

## GRUPO DE ESTUDO DE SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO - GDI

### PLATAFORMA PARA AVALIAÇÃO DE CONEXÃO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA - HOSTING CAPACITY E ANÁLISE INDIVIDUAL AUTOMATIZADA

**DANIEL SZENTE FONSECA (1); ANNA GIULIA QUEIROZ COSTA (1); RENAN MACHADO SALES (1); MARCELO APARECIDO PELEGRINI (1); CÍNTIA GONÇALVES MENDES DA SILVA (2); LUIZ HENRIQUE LEITE ROSA (2)**  
**SINAPSIS (1); INSTITUTO FEDERAL DE EDUCACAO, CIENCIA E TECNOLOGIA DE SAO PAULO (2)**

#### RESUMO

Este projeto apresenta o desenvolvimento de uma plataforma capaz de facilitar o trabalho das distribuidoras no que tange lidar com a quantidade volumosa de pedidos de conexão. O projeto aborda e implementa técnicas de cálculo e obtenção de mapa temático de *Hosting Capacity* para todos os pontos da rede e ferramenta de análise de conexão individual automatizada. Por fim, é detalhado um estudo de caso integral que apresenta a utilização e os resultados da plataforma, comprovando que a plataforma pode ser utilizada nos processos internos de distribuidoras, reduzindo gasto HH (homem-hora) na análise do grande volume de pedidos de conexão.

#### PALAVRAS-CHAVE

*Hosting Capacity*, Capacidade de Hospedagem, Geração Distribuída, Acesso à Rede, Plataforma de Simulação de Redes Elétricas

#### 1.0 INTRODUÇÃO

Com o impactante incentivo à geração de energia por fontes renováveis - sobretudo a solar -, que se dá por empréstimos atrativos e/ou subsídios governamentais, as distribuidoras hoje se deparam com a tarefa de analisar um grande volume de pedidos de acesso à rede provindos de consumidores que desejam se tornar prosumidores (neologismo com a junção dos termos “produtor” e “consumidor”) e fornecer para a rede energia elétrica que será convertida em créditos para eles.

Do ponto de vista das concessionárias, surge então o desafio de simular e analisar o impacto que a conexão de diversas gerações distribuídas teria sobre a sua rede, considerando que o acesso deve ocorrer sob a condição de que não se prejudique a qualidade do fornecimento de energia elétrica para os outros agentes que acessam a rede (ANEEL, 2012).

Assim, dado um pedido de conexão, a equipe responsável pelo acesso ao sistema deverá respondê-lo negando-o ou aprovando-o, e se for aprovado, se deverão ser realizadas obras na rede para o condicionamento da geração e quais serão essas obras.

Para determinar a resposta do pedido um estudo deverá ser realizado para cada possível nova conexão e nele deverão ser consideradas questões como a potência nominal e máxima da geração, bem como seu perfil de fornecimento, a possível estocasticidade do fornecimento, a situação atual da rede ao redor do ponto de conexão etc. Nesse estudo a concessionária deverá elencar os critérios que irá analisar, baseando-se no estipulado pelo Módulo 8 do PRODIST (ROSSI, VIGANO, MONETA, 2015), bem como os limites aceitáveis para cada critérios, por exemplo, a porcentagem tolerada de variação de tensão na barra de conexão.

Dada essa situação, torna-se indispensável o estudo do conceito de *Hosting Capacity* (Capacidade de Hospedagem ou Acomodação), que é definido como a máxima quantidade de geração, normalmente em MW, que pode ser inserida em uma rede elétrica sem que sejam necessárias obras para condicioná-la. Contudo, a determinação do valor para o *Hosting Capacity* não é uma tarefa fácil, existindo diversas metodologias para este cálculo, que considerarão diferentes premissas iniciais, critérios, escopos etc., cada uma possuindo aspectos positivos e negativos, que dependerão dos padrões, filosofias e objetivos das distribuidoras. As diversas formas de se realizar esse estudo, bem como as especificações adotadas para esse projeto serão detalhadas nas próximas seções.

O presente projeto, enquadrado dentro da Chamada Nº 001/2016 Projeto Prioritário de Eficiência Energética e Estratégico de P&D: “Eficiência Energética e Minigeração em Instituições Pública de Educação Superior” da ANEEL,

buscou desenvolver uma plataforma que possa facilitar o trabalho das distribuidoras no que tange lidar com a quantidade volumosa de pedidos de conexão através de duas abordagens que se complementam: ferramenta de cálculo e obtenção de mapa temático de *Hosting Capacity* para todos os pontos da rede e ferramenta de análise de conexão individual automatizada. O desenvolvimento foi realizado utilizando a plataforma de simulação de redes elétricas SINAPgrid.

A ferramenta responsável pelo cálculo e obtenção de mapa de *Hosting Capacity*, cujo objetivo é fornecer resultado preliminar a respeito da possibilidade de a conexão trazer problemas à rede analisando todas as barras da rede, foi elaborada de tal forma a receber como entrada a rede a ser analisada e as configurações do cálculo definidas pelo planejador; e retornar como resposta um mapa temático que apresenta os equipamentos da rede coloridos de acordo com o resultado de *Hosting Capacity* da barra a jusante desses equipamentos. Já a ferramenta responsável pela análise de conexão individual automatizada, recebe como entrada as coordenadas da geração do pedido de conexão e a potência nominal pretendida; e retorna um parecer sobre a conexão, realizando uma análise técnico-financeira automatizada, através do indicador Custo Global (definido na Resolução Normativa da ANEEL Nº 414), permitindo ao planejador simular também o impacto que diferentes obras poderão ter no custo e aspectos técnicos da conexão.

Nesse contexto, este documento apresenta os estudos e resultados atrelados a utilização dessa plataforma para avaliação de conexão de geração distribuída que utiliza o conceito de *Hosting Capacity* (ROSSI, VIGANO, MONETA, 2015) ou Capacidade de Acomodação e, também, a análise individual automatizada da conexão. O texto é dividido em seis principais seções. A seção I abordou o cenário atual das GDs no país, os problemas atrelados à conexão desenfreada e descritiva das GDs à rede são tratados na seção II, bem como seu processo de conexão na seção III. A solução oferecida para tratar este problema, incluindo especificações e premissas adotadas na ferramenta computacional desenvolvida é apresentada na Seção IV e, por fim, um exemplo de estudo de caso é dado na seção V enquanto a seção VI traz as conclusões deste trabalho.

## 2.0 IMPACTO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NA QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA

De acordo com (ANEEL, 2012), são determinados pela ANEEL critérios de qualidade do produto a serem seguidos para que o fornecimento de energia elétrica seja adequado a todos os consumidores e participantes do sistema elétrico. Portanto, estes critérios devem se manter atendidos após a conexão de geração distribuída (ANEEL, 2010). Para o estudo do impacto que essas gerações têm na rede de distribuição é importante se atentar aos critérios que podem vir a ser abalados (DUBEY, SANTOSO, E. MAITRA, 2015) e ao conceito de *Hosting Capacity*.

### 2.1 Dos critérios

- Subtensão: Consiste na redução do valor eficaz da magnitude da tensão durante um curto intervalo de tempo, o qual deve ser restabelecido a patamares aceitáveis, definidos conforme o (ANEEL, 2012). A geração distribuída se relaciona à subtensão devido a intermitência que caracteriza estes meios de geração, pois nos momentos em que a fonte de energia - solar, eólica, dentre outras - deixa de funcionar por alguns instantes, têm-se uma queda da tensão de fornecimento, ocasionando assim a subtensão. Aqui destaca-se também essa situação de subtensão pode ser agravada caso existem reguladores instalados próximos à geração.
- Sobreensão: Critério muito similar ao descrito anteriormente, com a diferença de que neste a tensão atinge patamares superiores aos estabelecidos. Quando o consumo interno da instalação alimentada pela GD é inferior à energia gerada por esta, ocorre a exportação de energia, de forma que fluxo de energia da GD em direção à rede aumenta, o que causa o aumento da tensão nos pontos próximos ao ponto de conexão da GD.
- Variação de Tensão: Este item aborda a variação de tensão nas barras da rede que ocorrem durante um intervalo de tempo. Relacionada aos dois itens anteriores, com a ocorrência de subtensões e/ou sobreensões atreladas à conexão de GD à rede, tem-se que a variação de tensão pode vir a danificar os equipamentos conectados à rede, os quais não foram dimensionados para trabalhar sob tais condições.
- Variação de Tensão do Regulador: Pode ser visto como uma especificação do item anterior e se refere as consequências que a variação de tensão pode causar nos reguladores da rede. Reguladores de tensão são autotransformadores que são inseridos com o objetivo de melhorar o perfil de tensão da rede, alterando a configuração de seus taps, porém, na ocorrência de eventos de sobreensão ou subtensão, este ajuste precisa ser refeito, e nesse período até sua reconfiguração, a situação de tensão da rede é agravada. Além disso, por serem equipamentos mecânicos, é indesejado sua reconfiguração ocorra demasiada vezes, assim, sua operação conjunta com unidades de geração distribuída pode vir a diminuir sua vida útil.
- Carregamento de equipamentos: É um parâmetro que indica a quantidade de energia que equipamentos da rede suportam. Com a inserção de GD, é possível que equipamentos que inicialmente haviam sido projetados para suportarem um máximo de potência ou corrente, passam a ter que trabalhar com valores superiores. Isso acarreta uma sobrecarga térmica que danifica os equipamentos, diminuindo sua vida útil.

- Fluxo reverso: É a situação na qual o fluxo de potência deixa de ser da subestação para as cargas e se inverte. O problema dessa situação é que as redes de distribuição não foram projetadas para esta inversão de fluxo de potência, de forma que os equipamentos e outras estruturas instaladas na rede podem ser danificadas na ocorrência deste fenômeno. Esta situação ocorre predominantemente quando há alto volume de geração da GD e baixo consumo das instalações ao redor dela.

Outros critérios como desequilíbrio de tensão, trip solidário (falso trip) e perda de flexibilidade, apesar de terem grande importância, não foram abordados nesse trabalho, pois hoje não são critérios comumente analisados pelas distribuidoras em pedidos de conexão de geração distribuída.

## 2.2 Hosting Capacity

Um termo bastante utilizado no que tange a conexão de GD é *Hosting Capacity* ou Capacidade de Acomodação de um sistema elétrico, que é definido como a quantidade de geração distribuída que pode ser conectada a ele, antes que sejam necessárias mudanças ou melhorias na rede para que seja possível a operação atendendo os limites de qualidade requeridos (RYLANDER, SMITH, E. SUNDERMAN, 2015).

Nos trabalhos acerca de tema de *Hosting Capacity*, podem ser identificadas três classes de metodologias atualmente utilizadas para determinação da capacidade de acomodação: analítica, estocástica e simplificada (ISMAEL, ALEEM, ABDELAZIZ, E. ZOBAA, 2019).

Os métodos analíticos consistem em procedimentos sistemáticos que estudam o efeito de geração distribuída em todas as barras de um alimentador e determinam a capacidade de acomodação de cada barra do sistema, individualmente. Esses métodos, enquanto bastante precisos, requerem muito tempo de processamento e são sempre complexos devido ao nível de detalhamento adotado.

Já os métodos estocásticos, por sua vez, estimam múltiplos cenários de geração e simulam as muitas incertezas relacionadas à integração da GD, como localização e fator de potência. A complexidade e o tempo de processamento desses métodos dependem do tipo de rede que está sendo estudada, bem como da precisão que se deseja – expressa pelo número de cenários simulados.

Por fim, o método simplificado, estabelece correlações entre os resultados de estudos mais detalhados, e propõe uma análise simplificada da capacidade de acomodação. Dessa forma, o tempo de processamento é reduzido, bem como sua precisão, especialmente para sistemas de maior complexidade. Dado essas considerações, considerando a realidade de distribuidoras, o método escolhido a ser abordado neste trabalho foi o simplificado.

Importante destacar que o *Hosting Capacity* não é um valor estático dado que à medida que as aprimorações na rede são efetivadas, o valor tende a aumentar. Sabe-se também que o valor do *Hosting Capacity* vai depender basicamente da potência da geração, da localização dela e das características prévias do alimentador, como outras gerações distribuídas, topologia, presença de reguladores, quantidade de consumidores etc. (RYLANDER, SMITH, E. SUNDERMAN, 2015).

### 2.2.1 O processo de *Hosting Capacity*

O *Hosting Capacity* é um processo composto de três etapas principais, resumida na Figura 1. A primeira delas, nomeada de Dados, representa os modelos e informações necessárias para iniciar o processo, essa etapa é de grande importância pois o conjunto de dados necessários geralmente não estão prontamente disponíveis e continuam em constante construção.

A segunda, nomeada de Análise, compõe a metodologia, os fatores de impacto considerados e as ferramentas necessárias para efetuar o cálculo do *Hosting Capacity*. Existem várias abordagens para calculá-lo e cada uma tem seus pontos positivos e negativos, que devem ser avaliados de acordo com a necessidade da concessionária.

Por fim, a terceira e última etapa, que é a Aplicação, constitui-se no uso dos resultados do processo para fins específicos, de forma a usar o *Hosting Capacity* como parte do processo de planejamento ou para informar decisões de interconexão.

As etapas não são isoladas, dado que cada uma delas é interdependente e tem impacto sobre o outras. Além disso, cada uma delas representa um desafio que continua a evoluir para atender às necessidades do mercado e do cliente.

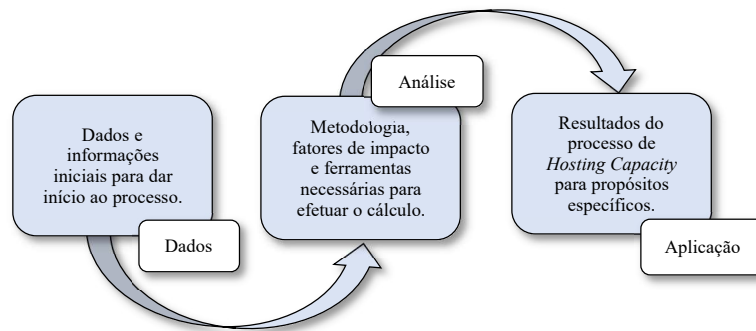


Figura 1 - Diagrama de funcionamento do processo de *Hosting Capacity*.

### 2.2.2 Escolha dos dados de entrada

Os dados utilizados no processo de *Hosting Capacity* vêm de uma infinidade de fontes como GIS, medições de campo e julgamento da engenharia, por isso coletar e validar esses dados exige um esforço significativo e um exercício contínuo.

Independentemente dos dados utilizados, estes estão em constante mudança. Por isso, conforme isso ocorre, as análises devem ser atualizadas para serem consistentes. Isso cria um desafio adicional para sincronizar dados com estudos de simulação. Em última análise, as entradas têm uma forte influência no resultado do processo de *Hosting Capacity*.

### 2.2.3 Análise dos fatores de impacto

A etapa de análise inclui os métodos, fatores de impacto e ferramentas aplicadas no processo de *Hosting Capacity*. Cada um dos componentes de análise fornece flexibilidade aos usuários ao conduzir este estudo, no entanto, com essa flexibilidade também vêm opções que podem impactar fundamentalmente a solução final.

Quando o *Hosting Capacity* está sendo calculado em todo um sistema de forma automatizada, os engenheiros devem predeterminar todos os fatores de impacto que devem ser incluídos na análise. Diferentes fatores devem ser usados dependendo da aplicação de uso final dos resultados e dados disponíveis.

Sendo assim, dada a importância dos fatores de impacto, neste projeto os critérios adotados para o melhor cálculo do *Hosting Capacity* foram:

- Limite de Desvio de Tensão: Entre 0,1 % e 10,0 %
- Limite de Subtensão: Entre 0,8 pu e 1,0 pu
- Limite de Sobretensão: Entre 1,0 pu e 1,2 pu
- Limite de Carregamento: Entre 1,0 % e 2,0 %
- Limite de Desvio de Tensão do Regulador: Entre 10,0 % e 100,0 % (% da banda de regulação)

Visando uma análise ainda mais completa, a ferramenta desenvolvida oferece também algumas outras formas de análise de impacto da conexão de GD, como, por exemplo, a possibilidade de fluxo reverso.

### 2.2.4 Tempo e recursos para o processo

Analisando a complexidade dos dados e das análises, o processo de *Hosting Capacity* pode rapidamente se tornar um exercício extenso, por isso é importante reconhecer as limitações dos cálculos baseados em modelos.

Isso é particularmente verdadeiro no que se refere a estudos de todo o sistema em comparação com estudos específicos de interconexão ou planejamento, onde o engenheiro pode se aprofundar nos detalhes das condições analisadas, enquanto em estudos de todo o sistema, os melhores dados e suposições disponíveis são usados, portanto, os resultados podem apenas "estimar" os impactos potenciais de novos dispositivos.

Dado o entendimento de que os resultados da análise de *Hosting Capacity* nunca serão iguais a uma interconexão específica ou estudo de planejamento, é fundamental considerar a relação custo-benefício do tempo e recursos gastos com base em como os resultados serão usados.

Por isso a solução fornecida por esse trabalho é a combinação do cálculo de *Hosting Capacity* com o estudo de conexão individualizado, como será abordado na seção IV.

### 3.0 PROCESSO DE CONEXÃO À REDE

De acordo com (ANEEL, 2012), o processo de conexão de geração distribuída à rede ocorre em quatro passos: consulta de acesso, informação de acesso, solicitação de acesso e parecer de acesso, os quais serão detalhados a seguir.

Inicialmente o acessante deve fazer a consulta de acesso, se certificando dos critérios e procedimentos a serem cumpridos. Após esta etapa, é obrigatório que seja feita a elaboração da informação de acesso de acordo com os procedimentos descritos em (ANEEL, 2012).

Passadas essas etapas iniciais, chegamos à etapa de solicitação de acesso, que é o requerimento formulado pelo acessante que, uma vez entregue à acessada, implica a prioridade de atendimento, de acordo com a ordem cronológica de protocolo.

Por fim, a última etapa é a de parecer de acesso, que é o documento formal obrigatório apresentado pela acessada, em que são informadas as condições de acesso, compreendendo a conexão e o uso, e os requisitos técnicos que permitem a conexão das instalações do acessante com os respectivos prazos.

Neste documento são apresentadas as características do ponto de entrega, acompanhadas das estimativas dos respectivos custos, conclusões e justificativas; as características do sistema de distribuição acessado, incluindo requisitos técnicos, tensão nominal de conexão, e padrões de desempenho; orçamento da obra, contendo a memória de cálculo dos custos orçados, do encargo de responsabilidade da distribuidora e da participação financeira do consumidor; a relação das obras de responsabilidade da acessada, com correspondente cronograma de implantação; as informações gerais relacionadas ao local da ligação, como tipo de terreno, faixa de passagem, características mecânicas das instalações, sistemas de proteção, controle e telecomunicações disponíveis; o modelo de Acordo Operativo para minigeração (ANEEL, 2012); as responsabilidades do acessante; e eventuais informações sobre equipamentos ou cargas susceptíveis de provocar distúrbios ou danos no sistema de distribuição acessado ou nas instalações de outros acessantes.

Após a execução de todo o procedimento, na avaliação técnica do acesso, a distribuidora deve observar o critério de mínimo custo global (ANEEL, 2012) de atendimento. Segundo esse critério, entre as alternativas consideradas para viabilização do acesso, deve ser escolhida a alternativa tecnicamente equivalente de menor custo global de investimentos, observando-se o mesmo horizonte de tempo para todas as alternativas avaliadas, considerando-se as instalações de conexão de responsabilidade do acessante; as instalações decorrentes de reforços e ampliações no sistema elétrico e os custos decorrentes das perdas elétricas no sistema elétrico.

Em suma, após seguir uma série de etapas o acessante enviará a sua proposta de conexão da GD para a acessada para que esta análise a viabilidade do processo. Considerações como evitar que a acomodação cause problemas de qualidade à rede e adotar o critério de mínimo custo global serão analisadas internamente pela acessada.

Tendo em vista que para a conexão de GD podem ser necessários reparos e obras na rede, a análise da distribuidora se torna um processo cada vez mais difícil devido à complexidade da análise e ao número de pedidos de acesso.

Assim, uma ferramenta capaz de avaliar o impacto da conexão de forma eficiente, rápida e automatizada é fundamental tanto a efetivação das conexões de GD quanto para a manutenção da qualidade de energia fornecida pelas distribuidoras.

### 4.0 SOLUÇÃO

Dado o apresentado, propõe-se como solução uma ferramenta computacional elaborada em linguagem C++ e integrada à plataforma comercial de simulação de redes elétricas SINAPgrid.

A ideia da ferramenta é que ela seja capaz de automatizar o processo de emissão de parecer, de forma a agilizar e tornar mais assertivo o processo de análise de inserção de GD na rede, garantido que sua conexão não traga prejuízos no que tange a qualidade de energia dos outros agentes conectados à rede. Juntamente com a ferramenta propõe-se também um protocolo a ser seguido para a emissão do parecer de conexão. A Figura 2 mostra o protocolo sugerido para a emissão de parecer de acesso de geração distribuída utilizando as ferramentas de *Hosting Capacity* e de Parecer de Conexão Individualizado, por facilidade, representou-se por azul claro os passos referentes à simulação via software, que são automáticos, e por azul escuro passos de responsabilidade da empresa.

O processo se inicia quando chega à distribuidora um pedido de acesso, consistindo em uma potência da geração e uma coordenada de onde ela estará localizada. O próximo passo é identificar nos registros de cadastro da empresa

o(s) alimentador(es) a qual essa geração pode ser conectada e então utilizar o SINAPgrid para simular as redes elétricas necessárias. Então, o próximo passo é utilizar as informações do resultado do cálculo de *Hosting Capacity* para determinar se ele é menor que a potência pretendida pela geração. Se for, então sabe-se que será necessária a realização de uma obra para acomodar a geração, assim, o próximo passo deve ser a análise de quais obras podem ser feitas, para que seja possível analisar seu impacto técnico-financeiro para o cálculo do Custo Global. Esse passo é importante para que se aumente a velocidade com que os pedidos sejam processados.

Caso o resultado do cálculo de *Hosting Capacity* seja maior, ou seja, indicando que a rede é capaz de acomodar essa geração, inicia-se o processo para a emissão do parecer de conexão individualizado, que ocorre de forma o mais automática o possível. Nele a conexão será simulada na rede, sendo possível a realização de estudos de máxima e mínima carga, com e sem a geração, e, também, com máxima e mínima geração. Para esses estudos serão verificados se houve transgressão de algum dos critérios de interesse para o processo, os quais já foram detalhados na Seção II. Caso não haja nenhuma transgressão, a conexão é aprovada.

Caso contrário, deverão ser realizadas obras na rede para que esta acomode a nova geração. As obras a serem realizadas dependerão do planejador, sendo que os custos delas e seu impacto nas perdas da rede serão contabilizados para o cálculo do Custo Global. Para cada alternativa de solução do problema de transgressão será atribuída um Custo Global e então, após a simulação de todos os cenários, será determinada a alternativa com menor Custo Global, e o parecer será aprovado.

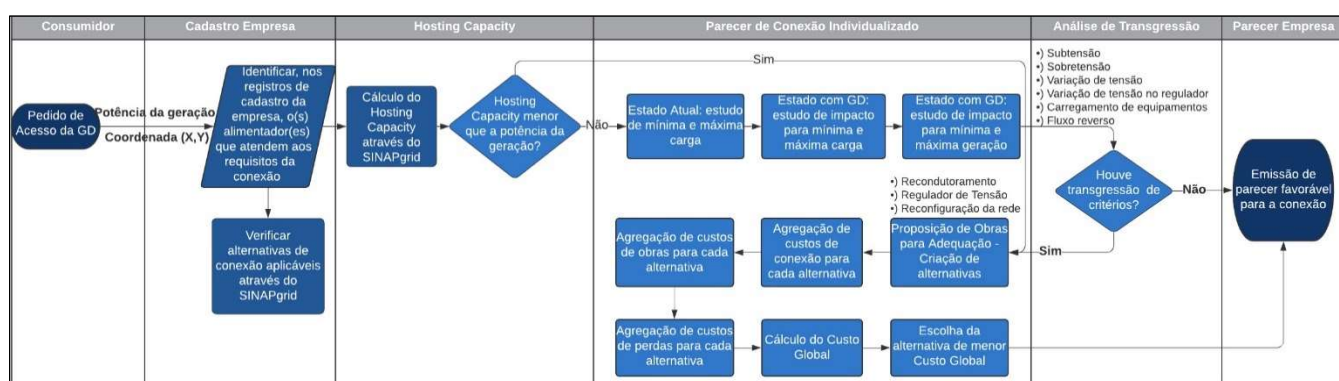


Figura 2 - Protocolo sugerido para a emissão de parecer de acesso de geração distribuída.

As especificações e premissas adotadas na ferramenta para emissão de parecer automatizada, foram as seguintes:

- A ferramenta é flexível para analisar pedidos de conexão para minigeração e microgeração (ANEEL, 2012).
- A ferramenta trabalha concomitantemente, como um módulo da ferramenta de planejamento da plataforma de simulação de redes elétricas SINAPgrid.
- A implementação do módulo deverá ser de tal forma que o planejador possua flexibilidade sobre as alterações na rede, ao mesmo tempo que o processo de emissão de pareceres seja automatizado o suficiente para atender rapidamente a alta demanda pela emissão desses pareceres.
- O módulo deverá ser capaz de fornecer uma estimativa de qual o menor custo global de cada alternativa, ela sendo rejeitada ou não, e, ela possuindo obras ou não.
- A conexão do acessante não pode trazer queda à qualidade da energia fornecida pela distribuidora. Assim, a alternativa de conexão a ser definida deverá ser aquela que trará menor risco de prejuízos a todos os agentes conectados à rede elétrica.
- No que tange a qualidade da energia durante a operação da geração do acessante, a potência injetada possuirá valor padrão de fator de potência igual a 1.00, podendo ser alterado a depender do planejador.
- É de responsabilidade do acessante garantir que não sejam violados os limites das distorções harmônicas.
- Para o cálculo do mínimo custo global, serão adotados custos padrões modulares que serão utilizados nos cálculos de estimação do custo. O planejador poderá alterar esses valores, caso julgue necessário. Também deverá ser definido um valor para o custo das perdas (R\$/MWh), que poderá ser alterado.

## 5.0 ESTUDO DE CASO

Para testar a aplicação das ferramentas e protocolo desenvolvidos, estudou-se a conexão de uma geração fotovoltaica de 1,5 MWp em uma rede elétrica real pertencente a uma distribuidora brasileira.



O primeiro passo foi identificar o alimentador a qual essa geração seria conectada para verificar se ele seria capaz de comportá-la, através da análise do resultado de seu *Hosting Capacity*, conforme mostram a Figura 3 e a Figura 4, sendo que a primeira figura apresenta o resultado para todo o alimentador e a segunda apenas para as proximidades da barra a qual a geração será conectada, barra B\_516.



Figura 3 - Resultado de Hosting Capacity para o alimentador a qual a geração seria conectada.

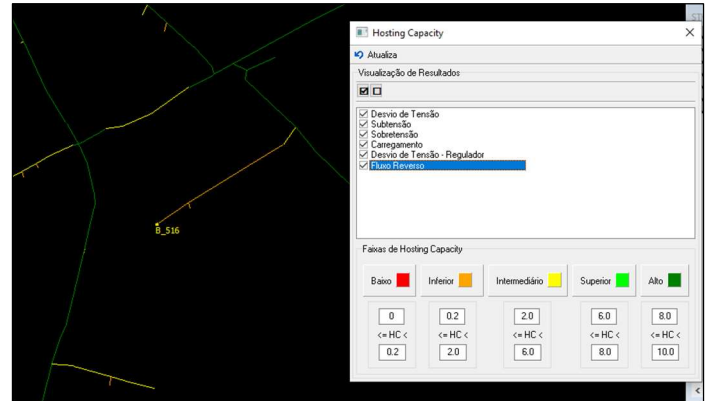


Figura 4 - Resultado de Hosting Capacity nas proximidades da barra a qual a geração será conectada.

Das figuras é possível notar que a rede será capaz de comportar a geração de 1,5 MWp, contudo, se a geração fosse maior que 2,0 MWp, esse pedido de conexão deveria ser redirecionado para a necessidade de obras, pois o *Hosting Capacity* para uma GD nessa região foi classificado como "Inferior", ou seja, com um valor entre 0,2 e 2 MW.

Assim, a próxima etapa é a do parecer de conexão individualizado, conforme a Figura 5, no qual foi verificado que não houve transgressão de nenhum dos critérios selecionados, o que significa que o parecer pode ser aprovado, com o conhecimento de que a conexão dessa geração não trará prejuízos no que tange a qualidade da rede elétrica.

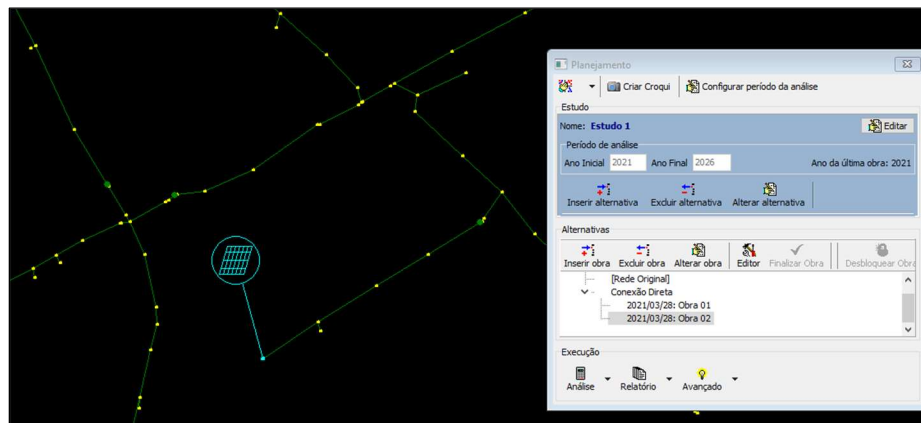


Figura 5 - Simulação da GD a ser avaliada no parecer de conexão individualizado.

Contudo, a situação da rede antes da conexão da geração apresentava tensões próximas ao limite inferior do que seria aceitável, o módulo indicou isso, conforme a Figura 6, e, para esse caso teste, simulou-se o comportamento de um planejador que optou por resolver essa situação avaliando o impacto de duas obras diferentes: a inserção de um regulador de tensão e o recondutoramento da rede.

Avaliação das Alternativas - Parecer de Conexão de GD

✓ Fechar Propor Obras Calcular Custo Global Configurar Custos Exportar Relatório Recalcular para patamares diferentes

Resultados - Análise Técnica

Pat Máx: 11:00 a 12:00 Pat Min: 00:00 a 01:00

Alternativa	Variação de Perdas [%]	Tensão do PAC no Pat Máx [pu]	Tensão do PAC no Pat Min [pu]	Variação de Tensão do PAC no Pat Máx [%]	V
[Rede Original]	0.0	0.924	0.930	0.0	0
Conexão Dir...	0.0	0.939	0.934	1.6	0

Figura 6 - Resultado da avaliação da alternativa de conexão da geração.

Para a avaliação do Custo Global, foram utilizados os custos apresentados na Figura 7, os resultados de Custos Globais são apresentados na Figura 8, na qual fica claro que para esse caso teste, a alternativa de conexão associada ao recondutoramento deve ser a alternativa escolhida.

Configuração de Custos

✓ Confirmar Σ Custos Adicionais Valores Default

Custo de Obras

Equipamento	Custo Inserção	Custo Alteração
Capacitor (R\$/uni)	0.00	0.00
Chave (R\$/uni)	30	0.00
Rede (R\$/uni)	0.00	0.00
Regulador (R\$/uni)	100	0.00
Transformador (R\$/uni)	0.00	0.00
Trecho (R\$/km)	120	150

Custos de Perdas

☒ Custo de perdas estritamente positivo

☒ Utilizar menor perda dentre as alternativas como referência

Tipo Custo

Perdas (R\$/kWh) 0,15

Figura 7 - Custos para as alternativas.

Avaliação das Alternativas - Parecer de Conexão de GD

✓ Fechar Propor Obras Calcular Custo Global Configurar Custos Exportar Relatório Recalcular para patamares diferentes

Resultados - Análise Técnica Resultados - Custo Global

Alternativa	Parcela Conexão	Parcela Obras	Parcela Perdas	Custos Adicionais	Custo Global
Conexão Direta	30.00	0.00	0.25	0.00	30.25
Conexão Direta - Recondutoramento	30.00	60.39	0.00	0.00	90.39
Conexão Direta - Regulador	30.00	101.83	0.33	0.00	132.17

Figura 8 - Resultado do cálculo dos custos globais.

Esse caso teste apresenta de forma de clara uma característica de grande importância da ferramenta que é automatizar vários passos do processo sem comprometer a expressão dos resultados a respeito da qualidade de energia e apresentando flexibilidade suficiente para a atuação do planejador.

## 6.0 CONCLUSÃO

Assim, conforme o que foi apresentado nesse artigo, entende-se que a conexão de geração distribuída deve ser realizada com cuidado e de forma criteriosa para que ela não cause problemas para a qualidade de energia das redes de distribuição. Uma maneira ágil e satisfatória de se garantir isso é através de ferramentas computacionais para a simulação do impacto que a geração terá na rede. Neste trabalho, foi apresentada uma plataforma com o objetivo de auxiliar nesse processo, utilizando o conceito de *Hosting Capacity* e a análise individual da conexão, que se mostrou capaz de fornecer resultados rápidos e satisfatórios. Foi apresentado também um protocolo que utiliza essa plataforma visando auxiliar na avaliação do grande número de pedidos de conexão com os quais a distribuidora deve lidar.

## 7.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS



- (1) ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, “Resolução Normativa Nº 482/2012”, Diretoria Geral, Brasília, Brasil, Abril, 2012
- (2) ROSSI, M., VIGANO, G., MONETA, E. D. Hosting capacity of distribution networks: Evaluation of the network congestion risk due to distributed generation, in 2015 International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP), Taormina, Italy, jun. 2015, p. 716–722, doi: 10.1109/ICCEP.2015.7177570.
- (3) ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, “Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST: Módulo 8 – Qualidade de Energia Elétrica”, Brasil, Abril, 2012.
- (4) ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, “Resolução Normativa nº 414”, de 9 de setembro de 2010.
- (5) DUBEY, A., SANTOSO, S., E. MAITRA, A. Understanding photovoltaic hosting capacity of distribution circuits, in 2015 IEEE Power & Energy Society General Meeting, Denver, CO, USA, jul. 2015, p. 1–5, doi: 10.1109/PESGM.2015.7286510.
- (6) RYLANDER, M., SMITH, J., E. SUNDERMAN, W. Streamlined Method for Determining Distribution System Hosting Capacity, in 2015 IEEE Rural Electric Power Conference, Asheville, NC, USA, abr. 2015, p. 3–9, doi: 10.1109/REPC.2015.11.
- (7) ISMAEL, S. M., ABDEL ALEEM, S. H. E., ABDELAZIZ, A. Y., E ZOBAA, A. F., State-of-the-art of hosting capacity in modern power systems with distributed generation, Renewable Energy, vol. 130, p. 1002–1020, jan. 2019, doi: 10.1016/j.renene.2018.07.008.
- (8) ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, “Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST: Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição”, Diretoria Geral, Brasília, Brasil, Abril, 2012.

#### DADOS BIOGRÁFICOS



Daniel Szente Fonseca possui graduação em Engenharia Elétrica - Ênfase em Energia e Automação pela Universidade de São Paulo (2018). Membro do Cigré. Possui experiência em projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) na área de Distribuição da Energia Elétrica. Destaca-se: “Sistema Avançado de Planejamento Topológico de Redes MT Considerando Novos Recursos de Expansão da Oferta, Novas Realidades de Mercado, Sustentabilidade do Negócio e Exigências Regulatórias”, em parceria com CEB Distribuição S/A. Possui atribuições em integração de sistemas, desenvolvimento de modelos, experiência de programação em C e Python. Utilizando a ferramenta SINAPgrid desenvolveu ferramentas que atendiam os projetos.

#### (2) ANNA GIULIA QUEIROZ COSTA

Anna Giulia Queiroz Costa possui graduação em Engenharia Elétrica - Ênfase em Energia e Automação Elétricas pela Universidade de São Paulo (2020). Atua como engenheira consultora da Sinapsis Inovação em Energia, trabalhando em diversos projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) na área de Transmissão e Distribuição da Energia Elétrica. Possui atribuições em integração de sistemas, desenvolvimento de modelos, e experiência de programação nas linguagens C e Python. Utilizando a ferramenta SINAPgrid atuou no desenvolvimento de módulos da ferramenta que atendiam o requisitado por projetos de P&D.

#### (3) RENAN MACHADO SALES

Renan Machado Sales graduado em Engenharia Elétrica - Ênfase em Sistemas de Potência pela Universidade Presbiteriana Mackenzie (2018). Engenheiro da Sinapsis Inovação em Energia. Possui experiência nas áreas de Planejamento e Proteção da Distribuição, dentre os principais projetos: Consultoria de proteção das redes de distribuição para Cooperzem; projeto de P&D intitulado “Desenvolvimento de Metodologia e Aplicativo Computacional de Cálculo Segmentado do Balanço Energético e Perdas para Direcionamento de Ações de Melhoria” da Light. Atualmente atua no projeto intitulado “Corredor verde e postos de carregamento urbano para avaliação de desempenho de veículos híbridos e elétricos” do grupo Neoenergia.

#### (4) MARCELO APARECIDO PELEGRINI

Marcelo Aparecido Pelegrini é graduado, mestre e doutor em Sistemas de Potência pela USP (2003). Membro do IEEE e Cigré. É sócio-diretor da Sinapsis Inovação em Energia, onde coordenou mais de trinta projetos de consultoria e P&D nas áreas de Distribuição de Energia Elétrica, Comercialização de Energia, Redes Subterrâneas, Planejamento da Distribuição, Eletrificação Rural, Regulação Técnica e Econômica do setor de energia elétrica e gás canalizado e Redes Elétricas Inteligentes, para organizações públicas e privadas, como ENEL, EDP Brasil, FECOERGS, OCB/SESCOOP, Cemig, Celesc, CPFL, Neoenergia, Equatorial, Energisa, Eletrobras, CTG, AES Brasil, ARSESP, ANEEL, BID, LuxDev, Banco Mundial.

#### (5) CÍNTIA GONÇALVES MENDES DA SILVA

endes da Silva Graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Presbiteriana Mackenzie (1991), mestrado em Energia pela Universidade de São Paulo (2008) e Doutorado em Ciências pela Universidade de São Paulo (2016). É professora Titular do nível Básico, Técnico e Tecnológico do IFSP. É líder do Grupo de Pesquisa GPGEE do IFSP -

Campus São Paulo que atua nas áreas de Energia e Automação Elétrica e Eficiência Energética. É avaliadora in loco de Cursos pelo INEP. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Engenharia Eletrotécnica, atuando principalmente nos seguintes temas: compatibilidade eletromagnética, iluminação e qualidade de energia.

(6) LUIZ HENRIQUE LEITE ROSA  
Professor do IFSP - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo. Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Escola Politécnica da USP, mestrado em Engenharia Elétrica pela USP (2007), doutorado em Redes Elétricas Inteligentes pela USP (2018) e pós-doutorado em Smart Grids pela USP (2020). Atualmente realiza pesquisas na área de Eficiência Energética e Geração Distribuída no GPGEE/IFSP.