

Critério para conexão de Geração Distribuída no Sistema de Distribuição da EDP Distribuição SP

Eng. Felipe Ariel Meneguello dos Santos

EDP Distribuição São Paulo – Planejamento da Expansão
felippe.santos@edpbr.com.br

Eng. Alexandre Gonçalves

EDP Distribuição São Paulo – Planejamento da Expansão
alexandre.goncalves@edpbr.com.br

Resumo — Este artigo tem por objetivo apresentar um dos critérios para conexão de Geração Distribuída ao Sistema de Distribuição da EDP Distribuição São Paulo. O critério dos 3,50% visa minimizar as perturbações de tensão nos clientes em decorrência da intermitência da injeção de potência pelas Gerações Distribuídas conectadas ao Sistema de Distribuição, esse critério leva em consideração o montante da potência injetada pela Geração Distribuída em função da potência de curto circuito no ponto onde é estabelecida a conexão.

Palavras-chaves — Critério de conexão, Geração Distribuída, Fluxo de Potência, Variação de tensão.

I. INTRODUÇÃO

Acontecimentos recentes no cenário energético e regulatório Brasileiro fizeram com que a Geração Distribuída (GD) ganhasse notoriedade quanto a sua importância no Setor Elétrico Brasileiro, a GD caracteriza-se pelo atendimento de cargas locais, sem a necessidade de utilização de linhas de transmissão [1], em resumo, a GD está conectada diretamente ao Sistema de Distribuição (SD), onde a confiabilidade é menor, se comparado ao Sistema de Transmissão (ST) [2].

A conexão da GD em pontos inapropriados do SD pode impactar na qualidade da energia, aumento de perdas de potência ativa, alteração do perfil de tensão e fator de potência, obtendo efeitos contrários aos desejados. Logo os estudos desenvolvidos pelas Distribuidoras devem avaliar diversos critérios técnicos, o que possibilitará a previsão dos impactos no SD, onde devem ser incluídas perturbações rápidas e lentas no perfil de tensão, carregamento dos alimentadores e subestações, aumento dos níveis de potência de curto-circuito e distorções harmônicas [4].

Naturalmente a GD elevará o perfil da tensão no entorno do ponto de conexão, para inverter o fluxo de potência no alimentador.

A operação da GD apresenta incertezas, visto que além da intermitência de algumas fontes a Distribuidora não tem controle sobre seu despacho, desta forma, a injeção de potência no SD poderá ocorrer em qualquer período e com qualquer magnitude de potência aparente. Devido a essas incertezas que envolvem a operação do SD com a presença de GD, e as responsabilidades regulatórias da Distribuidora com a Qualidade do Produto, estabelecidas pelo Módulo 8 do PRODIST, fica evidente a preocupação da Distribuidora

minimizar os impactos negativos ao SD ocasionado pela conexão da GD.

Neste contexto, este artigo propõe um critério de análise do impacto provocado no SD a partir da injeção de potência pela GD em um determinado ponto. Este critério considera a robustez elétrica do Sistema, e determina o limite para conexão de GD ao longo da Rede de Distribuição em função da potência injetada pela GD e a robustez elétrica do ponto de conexão.

II. DESENVOLVIMENTO

A. Impactos da GD no Sistema de Distribuição da EDP

O SD da EDP não contempla, inicialmente, a finalidade de conexão de equipamentos Geradores, sendo que a maioria seus alimentadores operam em sistema radial, ou radial com recurso, considerando o fluxo de energia unidirecional. Com a introdução da GD nesse sistema, o fluxo de potência pode comportar-se de maneira contrária ao convencional, visto que a GD injetará potência no SD, invertendo o fluxo em trechos do alimentador ou em todo o alimentador, inclusive na subestação supridora.

A injeção de potência pela GD pode provocar impactos no fluxo de potência do alimentador, como por exemplo, perda de seletividade do Sistema de Proteção, aumento das perdas de potência ativa, alteração no perfil de tensão e transgressões dos limites regulatórios de qualidade do produto.

Os impactos decorrentes da GD estão relacionados com a localização da injeção de potência, relacionado com as demais fontes de suprimento, onde o alimentador que atende a GD deverá permitir o atendimento sem violar os limites estabelecidos e o caráter técnico [3].

B. Metodologia

O critério proposto busca limitar a variação de tensão no ponto de conexão da GD, através da relação entre a potência de curto-circuito neste ponto e a potência aparente nominal que será injetada no ponto. Sabendo-se que a potência de curto-circuito em um determinado ponto da Rede de Distribuição está atrelada com sua robustez elétrica, e que a intensidade e propagação de perturbações de tensão é

inversamente proporcional a robustez elétrica, logo quanto menor a potência de curto-circuito, maior será a elevação de tensão decorrente da injeção de potência nesse ponto do sistema.

Com o objetivo de determinar a relação máxima entre a potência injetada pela GD e a potência de curto-circuito no ponto de conexão, foram realizadas simulações utilizando o software Interplan 1.47.2 (desenvolvido pela DAIMON).

As simulações obedeceram ao seguinte método:

- Determinação de três alimentadores para simulação:
 - o Modelo teórico simplificado;
 - o Alimentador real.
- Escolha da barra de conexão da GD e barra crítica de carga (barra com a menor tensão do alimentador, desconsiderando a GD);
- Cálculo da potência de curto-circuito trifásica no ponto de conexão da GD, durante as simulações esse ponto foi considerado constante;
- Modelagem da GD:
 - o Variação da magnitude da potência aparente injetada (P_{inj});
 - o Modelo de barra PQ;
 - o Fator de potência da GD em três cenários: 0,92 capacitivo, 0,92 indutivo e unitário.
- Simulação do fluxo de potência e avaliação da tensão no ponto de conexão da GD e barra crítica nas proximidades da GD.

C. Resultados

1) Modelo teórico simplificado

Inicialmente foi modelado um SD teórico e simplificado, de forma que o comportamento da tensão pudesse ser observado. O modelo é composto por uma subestação, uma rede de distribuição (alimentador), duas cargas e um gerador, conforme apresentado na Fig. 1.



Fig. 1. Sistema de Distribuição teórico e simplificado.

As características do SD utilizado para realizar as simulações são apresentadas na Tabela 1.

Potência injetada	400 – 8.200 kW
Fator de potência	0,92 C; 0,92 I; 1,00
Modelagem da barra	PQ
P_{cc} no ponto de conexão	68,449 MVA
Tensão de operação na barra sem GD	0,978 p.u.
Carga 1	
Potência da carga	2.760 + j 1.175,75
Tensão de operação na barra sem GD	0,994 p.u.
Carga 2	
Potência da carga	1.840 + j 783,84
Tensão de operação na barra sem GD	0,962 p.u.

A P_{inj} pela GD foi ajustada pela relação da Equação (1), de forma que ocorresse a variação entre 0,00% a 13,02% da relação.

$$P_{inj}/P_{cc}. \quad (1)$$

onde, P_{cc} é a potência de curto-circuito trifásica no ponto de conexão da GD.

Após as simulações foi possível construir curvas de tensão na GD (ver Figura 2) e na Carga 2 (ver Figura 3) em função da relação P_{inj}/P_{cc} . Os resultados são apresentados na sequência.

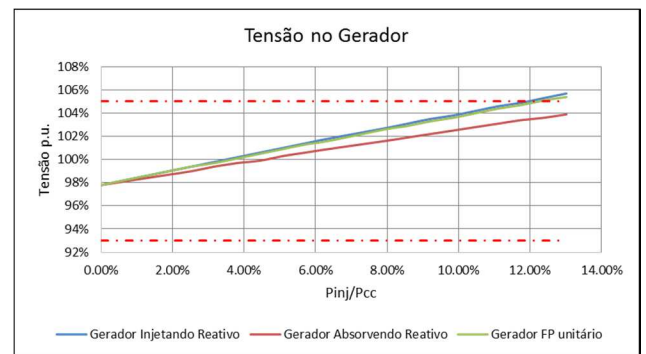


Fig. 2. Comportamento da tensão na GD em função da P_{inj}/P_{cc} .

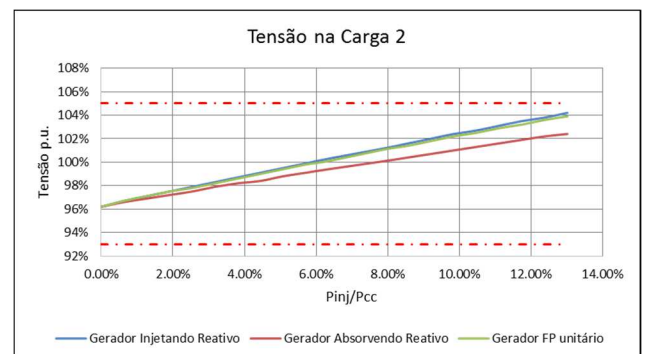


Fig. 3. Comportamento da tensão na Carga 2 em função da P_{inj}/P_{cc} .

A partir dos dados obtidos para também foi avaliado a variação da tensão na GD e na Carga 2 considerando as diversas magnitudes de injeção de potência da relação de P_{inj}/P_{cc} . Os resultados são apresentados nas Figuras abaixo.

TABELA 1. CARACTERÍSTICAS DA GD E CARGAS DO SISTEMA MODELADO.

Geração Distribuída

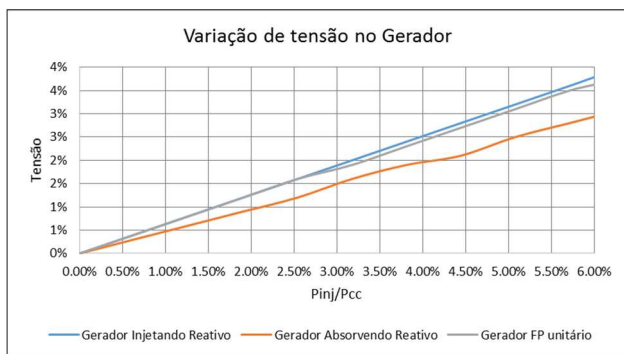


Fig. 4. Variação da tensão na GD em função da P_{inj}/P_{cc} .

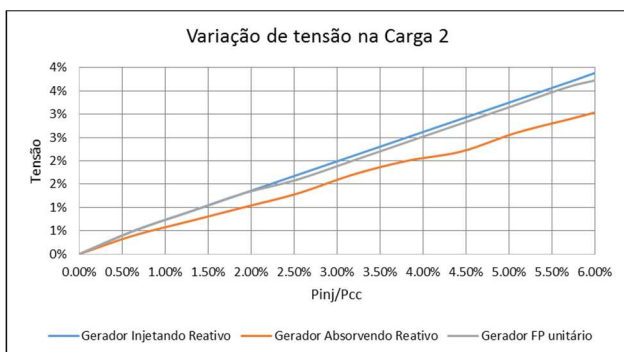


Fig. 5. Variação da tensão na Carga 2 em função da P_{inj}/P_{cc} .

2) Simulação de alimentador real

Foram realizadas simulações com um alimentador real, onde foram observadas as mesmas grandezas que nas simulações do SD simplificado. As características do alimentador analisado são apresentadas na Tabela 3.

TABELA 3. CARACTERÍSTICAS DO ALIMENTADOR REAL.

Alimentador ALM	
Clientes MT	16
Clientes BT	7.527
Transformadores MT/BT	258
Comprimento da rede de distribuição MT	56.768 metros

O ponto de conexão da GD se deu em uma barra de média tensão (tensão nominal de 13,8 kV), distando 16.163 metros da subestação supridora. A Figura 6 apresenta o diagrama georeferenciado do alimentador.

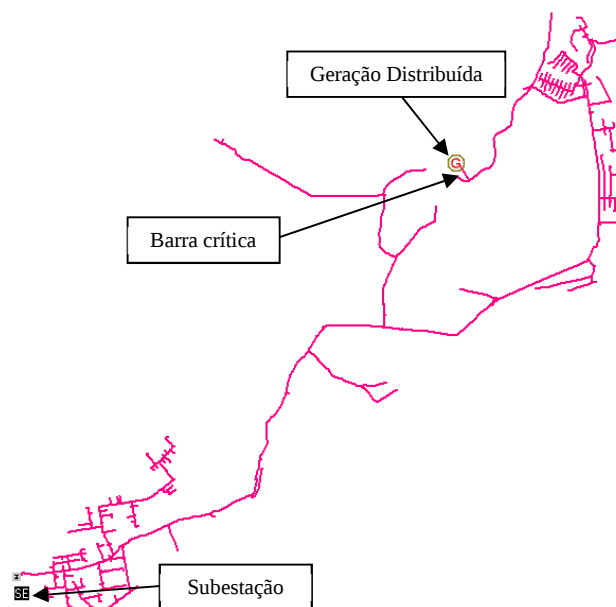


Fig. 6. Sistema de Distribuição real simulado.

A Tabela 4 apresenta as características do SD utilizado para realizar as simulações.

TABELA 4. CARACTERÍSTICAS DA GD E CARGAS DO ALIMENTADOR REAL.

Geração Distribuída	
Potência injetada	200 – 4.000 kW
Fator de potência	0,92 C; 0,92 I; 1,00
Modelagem da barra	PQ
P_{cc} no ponto de conexão	18,7615 MVA
Tensão de operação na barra sem GD	0,975 p.u.
Distância do disjuntor da subestação	16.167 metros
Início do alimentador	
Carga do alimentador	6.7597 + j 1.681
Tensão de saída no alimentador	1,02 p.u.
Corrente máxima do alimentador	289 A
Barra crítica	
Distância do disjuntor da subestação	16.038 metros
Tensão de operação na barra sem GD	0,975 p.u.

A P_{inj} pela GD foi ajustada pela relação da Equação (1), de forma que ocorresse a variação entre 0,00% a 23,17% da relação. As curvas de comportamento da tensão na GD e na barra crítica em função da relação de P_{inj}/P_{cc} foram construídas para a simulação com o alimentador real e serão apresentadas na sequência.

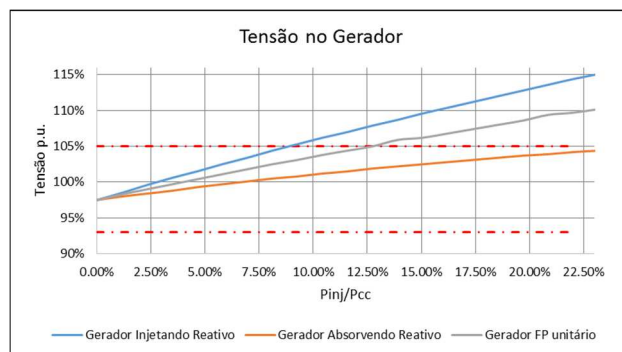


Fig. 7. Comportamento da tensão na GD em função da P_{inj}/P_{cc} .

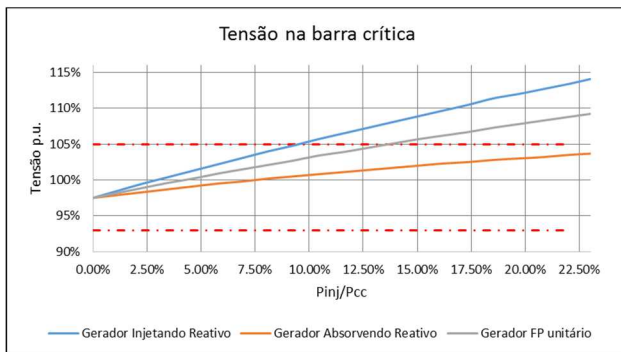


Fig.8. Comportamento da tensão na barra crítica em função da P_{inj}/P_{cc} .

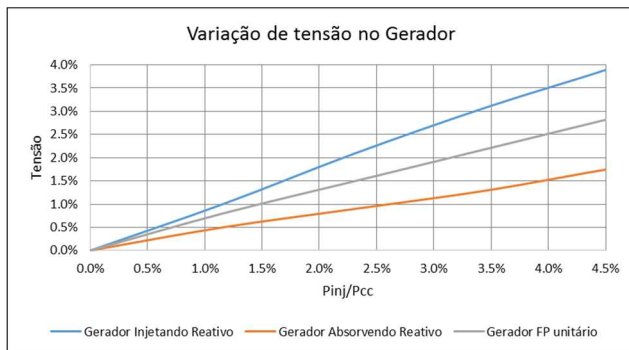


Fig. 9. Variação da tensão na GD em função da P_{inj}/P_{cc} .

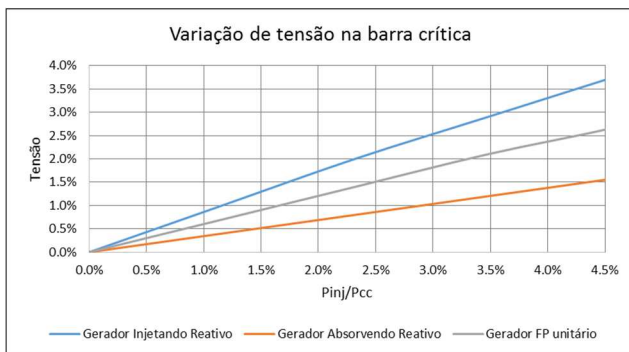


Fig. 10. Variação da tensão na barra crítica em função da P_{inj}/P_{cc} .

D. Aplicação do critério limite de potência injetada no ponto de conexão $P_{inj}/P_{cc} \leq 3,5\%$

1) Estudo de conexão de GD em alimentador real

Considerando o alimentador real com as características apresentadas na Tabela 3, foi realizado o estudo para conexão de uma GD, que pretendia conectar-se ao SD da EDP. A Tabela 5 apresenta as características informadas pelo cliente, assim como os parâmetros do ponto de conexão.

TABELA 5. CARACTERÍSTICAS DA GD - ESTUDO DE CONEXÃO.	
Geração Distribuída – 5 MW	
Tipo de geração	FOTOVOLTAICA
Potência injetada	4.750 kW
Ponto de conexão	
P_{cc} no ponto de conexão	18,7615 MVA
Tensão de operação na barra sem GD	0,975 p.u.
Distância do disjuntor da subestação	16.167 metros
Início do alimentador	
Carga do alimentador	6.7597 + j 1.681
Tensão de saída no alimentador	1,02 p.u.
Corrente máxima do alimentador	289 A

A configuração atual do SD não comporta a conexão de uma GD da magnitude apresentada pela Tabela 5, visto que a tensão no ponto de conexão se elevaria, conforme demonstrado na Figura 9. O percurso de rede da subestação até o ponto de conexão da geração apresenta 79,8% (ou seja, 12.900 metros) em rede tronco construída com cabos de maior bitola padronizada pela EDP.

Sendo assim, os estudos para conexão contemplaram alternativas de recondutoramento dos 3.267 metros finais, visando o aumento da potência de curto circuito no ponto de conexão da GD.

A Figura 11 apresenta o trecho em que a rede foi recondutorada para as simulações.

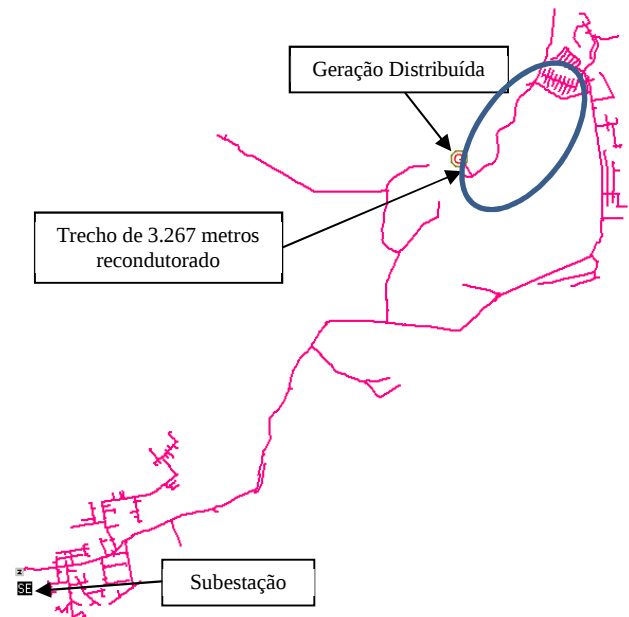


Fig.11. Alimentador real com trecho recondutorado.

O trecho em destaque na Figura 11 é constituído de rede aberta singela de cabo 4 (capacidade nominal de 110A), desta forma foi simulado o recondutoramento para rede compacta com cabo 70 mm² (capacidade nominal de 219A) e para rede compacta com cabo 185 mm² (capacidade nominal de 430A).

Os resultados do aumento da potência de curto circuito no ponto de conexão, assim como o limite de potência injetada pela GD, considerando o critério da relação P_{inj}/P_{cc} menor ou igual a 3,5% são apresentados na Tabela 6.

TABELA 6. RESULTADOS DO LIMITE DE POTÊNCIA INJETADA NO PONTO DE CONEXÃO - $P_{inj}/P_{cc} \leq 3,5\%$

Configuração atual (trecho de cabo 4)	
P_{cc} no ponto de conexão (3 ϕ)	18,7615 MVA
Limite de potência injetada	656,65 kVA
Carregamento no trecho (P_{inj} 4750 kVA)	Com sobrecarga
Recondutoramento de 3.267 metros cabo 70 mm ²	
P_{cc} no ponto de conexão (3 ϕ)	24,0673 MVA
Limite de potência injetada	842,35 kVA
Carregamento no trecho (P_{inj} 4750 kVA)	Sem sobrecarga
Recondutoramento de 3.267 metros cabo 185 mm ²	
P_{cc} no ponto de conexão (3 ϕ)	25,8598 MVA
Limite de potência injetada	905,09 kVA
Carregamento no trecho (P_{inj} 4750 kVA)	Sem sobrecarga

Como pode ser observado na Tabela 6, a conexão da GD de 4.750 kW no referido ponto de conexão é inviável na tensão de 13,8 kV, conforme configuração do SD existente. Mesmo com obras de reforços do SD o critério de P_{inj}/P_{cc} não foi atendido, logo a alternativa de conexão da GD abordada será viável através da implantação de um Sistema de Distribuição de 34,5 kV.

III. CONCLUSÃO

Este estudo possibilitou simular o comportamento da tensão do SD em função da robustez elétrica ponto de conexão da GD, representado pela P_{cc} . Foi observado que a complexidade para a inserção de GD está atrelada ao ponto onde será estabelecida a conexão, podendo inclusive em superdimensionar o SD, se analisado somente do ponto de vista de carregamento em regime permanente, para viabilizar o atendimento.

Os resultados das simulações demonstraram que a relação entre P_{inj}/P_{cc} deve ser menor ou igual a 3,50%, valor adotado pela EDP em suas análises de conexão de GD, o valor da relação definido teve como referência restringir a variação da tensão no momento de injeção de potência pela GD, o que impacta no atendimento dos demais clientes conectados ao SD ao entorno.

Foi considerado o cenário mais adverso, GD injetando reativo (fator de potência 0,92 indutivo), onde ocorre a maior elevação de tensão no ponto de conexão e consequentemente ao entorno da GD. Visando minimizar o impacto da variação de tensão nos demais clientes conectados ao SD, definiu-se que a variação máxima de tensão admitida seria de 3%, considerando a GD desligada e ligada em plena carga. Sendo assim a relação P_{inj}/P_{cc} menor ou igual a 3,50% garante que a variação de tensão esteja dentro de níveis aceitáveis para critérios técnicos e regulatórios.

As obras de adequação do SD para viabilizar o atendimento da GD devem elevar a P_{cc} no ponto de conexão com o objetivo de que a relação P_{inj}/P_{cc} seja menor ou igual a 3,50%.

III. REFERÊNCIAS

- [1] W. El-Khattam; M. M. Salama, "Distributed generation technologies, definitions and benefits. Electric Power System", 2004.
- [2] N. Kagan; C. C. B. de Oliveira; E. J. Robba, "Introdução aos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica", 2010.
- [3] K. Balamurugan; D. Srinivasan; T. Reindl, "Impact of Distributed Generation on Power Distribution Systems", *PV Asia Pacific Conference 2011*, vol. 25, pp. 93- 100, 2012.
- [4] J. A. Peças Lopes; J. L. P. Silva; M. H. Vasconcelos; R. Almeida "Elaboração de Reulamentação Técnica para Ligação à Redes Elétricas de Produção Independente de Energia Elétrica", Trabalho de Consultoria elaborado para o Operador Nacional do Sistema – INESC Porto, 2003.
- [5] Brasil. Resolução Normativa nº 482 da Agência Nacional de Energia Elétrica. Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, 2012.
- [6] Brasil. Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica, 2017.