

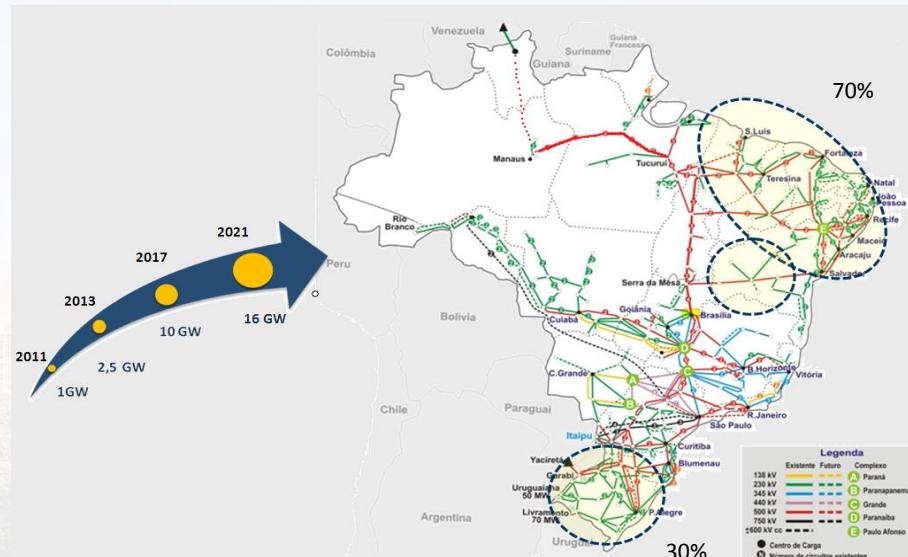
UMA VISÃO GERAL SOBRE AS QUESTÕES RELACIONADAS COM A INTEGRAÇÃO E OPERAÇÃO DE USINAS DE ENERGIA EÓLICA NO SISTEMA BRASILEIRO INTERLIGADO NACIONAL

Paulo Gomes
Sergio Luiz de A. Sardinha
Antonio Felipe C Aquino
André Della Rocca Medeiros
Mauro Muniz
Paulo Quintão
Arlindo Lins A. Junior
Alonso José Torres
Ylani Freitas
Lilian Monteath
Alberto Sérgio Kligerman
Vinicius A. Parga
Fábio Medeiros



INTRODUÇÃO

O Brasil tem aumentado sua capacidade instalada de energia eólica devido ao grande potencial eólico existente, especialmente nas regiões nordeste e sul do país, e à diminuição do preço final de energia, motivado por melhorias nas tecnologias de turbina eólica geradores e plantas, bem como ao modelo de expansão nacional de geração com base em leilões de energia. A capacidade instalada atingiu 4,4 GW em 2014, quando o Brasil entrou para o ranking dos dez países com maior capacidade instalada e espera-se alcançar **16 GW** até 2021



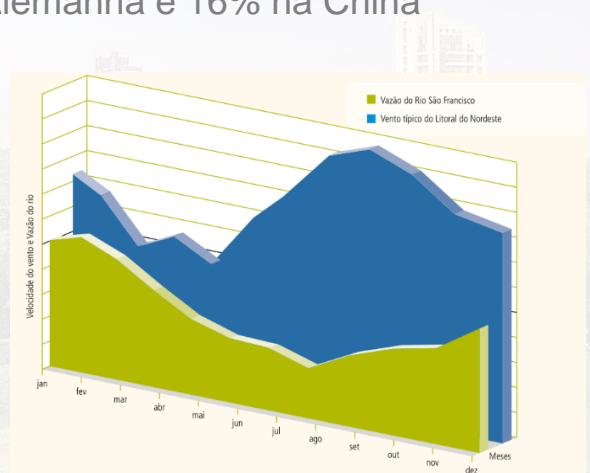
CARACTERÍSTICAS DA GERAÇÃO EÓLICA NO BRASIL

Alto Fator de Capacidade

O fator de capacidade (FC) no Brasil é um dos mais altos do mundo (**38% no primeiro semestre do ano, e 44% no segundo**). Para termos de comparação pode-se citar o valor de CF de outros países: 34% no Reino Unido, 34% na Dinamarca, 31% nos EUA, 24% na Alemanha e 16% na China

Complementaridade entre a Geração Hidrelétrica e a Geração Eólica

A figura a seguir apresenta a vazão do rio São Francisco, que abastece os reservatórios região Nordeste, e o vento típico do litoral desta região



IMPACTOS E DESAFIOS DA GERAÇÃO EÓLICA

Impactos

- Superação de limites de equipamentos e do sistema de transmissão em uma área ou região
- Controle do perfil de tensão
- Prejuízo à estabilidade dinâmica e ao controle de frequência do sistema de potência.
- Injeção harmônica na rede, face à tecnologia eletrônica de potência embarcada em seus inversores

Principais Desafios e Ações

- Atualização dos requisitos dos Procedimentos de Rede visando à segurança sistêmica
- Melhoria de modelos matemáticos para cada tipo de turbina eólica a ser aplicada nos estudos de sistemas de potência, especialmente simulações de transitórios eletromecânicos e transitórios eletromagnéticos
- Elaboração de estudos pré-operacionais relacionados com a tensão e estabilidade dinâmica, controle de frequência do sistema, qualidade de energia/penetração harmônica e fenômenos eletromagnéticos
- Reforços na rede de transmissão e implementação de Sistemas Especiais de Proteção em áreas críticas
- Melhorias dos métodos e ferramentas de previsão de geração de energia eólica
- Definição de medidas preventivas a serem tomadas em tempo real para o controle de tensões e carregamentos de elementos

Ambiente de Contratação Regulada (ACR): cerca de 3/4 da oferta de mercado

- Leilões públicos regulados pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL e operado pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica - CCEE
- Utilizado pelas empresas de distribuição para adquirir energia para abastecer os seus consumidores cativos
- A compra de energia é feita por meio da celebração de Contratos de Aquisição de Energia de longo prazo - PPA

Ambiente de Contratação Livre (ACL): cerca de 1/4 da oferta de mercado

- Os consumidores "livres" podem comprar energia de produtores, como uma alternativa de suprimento a partir do concessionário local
- O consumidor negocia o preço da energia diretamente com geradores e comercializadores, à escolha de seu fornecedor de energia
- A compra de energia é feita através de contratos bilaterais

Tipos de Leilões

- Leilões de Energia Existente
- Leilões de Energia Nova
- Leilões de Fontes Alternativas
- Leilões de Energia de Reserva

Consequência: frustração devido à conclusão de uma série de parques eólicos prontos para produzir, mas sem condições para serem conectados à rede

Após 15 leilões, realizados ao longo de seis anos, a capacidade eólica contratada atingiu 15,2 GW, com não mais de três anos para a maioria dos parques eólicos iniciarem sua operação comercial. No entanto, várias dificuldades foram enfrentadas que contribuíram para o atraso na expansão da rede planejada para a integração dessas novas plantas, destacando-se:

- Processo de licenciamento ambiental
- Restrições legais aplicáveis à aquisição de produtos e serviços por empresas estaduais responsáveis pela construção dos ativos de transmissão (subestações “clusters” para a conexão dos parques eólicos e LT associadas)

Melhorias na metodologia geral dos leilões de energia

Como forma de mitigar o problema de capacidade instalada que não pode ser conectada à rede, melhorias foram introduzidas em 2014 na metodologia geral dos leilões de energia

Somente passou a ser permitida a conexão de novas fontes de geração nos pontos pretendidos dentro das margens de transmissão existentes. Estes limites correspondem à capacidade restante - ou margem de potência - em cada ponto, determinada pelo ONS após análises em regime permanente (N e N-1) sob premissas rigorosas

Quatro leilões foram realizados sob as novas regras, com a contratação de 4.285 MW de todas as fontes, incluindo 1.950 MW de eólica a ser implantada em 2017 e 2018

Etapas do Processo de Acesso ao Sistema de Transmissão

- Pedido de acesso apresentado pela empresa acessante ao ONS ou à concessionária de transmissão, acompanhado de informações, dados e estudos preliminares de acesso
- Emissão do relatório de acesso que consolida e estabelece as condições de acesso por meio de avaliações da viabilidade técnica da solicitação de acesso ao SIN
- Contrato de Uso do Sistema de Transmissão – CUST, celebrado entre o ONS e o usuário do sistema de transmissão, que estabelece as condições para o uso do sistema de transmissão e a remuneração dos agentes de transmissão
- Contrato de Prestação de Serviços de Transmissão – CPST, celebrado entre o ONS e as empresas proprietárias de ativos de transmissão da Rede Básica que os tornam disponíveis para as partes que os acessam, sob administração e coordenação do ONS
- Assinatura do Contrato de Conexão ao Sistema de Transmissão (CCT), celebrado entre a empresa de transmissão e o agente acessante, tendo ONS como interveniente
- Contratos para serviços aniliares (CPA), celebrado entre o ONS e os agentes de geração, nos casos previstos no Módulo 14 dos Procedimentos de Rede

REQUISITOS TÉCNICOS DOS AEROGERADORES

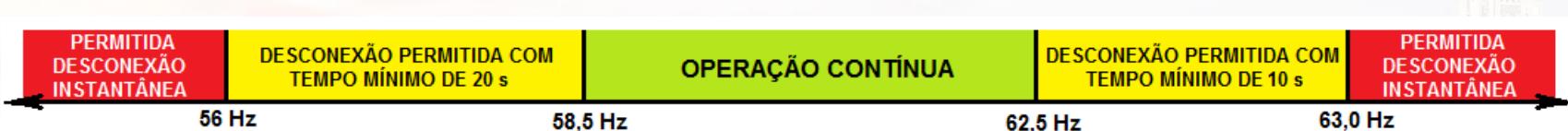
Os primeiros requisitos técnicos para a conexão de geradores eólicos incluídos nos Procedimentos de Rede brasileiros foram desenvolvidos em 2004. Com o aumento do nível de penetração da geração eólica foram introduzidas melhorias a fim de garantir a segurança operativa do SIN. Eles cobriram os seguintes aspectos:

- Operação fora da frequência nominal
- Operação fora da tensão nominal
- Capacidade de potência reativa no ponto de conexão
- Capacidade de geração e absorção de potência reativa fora das condições de tensão nominal
- Modos de controle de operação no ponto de conexão
- Desempenho em condições de sub ou sobretensão durante faltas na rede
- Injeção de corrente reativa adicional durante curto-circuitos
- Geração de potência ativa durante perturbações
- Inércia sintética
- Operação em regime de sobrefrequência

REQUISITOS TÉCNICOS DOS AEROGERADORES

Operação fora da frequência nominal (60 Hz)

- Desligamento instantâneo permitido para operação abaixo de 56 Hz
- Operação abaixo de 58,5 Hz por tempo mínimo de 20 segundos
- Operação entre 58,5 e 62,5 Hz por tempo ilimitado
- Operação acima de 62,5 Hz por tempo mínimo de 10 segundos
- Desligamento instantâneo permitido para operação acima de 63 Hz



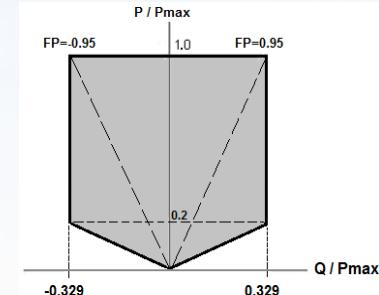
Operação fora da tensão nominal

- Operação contínua entre 0,90 e 1,10 pu
- Operação entre 0,85 e 0,90 pu por um tempo mínimo de 5 segundos
- Operação entre 1,10 e 1,20 pu por um tempo mínimo de 2,5 segundos

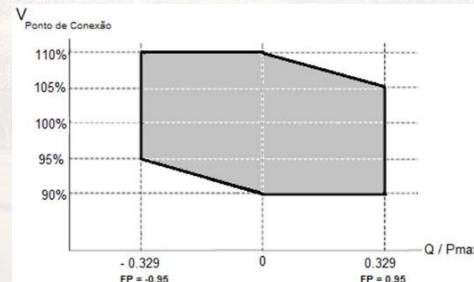
REQUISITOS TÉCNICOS DOS AEROGERADORES

Capacidade de geração de potência reativa no ponto de conexão

A fim de contribuir com a operação do sistema, o parque de energia eólica deve fornecer no ponto de conexão, se necessário, recursos como compensadores síncronos, reatores ou SVC, para operar com fator de potência em qualquer ponto na área mostrada na figura acima



Capacidade de geração e absorção de potência reativa fora das condições de tensão nominal



Modos de Controle de operação no ponto de conexão

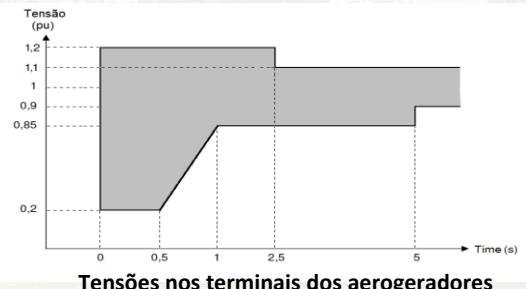
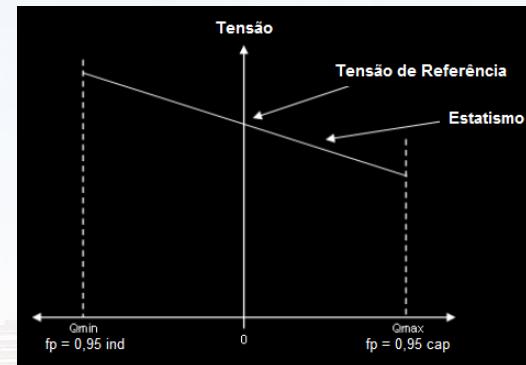
Os parques eólicos devem ser capazes de operar em condição normal em três diferentes modos de funcionamento:

- Controle de tensão
- Controle de potência reativa
- Controle de fator de potência

O modo de controle normal é o modo de controle de tensão no ponto de conexão. Quando se opera no modo de controle de tensão, o parque eólico deve ser capaz de fornecer uma tensão controlável no seu ponto de conexão com uma tensão de referência ajustável entre 95% e 105% da tensão nominal e “droop” (estatismo) ajustável numa faixa de entre 2% e 7% com uma resolução de 0,5%

Desempenho em condições de sub ou sobretensão

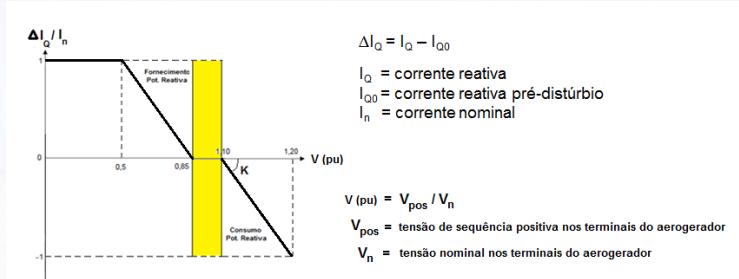
Quando de variações transitórias de tensão em uma ou mais fases no ponto de conexão da central de geração eólica, decorrentes de distúrbios na rede básica, a mesma deve continuar operando se a tensão nos terminais dos aerogeradores permanecer dentro da região indicada na figura. Esta característica aplica-se a quaisquer tipos de distúrbio, sejam eles provocados por rejeição de carga, defeitos simétricos ou assimétricos, devendo ser atendida pela tensão da fase que sofrer maior variação



REQUISITOS TÉCNICOS DOS AEROGERADORES

Injeção de corrente reativa adicional durante curto-circuitos

Quando submetido a variações de tensão transitórias, além de atender a exigência de ficar conectado durante o período descrito na característica anterior, o gerador eólico deve ser capaz de fornecer suporte de tensão para a rede através de injeção/absorção adicional de corrente reativa de acordo com a figura indicada. A instalação deve ser capaz de iniciar o fornecimento de energia reativa no prazo máximo de 30ms após a detecção de defeitos. O ONS é responsável por definir a ativação deste recurso, incluindo a definição do valor de K (inclinação) a ser utilizado, considerando as características do sistema onde o parque será inserido



Geração de potência ativa durante perturbações

- A potência ativa do gerador eólico deve ser restaurada para 85% do valor de pré-falta num tempo máximo de 4 segundos após a recuperação da tensão a 85% da tensão nominal
- É de responsabilidade do ONS definir a rampa de recuperação de potência ativa gerada, dependendo das características do sistema em que o gerador eólico está inserido
- Não pode haver redução na potência de saída na faixa de frequência entre 58,5 e 60,0 Hz para tensões no ponto de conexão da planta de geração eólica entre 0,90 e 1,10 pu
- É permitida redução da potência ativa de até 10% para frequências na faixa entre 57 e 58,5 Hz

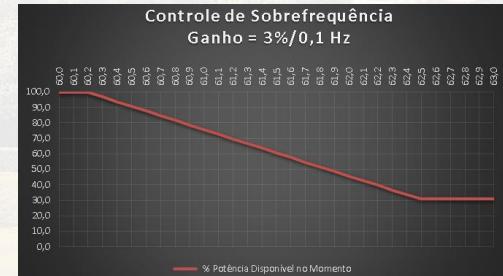
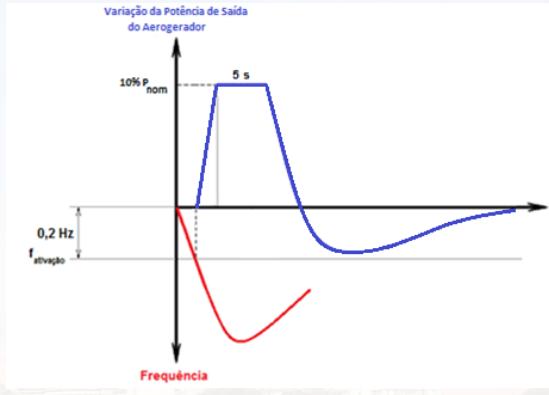
REQUISITOS TÉCNICOS DOS AEROGERADORES

Inércia sintética

Os aerogeradores de centrais com potência instalada superior a 10 MW deverão dispor de controladores sensíveis às variações de frequência, de modo a emular a inércia (inércia sintética) através de modulação transitória da potência de saída, contribuindo com pelo menos 10% de sua potência nominal, por um período mínimo de 5 segundos, quando em regime de subfrequência, para desvios de frequência superiores a 0,2 Hz. A retirada desta contribuição deverá ser automaticamente efetuada caso a frequência retorne a seu valor nominal. A injeção inicial de potência ativa deverá ser proporcional à variação da frequência, a uma taxa mínima de 0,8 pu da potência nominal do aerogerador para cada hertz de desvio da frequência. A provisão plena de inércia sintética deverá ser disponibilizada sempre que a potência ativa do aerogerador for igual ou superior a 25% de sua potência nominal. Deverão ser informados os tempos máximos de sustentação do adicional de potência de 10% para níveis de potência inferiores a 25% da potência nominal do aerogerador

Operação em regime de sobrefreqüência

- Os aerogeradores de centrais geradoras com potência instalada superior a 10 MW deverão dispor de controladores sensíveis às variações de frequência, que promovam a redução da potência de saída quando em regime de sobrefreqüência na faixa de freqüências de 60,2 Hz a 62,5 Hz
- Este controle deverá ser do tipo proporcional com ganho de 3% / 0,1Hz na base da potência disponível no aerogerador no momento



PAULO QUINTÃO

 (21) 3444-9431

 (21) 98841-9168

 quintao@ons.org.br

 www.ons.org.br

