodado no modo “*snapshot*”. Porém, a fim de gerar os relatórios gerados pelo comando monitor, foi utilizado o modo de série temporal de fluxo de potência “*Daily*”. No primeiro cenário, é proposto um caso em que não há presença de GD no sistema, enquanto no segundo, há uma parcela da potência suprida por geração fotovoltaica. Com base nesses dois modelos, fez-se um comparativo entre estes casos. Estes dois cenários servem para ilustrar comparativamente o comportamento do sistema.

Nas simulações foram obtidos: levantamento da curva de carga diária do sistema (com e sem GD), as perdas ao longo do circuito, as variações dos *taps* dos reguladores de tensão e

outras funções do software. Para injeção de geração na rede, foi selecionada, como já comentado, a barra 671 e foi utilizada uma curva de geração como mostrada na Figura 2. Os valores utilizados estão em p.u para adequar ao formato do software OpenDss.

**Figura 2 - Curva de Geração Solar**



### 3 RESULTADOS

Inicialmente estudou-se o comportamento das tensões fase-neutro dos elementos da rede de testes. Com a função EXPORT>VOLTAGES, observou-se o comportamento das tensões como mostrado na Tabela I. Relacionado a isso, ainda pode-se observar o comportamento dos *taps* dos reguladores presentes no sistema, como na Tabela II. Os valores dos *taps* foram obtidos ao longo do dia com a utilização de monitores associados aos reguladores durante o modo SOLVE=DAILY.

**Tabela I – Classificação Do Índice De Concordância**

Barra	Sem GD		Com GD	
	V(pu)	Angulo	V(pu)	Angulo
SE	1,00	30,0	1,00	30,0
650	1,00	0,0	1,00	0,0
671	1,04	0,0	1,06	0,0
633	1,01	-2,6	1,01	-2,0
634	0,98	-3,3	0,99	-2,7
RG60	1,00	-5,4	0,98	-4,2
645	1,02	-121,9	1,02	-121,2
646	1,02	-122,0	1,02	-121,3
692	1,00	-5,4	0,98	-4,2
675	0,99	-5,6	0,98	-4,4
611	0,97	115,7	0,96	117,1



<b>652</b>	0,99	-5,3	0,98	-4,1
<b>670</b>	1,01	-3,5	1,00	-2,7
<b>632</b>	1,01	-2,5	1,01	-2,0
<b>680</b>	1,00	-5,4	0,98	-4,2
<b>684</b>	0,99	-5,4	0,98	-4,2

**Tabela II – Taps Do Regulador Ao Longo Do Dia**

<b>Hora</b>	<b>Sem GD</b>	<b>Com GD</b>
<b>1</b>	1,025	1,025
<b>2</b>	1,025	1,025
<b>3</b>	1,025	1,025
<b>4</b>	1,025	1,025
<b>5</b>	1,025	1,025
<b>6</b>	1,025	1,025
<b>7</b>	1,025	1,025
<b>8</b>	1,025	1,025
<b>9</b>	1,025	1,019
<b>10</b>	1,025	1,019
<b>11</b>	1,025	1,019
<b>12</b>	1,031	1,019
<b>13</b>	1,038	1,019
<b>14</b>	1,044	1,031
<b>15</b>	1,044	1,038
<b>16</b>	1,050	1,044
<b>17</b>	1,056	1,050
<b>18</b>	1,056	1,050
<b>19</b>	1,056	1,056
<b>20</b>	1,056	1,056
<b>21</b>	1,056	1,056
<b>22</b>	1,056	1,056
<b>23</b>	1,056	1,056
<b>24</b>	1,050	1,050

Percebe-se que nos elementos mais próximos do ponto onde foi introduzida a GD modelada como trifásica, as tensões sofreram uma elevação de tensão, como era esperado, pois introduziu-se uma nova fonte de geração no circuito. Houve pequenas alterações nos ângulos das tensões devido ao método computacional do próprio OpenDSS e também pela maior inserção de potência no circuito, entretanto, essas alterações não foram tão significativas. Já com relação aos *taps* dos reguladores (observados na Tabela II), destaca-se o horário em que há geração fotovoltaica, principalmente durante o intervalo entre 9:00 às 13:00, e das 14:00 às 18:00. Comparando-se ao caso sem geração solar, o caso com GD apresentou uma diminuição nos *taps*, diminuição essa provocada pela inserção de geração mais próxima a carga.



Com a função EXPORT>SEQ CURRENTS do OpenDss obteve-se uma relação das correntes de sequência na rede modelada. Essa função permite observar o desequilíbrio existente por toda a rede. Como a rede teste era inicialmente equilibrada, introduziu-se um pequeno desequilíbrio em determinadas linhas para se observar o comportamento do modelo simulado. Com isso, gerou-se a Tabela III, que mostra a relação da corrente de neutro em alguns elementos.

**Tabela III – Correntes De Sequência Em Alguns Elementos**

<b>Elemento</b>	<b>I<sub>1</sub></b>	<b>I<sub>2</sub></b>	<b>% I<sub>2</sub>/I<sub>1</sub></b>	<b>I<sub>0</sub></b>	<b>% I<sub>0</sub>/I<sub>1</sub></b>	<b>I Residual</b>
Line 650/632	523,8	64,1	12,2	48,0	9,1	144,0
Line 632/670	392,2	105,0	26,7	72,7	18,5	218,3
Line 670/671	360,8	106,2	29,4	73,4	20,3	220,3

Dentre as funções existentes no software, a que pode ter um papel fundamental no planejamento e operação de redes de distribuição é a função LOSSES. Com ela é possível observar as perdas ao longo de todo o sistema e assim mostrar onde é possível otimizar os circuitos das concessionárias e minimizar gastos (OCHOA;TOROS, 2015). Além disso, com essa função, a determinação de localidades com furto de energia se torna relativamente simples, pois é possível determinar a quantidade de perdas em uma determinada região e comparar com dados de medições. Esta possibilidade destaca a necessidade de estudos como este como apoio à gestão das redes de distribuição de energia, pois a localização de perdas é um dos grandes desafios enfrentados pelas concessionárias de energia elétrica.

A Figura 3 apresenta este relatório modelo considerado exemplo neste trabalho.

**Figura 3 - Relatório de perdas do OpenDSS**

```

|
| LOSSES REPORT
|
| Power Delivery Element Loss Report
|
| Element          kW Losses   % of Power   kvar Losses
|
| "Transformer.SUB"  0.03229,    0.00        0.262488
| "Transformer.REG1" 0.12210,    0.00        0.123866
| "Transformer.REG2" 0.06535,    0.00        0.0670792
| "Transformer.REG3" 0.13511,    0.01        0.13687
| "Transformer.XFM1" 5.55270,    1.37        10.0963
| "Capacitor.CAP1"  0.00000,    0.0         -593.455
| "Capacitor.CAP2"  0.00000,    0.0         -92.4539
| "Line.650632"     60.74216,   1.70        196.031
| "Line.632670"     12.99180,   0.48        41.4983
| "Line.670671"     22.73082,   0.92        72.3408
| "Line.671680"     0.00000,    0.0         -0.00416919
| "Line.632633"     0.82449,    0.20        1.05614
| "Line.632645"     2.76738,    0.68        2.40079
| "Line.645646"     0.52748,    0.22        0.419744
| "Line.692675"     4.19957,    0.50        2.53635
| "Line.671684"     0.57950,    0.20        0.47069
| "Line.684611"     0.38242,    0.23        0.387364
| "Line.684652"     0.79982,    0.65        0.230876
| "Line.671692"     0.00001,    0.0         -1.45519E-014
|
| LINE LOSSES=                106.5 kW
| TRANSFORMER LOSSES=        5.9 kW
|
| TOTAL LOSSES=                112.5 kW
|
| TOTAL LOAD POWER =          3454.7 kW
| Percent Losses for Circuit = 3.26 %

```

No OpenDSS, a inserção de medidores ao longo da rede permite que se crie uma tabela com valores de potência, tensão ou corrente em diversos instantes de um determinado intervalo de tempo definido pelo usuário. Nas simulações deste trabalho, utilizou-se a função MONITOR para determinar a curva de carga (em kW) do sistema medida diretamente na subestação. Para exemplificar, a Tabela IV mostra os valores encontrados para os dois casos de simulação.

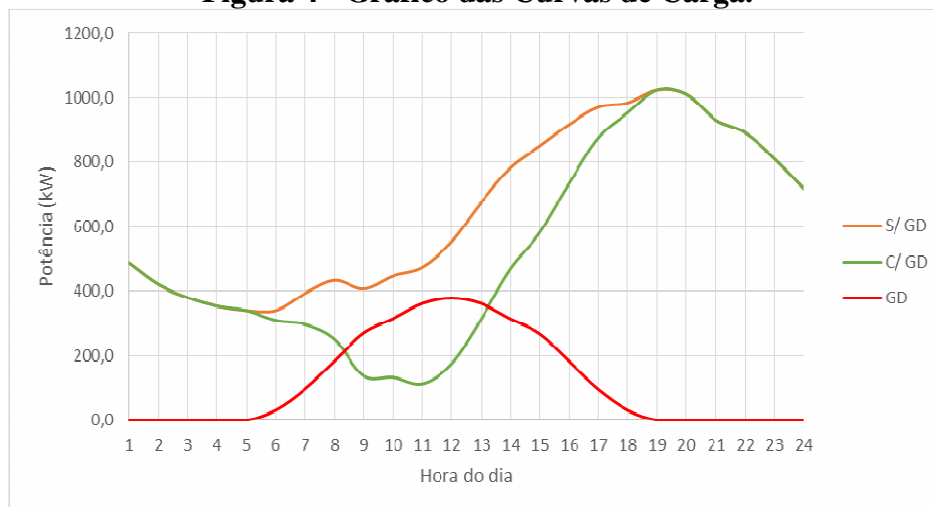
**Tabela IV – Curvas De Carga Com E Sem Gd**

Hora	P(kW)		GD (kW)
	Sem GD	Com GD	
1	488,0	488,1	0,0
2	420,2	420,2	0,0
3	379,9	379,9	0,0
4	353,3	353,3	0,0
5	339,8	339,8	0,0
6	339,8	308,7	31,1
7	393,6	296,6	97,0
8	434,0	250,4	183,6
9	407,1	136,6	270,5
10	447,4	132,5	314,9
11	474,2	112,3	362,0
12	554,4	175,3	379,1
13	675,4	313,8	361,6

<b>14</b>	783,0	469,5	313,5
<b>15</b>	849,6	581,7	267,8
<b>16</b>	917,3	735,2	182,1
<b>17</b>	971,1	875,5	95,6
<b>18</b>	984,4	953,3	31,0
<b>19</b>	1024,1	1024,1	0,0
<b>20</b>	1010,9	1010,9	0,0
<b>21</b>	931,3	931,3	0,0
<b>22</b>	891,4	891,4	0,0
<b>23</b>	811,5	811,5	0,0
<b>24</b>	717,3	717,3	0,0

Observa-se claramente que, com a inserção da geração fotovoltaica, o consumo de energia da barra da distribuidora, entre 6 e 18h, sofre uma redução, como mostrado na Figura 4. Para esse tipo de simulação, o modo utilizado foi o SOLVE=DAILY, que permite criação de uma série temporal de dados.

**Figura 4 - Gráfico das Curvas de Carga.**



#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho mostrou alguns dos impactos ocasionados pela difusão de geração distribuída fotovoltaica em uma rede acadêmica IEEE 13 barras, e uma forma de tratar do problema associado à tensão, que é calibrando a GD para que ela não injete potência em determinadas horas do dia. O princípio do serviço ancilar, proposto no trabalho, seria a opção de a distribuidora poder optar por 'liberar' a energia da GD em determinada hora ou não. Isto seria feito previamente, analisando as condições de tensão da rede ao longo do dia. Esta

liberação pode ser remunerada (créditos de energia em conta ou recursos financeiros) e assim o prosumidor apoiar a distribuidora com este serviço.

Os resultados mostram que entre as horas 9 e 18, houve necessidade de ajuste da tensão, através dos *taps* do regulador da rede, no sentido de diminuí-la para compensar a sobretensão (este é um problema típico de qualidade de energia) ocasionada pela GD nestas horas. A lógica proposta no trabalho decorre de realizar estes ajustes de forma automática, na medida em que a distribuidora poderia atuar na injeção da GD (caso o usuário concorde com esta opção).

O trabalho traz uma contribuição apresentando um caso em que a distribuidora poderia se beneficiar do uso de um gerador distribuído em prol de melhorias na qualidade dos níveis de tensão da sua rede. O trabalho mostrou que, realizando simulações do comportamento da rede ao longo de 24 horas, pode-se ter uma noção clara das barras que sofrerão maior impacto com a GD, em função da curva de carga do dia. Esta análise é uma ferramenta que pode auxiliar as distribuidoras a incentivarem o consumidor a instalar GD em locais adequados, locais estes que podem minimizar os efeitos da introdução destes agentes nas redes de distribuição. No caso apresentado, notou-se que há um impacto relevante nos perfis de tensão das barras próximas àquelas com GD, e isto pode se estender a algumas horas do dia, como é o caso estudado. Neste sentido, a distribuidora pode fazer estudos similares para realização de estudos de planejamento da expansão de GD e, também, prover uma melhor prática na operação de uma determinada zona da rede, dado que já será sabido o impacto da GD ao longo do dia.

Importante também destacar o crescimento deste tipo de negócio (mini e microgeração distribuída) e que modelos de negócio para estimular estas instalações devem ser discutidos nos aspectos técnico, ambiental e econômico. Entre os modelos econômicos que possam ser aplicados, podem ser estudados “empréstimos” por parte das distribuidoras para que os prosumidores instalem GD em locais previamente sinalizados pela concessionária. Assim, o custo inicial seria minimizado ao prosumidor e a distribuidora passa a ter a vantagem de poder operar o sistema dentre suas necessidades de manutenção e operação da rede de distribuição.

## REFERÊNCIAS

ANEEL. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica. ver. 12. Disponível em: [https://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/M%C3%B3dulo\\_8-Revis%C3%A3o\\_12/342ff02a-8eab-2480-a135-e31ed2d7db47](https://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/M%C3%B3dulo_8-Revis%C3%A3o_12/342ff02a-8eab-2480-a135-e31ed2d7db47). Acesso em: 10 fev. 2021.

BIAZ, B. M *et al.* Islanding Detection in Distributed Generation using Unsupervised Learning Techniques. **IEEE Latin America Transactions**, v.16, 2018, p.118-125. doi: 10.1109/TLA.2018.8291463

BISHT, T. Power Quality in grid with Distributed Generation. **International Journal of Trends in Economics Management & Technology**, v.1, 2012, p.61-64.

CHAVES, F. D. M. **Serviços Ancilares através da geração distribuída**: Reserva de Potência Ativa e Suporte a reativos. Tese (Doutorado em Planejamento de Sistemas Energéticos). Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, SP, Brasil, 2009.

ECO.A. **Brasil chega a mais de 300 mil sistemas fotovoltaicos na geração distribuída conectados à rede!**. Disponível em: <https://www.ecoenergias.com.br/2020/09/29/energia-fotovoltaica-brasil-dados/>. Acesso em: 23 mar. 2021.

FORTES, M. Z. *et al.* Impact Analysis of plug-in Electric Vehicle connected in Real Distribution Network. **IEEE Latin America Transactions**, v.14, 2016, p.2239-2245. doi: 10.1109/TLA.2016.7530419.

FUNDAÇÃO J. N. **Preços dos painéis solares descem 90% desde 2010**. Disponível em: <https://www.fundaj.gov.br/index.php/a-questao-energetica/11800-precos-dos-paineis-solares-descem-90-desde-2010>. Acesso em: 23 mar 2021.

JARDINI, J. A.; CASOLARI, R. P. **Serviços Ancilares – Avaliação dos Benefícios e Custos no Fornecimento de Reativos em Usinas Hidroelétricas**. Disponível em: <https://www.cgti.org.br/publicacoes/wp-content/uploads/2016/02/servic%CC%A7osancilares-avaliac%CC%A7a%CC%83o-de-beneficios-e-Custos-no-fornecimento-de-Reativos-em-Usinas-Hidroele%CC%81tricas.pdf>. Acesso em: 15 fev 2021.

LI, Q. *et al.* Fast QSTS for distributed PV impact studies using vector quantization and variable time-steps. In: **Proceedings of 2018 IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference –ISGT**, Washington, EUA, 2018. doi: 10.1109/ISGT.2018.8403406.

MIYAMOTO, H. K. *et al.* Impacts on Distributed Generation with Harmonic Analysis – Case Study. In: **Proceedings of 2018 Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos – SBSE 2018**, Niterói, Brasil, 2018. doi: 10.1109/SBSE.2018.8395868.

OCHOA, L. N.; TOROS, J. Q. Tutorial ISGT Latin America 2015: Advanced Modelling of Smart Distribution Networks Using OpenDSS. In: **Innovative Smart Grid Technologies Conference Latinamerica – ISGT**, Montevideo, Uruguay, 2015.

PEGADO, R. A.; RODRIGUEZ, Y. P. M. Distribution Network Reconfiguration with the OpenDSS using Improved Binary Particle Swarm Optimization. **IEEE Latin America Transactions**, v. 16, 2018, p. 1677-1683. doi: 10.1109/TLA.2018.8444386.

RAINERI, R *et al.* From a bundled energy-capacity pricing model to an energy-capacity-ancillary services pricing model. **Energy Policy**, v.36, 2008, p. 2878-2886. doi: 10.1016/j.enpol.2008.04.006.

RATHNAYAKA, A. J. D. *et al.* A Methodology to find influential Prosumers in Prosumer Community Groups. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v.10, 2014, p.706-713. doi: 10.1109/TII.2013.2257803

REZENDE, B. **Plantas de Geração Distribuída e seus Requisitos de Proteção para Acesso à Rede**. Trabalho de Conclusão do Curso. Engenharia Elétrica, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG, MG, Brasil, 2017.

ROCHA, J. P. M. **Compensação de Harmônicos como Serviço Ancilar em Geração Distribuída**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal da Paraíba, PB, Brasil, 2017.

SWATHI, G.; IAKSHMI, T. S.; PAVANI, A. P. Power Quality Improvement of grid using Distributed Generation with ANN DC-link controller. **International Journal of Engineering Research & Technology**, v.2, 2013, p.1550-1554.

STANKOVIC, S *et al.* Reactive Power Support Adequacy at the DSO/TSO Interface. **Electric Power System Research**, v.190, 2021. doi: 10.1016/j.epsr.2020.106661.

**Como Referenciar este Artigo, conforme ABNT:**

SANTIAGO, C. E. S; CAMPOS, G. T; SOARES, K. T; FORTES, M. Z; BORBA, B. S. M. C. Análise da Qualidade de Energia no Caso da Geração Distribuição Atuando em Serviços Ancilares. **Rev. FSA**, Teresina, v. 19, n. 12, art. 11, p. 233-246, dez. 2022.

Contribuição dos Autores	C. E. S. Santiago	G. T. Campos	K. T. Soares	M. Z. Fortes	B. S. M. C. Borba
1) concepção e planejamento.	X	X	X	X	X
2) análise e interpretação dos dados.	X	X	X		
3) elaboração do rascunho ou na revisão crítica do conteúdo.			X	X	X
4) participação na aprovação da versão final do manuscrito.				X	X