

# Impacto dos Transitórios Causados pela Passagem de Nuvens sobre Painéis Fotovoltaicos no Número de Atuações de Reguladores de Tensão

Mariana G. Lopes, T. S. D. Ferreira, F. C. L. Trindade  
Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação  
Universidade Estadual de Campinas  
Campinas, Brasil  
{mglopes, sonne, fernanda}@dsee.fee.unicamp.br

**Resumo**— Recentemente, a instalação de geradores fotovoltaicos em sistemas de distribuição tem aumentado significativamente. A intermitência deste tipo de geração causa variações na tensão, podendo afetar a operação dos reguladores de tensão. Este trabalho investiga o aumento no número de atuações destes equipamentos devido aos transitórios causados pela passagem de nuvens sobre painéis fotovoltaicos conectados a sistemas de distribuição. Um método analítico é proposto com o objetivo de estimar o número de atuações dos reguladores de tensão mediante a ocorrência destes transitórios. Tal estimação permite aos engenheiros das concessionárias identificar os alimentadores que devem ser mais bem investigados. Por fim, um estudo de como amenizar este aumento alterando a parametrização dos reguladores de tensão é apresentado. Os resultados mostram que a simples alteração no tempo de atraso ou na zona morta dos reguladores de tensão pode resultar na diminuição do número de operações dos mesmos, preservando sua vida útil.

**Palavras-chave** — Geração fotovoltaica, reguladores de tensão, sistemas de distribuição de energia elétrica.

## I. INTRODUÇÃO

A capacidade instalada de geração fotovoltaica (FV) no mundo passou de cerca de 1,3 GW em 2000 para aproximadamente 138 GW em 2013 [1]. A geração FV é usualmente instalada em redes de distribuição, fato que traz preocupações, visto que estas redes são tradicionalmente projetadas e operadas de forma radial, sem a conexão de geradores.<sup>1</sup>

A potência de saída dos geradores FVs depende diretamente da irradiação solar recebida pelos mesmos. Como estes geradores não possuem inércia ou circuito magnético, as variações da irradiação solar associadas à passagem de nuvens sobre os sistemas FVs podem causar alterações significativas em sua potência de saída. Estas alterações, por sua vez, criam um desbalanço de potência no sistema, de modo que a subestação absorve a potência gerada em excesso ou a supre da

potência necessária, possivelmente resultando em variações expressivas de tensão. Estas alterações, por sua vez, criam um desequilíbrio de potência no sistema, de modo que a subestação absorve a potência gerada em excesso ou a supre da potência necessária, possivelmente resultando em variações expressivas na qualidade de tensão, como se explica em [2].

Estudos mostram que as variações da potência de saída de geradores FVs podem ser tão altas quanto 80%, e durar poucos segundos (e.g. 30 segundos) [3]. Em alimentadores com alta penetração de geração FV, as variações causadas pela passagem de nuvens sobre os sistemas FVs podem causar problemas no perfil de tensão do alimentador, resultando no aumento expressivo do número de atuações dos reguladores de tensão (RTs).

O RT é um equipamento tradicionalmente presente em redes de distribuição com o objetivo de controlar a tensão em determinados pontos do alimentador. O seu uso é disseminado nas subestações e em pontos intermediários de alimentadores longos ou bastante carregados. Em sistemas modernos de distribuição de energia elétrica, que possuam elevada penetração de fontes intermitentes (e.g. plantas FVs), deve-se reavaliar a necessidade de utilização e o ajuste dos parâmetros destes equipamentos. Isto porque, dependendo da duração e da frequência das variações de tensão resultantes dos transitórios causados pela passagem de nuvens sobre os painéis, a atuação do RT pode ser ineficaz e excessiva, aumentando a necessidade de manutenção do equipamento e diminuindo sua vida útil [4].

A quantidade de mudanças de *tap* de um RT em um dia parcialmente nublado pode atingir 400 [5], resultando em significativa diminuição de sua vida útil. Com o objetivo de diminuir os impactos causados pelos transitórios relacionados à passagem de nuvens, as concessionárias, agências regulatórias e fabricantes estão estabelecendo novas práticas e regras. É possível citar, como exemplo destas novas práticas e regras, a Alemanha, que restringe as variações de tensão de curta duração no ponto de acoplamento comum de geradores conectados a sistemas de média tensão em no máximo 2%, não podendo ocorrer mais de uma vez a cada 3 minutos [6].

Neste contexto, este trabalho propõe um método analítico (não iterativo) com o objetivo de avaliar os impactos das

<sup>1</sup> Este trabalho é apoiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) processos nº 2013/20016-9 e nº 2015/02891-5 e pela Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL) através do projeto de Pesquisa e Desenvolvimento ANEEL nº PD-0063-3012/2014.

Este trabalho está dividido como segue. A Seção II apresenta a metodologia utilizada nas simulações computacionais realizadas para identificar o aumento do número de atuações dos RTs. A Seção III mostra os resultados obtidos com a realização destas simulações. Na Seção IV, um método analítico que pode ser utilizado para realizar uma estimativa preliminar do número de atuações dos RTs na presença de geração FV é proposto. A Seção V apresenta como os parâmetros dos RTs podem ser alterados para amenizar o aumento do número de atuações dos mesmos e a Seção VI as conclusões.

As simulações computacionais são realizadas utilizando-se um alimentador real de 25 kV, com carga instalada original de 16,39 MW e 305 MVA de nível de curto-circuito trifásico na subestação [7], cuja topologia simplificada é apresentada na Fig. 1. Neste alimentador são considerados apenas ramos e cargas trifásicos e é atribuído o mesmo perfil de carga, apresentado na Fig. 2, para todos os consumidores.

Fig. 1. Diagrama unifilar do sistema teste de média tensão.

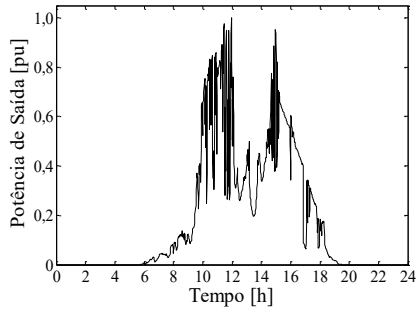


Fig. 3. Perfil de geração, dados NREL.

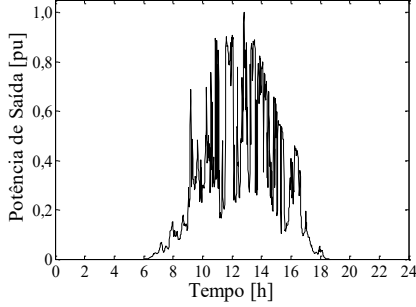


Fig. 4. Perfil de geração, dados Brasil.

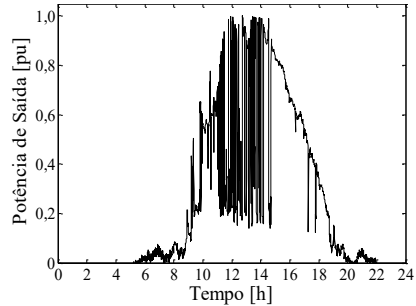


Fig. 5. Perfil de geração, dados Canadá.

### C. Ajustes dos Reguladores de Tensão

O *software* OpenDSS é utilizado para executar o fluxo de carga série-temporal, de modo a obter a posição do *tap* dos RTs ao longo de um dia. Neste *software*, o RT é modelado definindo-se cinco parâmetros [10]:

- *Vreg*: tensão, em Volts, que se deseja atingir no enrolamento controlado.
- *bus*: barra cuja tensão será controlada.
- *delay*: tempo de atraso, em segundos, entre o momento no qual a tensão sai da faixa controlada e o instante no qual a mudança de *tap* se inicia. Este tempo é utilizado para coordenar RTs em série e para evitar alterações excessivas de *taps*.
- *band*: zona morta (ou banda morta), em Volts, da tensão na barra controlada.
- *ptratio*: relação de transformação do transformador de potencial do RT.

Os ajustes dos parâmetros utilizados nas simulações são apresentados na TABELA I.

TABELA I. Parâmetros dos RTs.

|                                                       | <i>Vreg</i> (V) | <i>bus</i> | <i>delay</i> (s) | <i>band</i> (V) | <i>ptratio</i> |
|-------------------------------------------------------|-----------------|------------|------------------|-----------------|----------------|
| <b>Dados com intervalo de registro de 1 minuto</b>    |                 |            |                  |                 |                |
| <b>Reg. 1</b>                                         | 125             | Subreg     | 120              | 2               | 120            |
| <b>Reg. 2</b>                                         | 118             | 12         | 60               | 2               | 120            |
| <b>Dados com intervalo de registro de 30 segundos</b> |                 |            |                  |                 |                |
| <b>Reg. 1</b>                                         | 125             | Subreg     | 60               | 2               | 120            |
| <b>Reg. 2</b>                                         | 118             | 12         | 30               | 2               | 120            |

### D. Casos Estudados

Para ilustrar o aumento no número de atuações dos RTs devido à passagem de nuvens sobre painéis FVs foram simulados dois diferentes casos:

- **Caso 1 (caso base):** Perfil de geração FV de um dia sem nuvens (dia limpo), como exemplificado na Fig. 6.
- **Caso 2:** Perfil de geração FV representativo, apresentado na Fig. 3 (NREL), Fig. 4 (Brasil) e na Fig. 5 (Canadá).

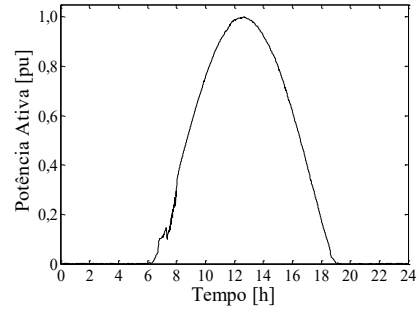


Fig. 6. Exemplo de perfil de geração FV para um dia limpo.

Através dos dois casos propostos é possível avaliar apenas as atuações dos RTs que ocorrem devido à passagem de nuvens sobre os sistemas FVs, visto que as atuações provocadas pela variação da carga ao longo do dia e pela inserção da geração FV no sistema teste são contabilizadas no caso 1.

## III. RESULTADOS

Nesta seção, são apresentados os resultados obtidos através das simulações computacionais para os casos 1 e 2 descritos na seção anterior. Primeiramente são apresentados os resultados considerando-se apenas o horizonte de um dia, em seguida é apresentado o comportamento do número de atuações dos RTs quando se considera sua operação durante um ano completo.

### A. Simulação para o horizonte de um dia

A Fig. 7 e a Fig. 8 mostram a posição do *tap*, ao longo de um dia para os dois RTs presentes no sistema teste considerando um nível de penetração de 40%. A Fig. 7 considera o perfil de geração FV do dia limpo e a Fig. 8 o perfil representativo para os dados brasileiros.

Além do caso ilustrado acima, foram realizadas simulações com outros níveis de penetração e o perfil representativo dos demais grupos de dados. Devido à coordenação adotada, o RT próximo à subestação (Reg.1) não apresentou alterações significativas no seu número de atuações, de modo que estes valores não são apresentados neste trabalho. O caso com 80% de penetração de geração FV não foi simulado para os dados

do Canadá pois a tensão viola os limites [11] estabelecidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

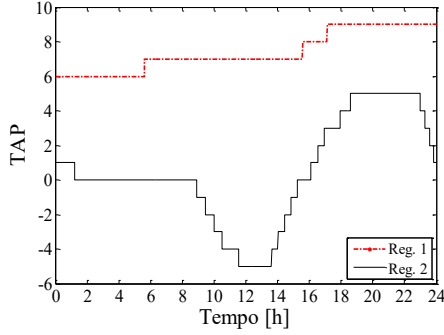


Fig. 7. Posição do tap de cada RT ao longo de um dia, caso 1.

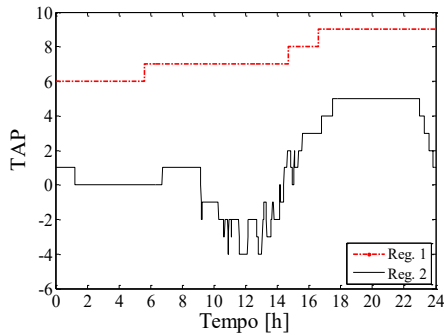


Fig. 8. Posição do tap de cada RT ao longo de um dia, caso 2.

A TABELA II apresenta o aumento relativo percentual da atuação do RT Reg. 2 devido à passagem de nuvens sobre os sistemas FVs. O aumento relativo percentual ( $A_{rel}(\%)$ ) é obtido através de (1), onde  $N_2$  é o número de atuações do RT Reg. 2 no caso 2 e  $N_1$  o número de atuações do mesmo RT no caso 1.

$$A_{rel}(\%) = \frac{(N_2 - N_1)}{N_1} \cdot 100\% \quad (1)$$

TABELA II. Aumento relativo do número de atuações do RT Reg. 2.

| Nível de Penetração | Aumento Relativo (%) |              |              |
|---------------------|----------------------|--------------|--------------|
|                     | Dados NREL           | Dados Brasil | Dados Canadá |
| 20%                 | 37,50                | 12,50        | 187,50       |
| 40%                 | 110,00               | 140,00       | 480,00       |
| 60%                 | 150,00               | 225,00       | 500,00       |
| 80%                 | 150,00               | 242,86       | -            |

Analisando a TABELA II é possível observar um aumento expressivo no número de atuações do RT conforme cresce o nível de penetração da geração FV, o que aumenta a frequência de manutenção e diminui a vida útil do equipamento. Ressalta-se que é esperado que, quando utilizados os dados canadenses, o número de atuações do RT seja maior. Isto ocorre porque o tempo de atraso utilizado é menor, o que permite ao RT atuar mais vezes durante o período de tempo do que quando o tempo de atraso é maior.

#### B. Simulação para o horizonte de um ano

A análise apresentada na Seção III.A considera apenas o perfil de geração FV do dia representativo, o que resulta em um aumento mais expressivo do número de atuações pois compara

um dia limpo com um dia parcialmente nublado (dia representativo). Uma análise mais detalhada pode ser obtida considerando-se um período de tempo maior, por exemplo um ano, pois nesta análise será possível considerar também a ocorrência de dias limpos e dias nublados que não contribuem de maneira significativa para o aumento do número de atuações dos RTs.

Nesta seção, os estudos de fluxo de carga série-temporal são realizados considerando-se o horizonte de um ano. No caso 1, é atribuído o perfil de geração de um dia limpo para todos os dias do ano, enquanto no caso 2, o perfil de geração considerado é o medido pelo NREL em cada um dos dias do ano de 2014 (único grupo de dados com um ano completo de medições disponíveis). A TABELA III apresenta o número de atuações do RT Reg. 2 para estes dois casos.

TABELA III. Número de atuações do RT Reg. 2 durante um ano.

| Nível de Penetração | 20%   | 40%    | 60%    | 80%    |
|---------------------|-------|--------|--------|--------|
| Caso 1              | 5.840 | 7.300  | 8.760  | 10.220 |
| Caso 2              | 6.354 | 9.408  | 12.842 | 16.382 |
| Aumento Relativo    | 8,80% | 28,88% | 46,60% | 60,29% |

Como discutido no início desta seção, os aumentos relativos registrados foram menores que os obtidos quando considerado apenas um dia, porém ainda são aumentos expressivos, capazes de elevar os custos de manutenção e diminuir a vida útil dos RTs instalados na rede.

#### IV. MÉTODO ANALÍTICO PARA ESTIMAÇÃO PRELIMINAR DO NÚMERO DE ATUAÇÕES DE REGULADORES DE TENSÃO

Os estudos apresentados na seção anterior foram realizados utilizando-se cálculo de fluxo de carga série-temporal, o que implica na solução de 1440 fluxos de carga para simular um único dia, para dados com intervalo de registro de 1 minuto, e 2880 fluxos de carga para dados com intervalo de registro de 30 segundos. Quando estes estudos são realizados para horizontes maiores, por exemplo um ano, o custo computacional se torna alto, o que não é desejado no cotidiano das concessionárias.

A variação na tensão da barra monitorada, ( $\Delta V_{(pu)}$ ) causada por uma variação de potência ( $\Delta P_{i(pu)}$ ) do gerador FV  $i$ , é dada por (2), onde  $V_{nom(pu)}$  é a tensão nominal de fase da barra monitorada e  $Z_{FViBM(pu)}$  é a impedância de caminho comum entre a subestação e a barra na qual está instalada a geração FV  $i$  e o caminho entre a subestação e a barra monitorada.

$$\Delta V_{(pu)} = \frac{1}{V_{nom(pu)}} \cdot \sum_{i=1}^{NFV} \left( Z_{FViBM(pu)} \cdot \Delta P_{i(pu)} \right) \quad (2)$$

Considerando que todos os geradores FVs apresentam, em pu (adotando-se como base de potência a potência nominal do gerador), a mesma variação de potência e que a mínima variação de tensão que provoca a atuação do RT equivale à metade de sua zona morta, em pu ( $band_{(pu)}$ ), a mínima variação de potência ( $\Delta P_{min(pu)}$ ) necessária para provocar a atuação do RT é dada por (3).

$$\Delta P_{\min(pu)} = \frac{band_{pu}}{2 \cdot \sum_{i=1}^{N_{FV}} |Z_{FV_i BM(pu)}|} \cdot 100\% \quad (3)$$

Para que uma variação de potência cause efetivamente uma atuação do RT é necessário que esta variação seja maior que  $\Delta P_{lim}$  e que sua duração seja maior que o tempo de atraso do RT ( $delay$ ). O número estimado de atuações do RT em um dado período ( $N_{est}$ ) pode ser obtido através de (4), onde  $N_{AP}$  é o número de variações de potência registradas no mesmo período,  $N_{(\Delta P > \Delta P_{lim})}$  o percentual destas variações de potência que são maiores que a variação mínima necessária para o RT atuar ( $\Delta P_{lim}$ ) e  $N_{(t > delay)}$  o percentual destas variações de potência que possuem duração maior que o tempo de atraso do RT. O número de atuações do RT pode ser estimado utilizando-se (4), que depende apenas no número de variações de potência registrado em um determinado período e da intensidade e duração destas variações. Portanto, dados históricos de potência gerada ou de irradiação são necessários.

$$N_{est} = N_{AP} \cdot N_{(\Delta P > \Delta P_{lim})} \cdot N_{(t > delay)} \quad (4)$$

A metodologia proposta acima permite estimar de maneira analítica a quantidade de atuações de um RT, e foi utilizada para estimar o número de atuações do RT Reg. 2, de modo a possibilitar a comparação entre os resultados estimados através da metodologia proposta e os obtidos em simulação. Os dados utilizados na aplicação do método são apresentados da TABELA IV até TABELA VII.

TABELA IV. Parâmetros utilizados para estimar o número de atuações do RT.

| Parâmetro                  | Valor           |
|----------------------------|-----------------|
| $V_{nom}$ (kV)             | 14,72 (1,02 pu) |
| $band$ (V)                 | 2               |
| $p_{ratio}$                | 120             |
| $Z_{reg}$ ( $\Omega$ )     | 3,75            |
| $Z_{FV_i BM}$ ( $\Omega$ ) | 8,52            |

TABELA V. Valores de  $\Delta V_{total}$  e  $\Delta P_{lim}$  para diferentes penetrações.

| Nível de Penetração | $P_{nom}$ (MW) | $\Delta V_{max}$ (%) | $\Delta P_{lim}$ (%) |
|---------------------|----------------|----------------------|----------------------|
| 20%                 | 1,09           | 4,29                 | 19,5                 |
| 40%                 | 2,18           | 8,59                 | 9,5                  |
| 60%                 | 3,28           | 12,88                | 6,5                  |
| 80%                 | 4,37           | 17,17                | 5,0                  |

TABELA VI. Porcentagem de variações acima de  $\Delta P_{lim}$  ( $N_{(\Delta P > \Delta P_{lim})}$ ).

| Nível de Penetração | $\Delta P_{lim}$ (NREL) | $\Delta P_{lim}$ (Brasil) | $\Delta P_{lim}$ (Canadá) |
|---------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 20%                 | 31,34%                  | 30,14%                    | 40,84%                    |
| 40%                 | 55,69%                  | 54,60%                    | 60,41%                    |
| 60%                 | 68,17%                  | 67,15%                    | 69,42%                    |
| 80%                 | 75,98%                  | 74,66%                    | 76,36%                    |

TABELA VII. Valores de  $N_{AP}$  e  $N_{(t > delay)}$ .

| Parâmetro         | NREL   | Brasil | Canadá |
|-------------------|--------|--------|--------|
| $N_{AP}$          | 112    | 137    | 195    |
| $N_{(t > delay)}$ | 59,24% | 60,93% | 51,36% |

A TABELA VIII apresenta o número estimado de atuações do RT, o número de atuações obtidos na simulação computacional para o caso 2 e o erro relativo entre o valor estimado e o simulado.

É possível observar que, embora o método proposto não apresente uma estimativa precisa do número de atuações do RT, seu resultado pode ser utilizado para selecionar quais alimentadores de uma distribuidora necessitam de estudos mais detalhados para verificar impactos relativos ao aumento de atuações dos RTs. Esta é uma análise útil no cotidiano das empresas, pois diminui a quantidade de homem-hora necessária para a execução da tarefa.

TABELA VIII. Comparação entre o número de atuações estimado e simulado do RT Reg. 2.

| Conjunto de dados | Resultados        | Nível de penetração |        |        |        |
|-------------------|-------------------|---------------------|--------|--------|--------|
|                   |                   | 20%                 | 40%    | 60%    | 80%    |
| NREL              | Simulado          | 22                  | 42     | 60     | 70     |
|                   | Estimado          | 21                  | 37     | 45     | 50     |
|                   | Erro Relativo (%) | -5,48               | -12,03 | -24,62 | -27,98 |
| Brasil            | Simulado          | 18                  | 48     | 78     | 96     |
|                   | Estimado          | 25                  | 46     | 56     | 62     |
|                   | Erro Relativo (%) | 39,75               | -5,06  | -28,14 | -35,08 |
| Canadá            | Simulado          | 46                  | 116    | 168    | *      |
|                   | Estimado          | 41                  | 61     | 70     |        |
|                   | Erro Relativo (%) | -11,08              | -47,84 | -58,62 |        |

\* este caso não foi analisado por violar o limite de tensão de 1,05 pu [11]

## V. AMENIZAÇÃO DOS IMPACTOS PELA ALTERAÇÃO DOS PARÂMETROS DOS REGULADORES DE TENSÃO

Como apresentado anteriormente, o aumento do número de atuações dos RTs é um impacto que pode ocorrer devido à passagem de nuvens sobre sistemas FVs, especialmente em alimentadores com alta penetração deste tipo de geração.

Uma medida simples que pode ser adotada para diminuir este impacto é alterar a parametrização do RT, que está diretamente relacionada com a atuação do equipamento. Os valores de tempo de atraso ( $delay$ ) e de zona morta ( $band$ ) são ajustados para a rede sem a presença de geração distribuída, e podem ser reajustados para amenizar o aumento das atuações provocado pela passagem de nuvens sobre os sistemas FVs.

Para estudar a redução do número de atuações do RT que pode ser proporcionada pela alteração do tempo de atraso ( $delay$ ) e da zona morta ( $band$ ), são simulados três casos com diferentes ajustes de parâmetros. Os ajustes utilizados são apresentados na TABELA IX, sendo os demais parâmetros inalterados em relação aos apresentados na TABELA I.

Cada um dos casos apresentados na TABELA IX foi simulado para quatro diferentes níveis de penetração e para os três grupos de dados. Os dados referentes ao Canadá não foram simulados com nível de penetração de 80% pois os limites de tensão estabelecidos em regulação são ultrapassados [11].

A TABELA X apresenta a redução relativa no número de atuações do RT Reg. 2, considerando o caso 1 (que possui os ajustes originais dos RTs) como caso base. O RT Reg. 1 não apresentou mudanças significativas em seu número de

atuações. A redução relativa ( $R_{rel(\%)}$ ) é calculada de acordo com (5), onde  $N_1$  é o número de atuações do RT para o caso 1 e  $N_i$  o número de atuações do RT para o caso  $i$ , sendo que  $i$  pode assumir os valores 2 ou 3.

$$R_{rel(\%)} = \frac{|(N_i - N_1)|}{N_1} \cdot 100\% \quad (5)$$

TABELA IX. Parâmetros dos RTs para cada caso.

|                                                       | Reg. 1    |          | Reg. 2    |          |
|-------------------------------------------------------|-----------|----------|-----------|----------|
|                                                       | delay (s) | band (V) | delay (s) | band (V) |
| <b>Dados com intervalo de registro de 1 minuto</b>    |           |          |           |          |
| <b>Caso 1</b>                                         | 120       | 2        | 60        | 2        |
| <b>Caso 2</b>                                         | 240       | 2        | 120       | 2        |
| <b>Caso 3</b>                                         | 120       | 3        | 60        | 3        |
| <b>Dados com intervalo de registro de 30 segundos</b> |           |          |           |          |
| <b>Caso 1</b>                                         | 60        | 2        | 30        | 2        |
| <b>Caso 2</b>                                         | 120       | 2        | 60        | 2        |
| <b>Caso 3</b>                                         | 60        | 3        | 30        | 3        |

TABELA X. Redução relativa no número de atuações do RT Reg. 2.

| Conjunto de dados | Caso | Nível de penetração |        |        |        |
|-------------------|------|---------------------|--------|--------|--------|
|                   |      | 20%                 | 40%    | 60%    | 80%    |
| <b>NREL</b>       | 2    | 18,18%              | 19,05% | 3,33%  | 11,43% |
|                   | 3    | 50,00%              | 50,00% | 41,67% | 24,29% |
| <b>Brasil</b>     | 2    | 11,11%              | 20,83% | 15,38% | 18,75% |
|                   | 3    | 38,89%              | 56,25% | 50,00% | 36,56% |
| <b>Canadá</b>     | 2    | 26,09%              | 18,97% | 20,24% | -      |
|                   | 3    | 76,09%              | 38,79% | 31,55% | -      |

Analisando a TABELA X é possível perceber que, para os estudos realizados, aumentar a zona morta do RT é mais eficiente que aumentar seu tempo de atraso. Porém é importante enfatizar que, embora estas soluções possam efetivamente diminuir o número de atuações dos RTs, as mesmas prejudicam a qualidade da tensão, por permitir variações de tensão de maior magnitude ou maior duração.

## VI. CONCLUSÕES

A instalação de geração FV nas redes de distribuição pode causar um aumento significativo no número de atuações dos RTs presentes na rede devido às variações de tensão causadas pela passagem de nuvens sobre os sistemas FVs. Este efeito é mais acentuado quanto maior o nível de penetração desta geração na rede e quanto mais concentrada esta estiver. Em sistemas com alto nível de penetração de geração FV (e.g. 80%), em um ano, um RT pode atuar 60% a mais devido às variações de tensão causadas pela passagem de nuvens. Este fato resulta na diminuição da vida útil deste equipamento e aumenta os custos de manutenção.

Além de investigar o efeito dos transitórios causados pela passagem de nuvens sobre os painéis FVs, este trabalho propôs uma metodologia para obter uma estimativa preliminar da quantidade de atuações dos RTs, permitindo avaliar quais alimentadores necessitam de estudos mais detalhados apenas através da classificação da irradiação solar incidente (baixo custo computacional).

Como uma forma de amenizar o aumento no número de operações dos RTs, propôs-se alterar o tempo de atraso e a

zona morta destes equipamentos. Contudo, estas mudanças diminuem a qualidade da tensão, sendo necessário avaliar se, mesmo com a adoção destas medidas, a tensão da rede permanecerá em conformidade com os limites impostos pela agência reguladora.

## REFERÊNCIAS

- [1] European Photovoltaic Industry Association (EPIA), "Global Market Outlook for Photovoltaics 2014-2018". [Online]. Disponível em: <[http://www.epia.org/fileadmin/user\\_upload/Publications/44\\_epia\\_gmo\\_report\\_ver\\_17\\_mr.pdf](http://www.epia.org/fileadmin/user_upload/Publications/44_epia_gmo_report_ver_17_mr.pdf)>. Acessado em março 2015.
- [2] M. G. Lopes, T. S. D. Ferreira, F. C. L. Arioli, W. Freitas, "Análise dos Impactos Técnicos Resultantes da Intermittência de Geração de Sistemas Fotovoltaicos na Qualidade de Tensão," *XI Conferência Brasileira sobre Qualidade de Energia Elétrica - CBQEE, 2015*, Campina Grande-PB.
- [3] A. Mills, M. Ahlstrom, M. Brower, A. Ellis, R. George, T. Hoff, B. Kroposki, C. Lenox, N. Miller, J. Stein, Y. Wan, "Understanding variability and uncertainty of photovoltaics for integration with the electric power system," *Berkeley Lab Report LBNL-2855E*, dezembro 2009. Disponível em <<https://emp.lbl.gov/sites/all/files/lbnl-2855e.pdf>>. Acessado em dezembro 2015.
- [4] G. K. Ari, Y. Baghzouz, "Impact of high PV penetration on voltage regulation in electrical distribution systems," *2011 International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP)*, vol., no., pp. 744, 748, 14-16, junho 2011.
- [5] D. J. Rogers, T. C. Green, "An active-shunt diverter for on-load tap changers," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol.28, no.2, pp. 649, 657, abril 2013.
- [6] BDEW Technical Guideline, "Generating plants connected to the medium-voltage network: Guideline for generating plants' connection to and parallel operation with the medium-voltage network". [Online]. Disponível em: <[https://www.bdew.de/internet.nsf/id/A2A0475F2FAE8F44C12578300047C92F/\\$file/BDEW\\_RL\\_EA-am-MS-Netz\\_engl.pdf](https://www.bdew.de/internet.nsf/id/A2A0475F2FAE8F44C12578300047C92F/$file/BDEW_RL_EA-am-MS-Netz_engl.pdf)>. Acessado em agosto 2015.
- [7] F. C. L. Trindade, K. V. do Nascimento, J. C. M. Vieira, "Investigation on Voltage Sags Caused by DG Anti-Islanding Protection," *IEEE Transactions on Power Delivery*, v. 28, p. 1-1, 2013.
- [8] Q. Shi, "Power Quality Impact of Photovoltaic Systems on Residential Distribution Networks," Dissertação de Mestrado, Universidade de Alberta, Canadá, 2014.
- [9] National Renewable Energy Laboratory, "Oak Ridge National Laboratory: Rotating Shadowband Radiometer". [Online]. Disponível em: <[http://www.nrel.gov/midc/ornl\\_rsr/](http://www.nrel.gov/midc/ornl_rsr/)>. Acessado em novembro 2014.
- [10] EPRI, "OpenDSS Manual". [Online]. Disponível em: <<http://sourceforge.net/projects/electricdss/>>. Acessado em abril 2015.
- [11] ANEEL, "Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST". [Online]. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/M%C3%B3dulo8\\_Revis%C3%A3o\\_6\\_Retifica%C3%A7%C3%A3o\\_1.pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/M%C3%B3dulo8_Revis%C3%A3o_6_Retifica%C3%A7%C3%A3o_1.pdf)>. Acessado em junho 2015.