

PROJETOS DE PESQUISA PPGEE (Vigentes entre 2021 e 2024)

Linha de Pesquisa: *Sistemas Elétricos*

Coordenador: Adriano Aron Freitas de Moura.....	2
Coordenador: Ednardo Pereira da Rocha.....	5
Coordenador: Victor de Paula Brandão Aguiar.....	7

Coordenador: Adriano Aron Freitas de Moura

Título: Novas Técnicas e Algoritmos para o Processamento do Curto-Circuito em Componentes de Fase e do Fluxo de Potência Continuado com Modelagem Trifásica.

Vigência: 2016 a 2021 (*Finalizado*)

Descrição: A análise de faltas em sistemas elétricos de potência tem sido feita tradicionalmente pelas companhias de energia através da modelagem em componentes simétricas. A modelagem em componentes simétricas, porém, não é uma técnica de grande precisão em várias situações, uma vez que parte da informação matemática é perdida na transformação de Fortescue. Alguns exemplos dessa inexatidão são: representação inexata de sistemas trifásicos com elevados graus de desequilíbrio de tensões, falta de diferenciação de cálculo entre a corrente de curto-circuito trifásica e a corrente de curto-circuito trifásica-terra, o qual não é possível na modelagem em componentes simétricas, uma vez que o valor calculado é o mesmo para ambas as situações, perda de precisão em curtos-circuitos simples como fase-terra, bifásico, etc. Sendo assim, um método que contorna essa inexatidão do método das componentes simétricas na análise de faltas, é o método das componentes de fase. Neste método, considerado exato, as correntes de curto-circuito são determinadas no sistema de referência abc. No entanto, muitas formulações matemáticas de métodos foram feitas para analisar sistemas de distribuição (radiais) e sistemas de transmissão (com malhas) ao longo do desenvolvimento dessa área de pesquisa. Uma dificuldade adicional consiste na inclusão da representação matemática e de algoritmos computacionais de geradores distribuídos, que contribuem para o valor da corrente de curto-circuito no método das componentes de fase. Sabe-se que algumas turbinas eólicas, como a turbina do tipo IV (geradores síncronos), contribuem para o valor da corrente de curto-circuito através de um comportamento de fonte de corrente no circuito onde está inserida. Usinas fotovoltaicas também podem apresentar esse mesmo comportamento. Aliado a todos esses fatores, a representação adequada da máquina de indução também permite investigar a relevância da contribuição desse tipo de máquina nas correntes de curto-circuito do sistema, uma vez que a mesma pode contribuir para o valor da corrente nos primeiros ciclos do curto-circuito. A possibilidade de ocorrência de mais de uma falta do sistema (faltas duplas) torna ainda mais complexo o problema da análise de faltas. Esse projeto de pesquisa objetiva, pois, propor um método/algoritmo matemático geral para análise de correntes de curto-circuito de modo a contemplar a análise de: sistemas de distribuição e sistemas de transmissão, inclusão de geradores eólicos e de usinas fotovoltaicas, possibilidade de simulação de faltas simples ou duplas nas diversas combinações (fase-terra, bifásica, bifásica-terra, trifásica, trifásica-terra com e sem impedância de aterramento) e inclusão de motores de indução na simulação das faltas. Frequentemente o engenheiro analista do curto-circuito pode se deparar com uma situação na qual seja solicitado o cálculo em um sistema com componente HVDC (High Voltage Direct Current). A última etapa desse projeto objetiva também a análise dessas situações. Aliado a todos esses fatores, uma hipótese básica desse projeto é utilizar métodos de fluxo de carga trifásicos apropriados como uma alternativa para processar o curto-circuito, uma vez que um método de fluxo de carga é inerentemente mais direto na

representação da rede elétrica para diversos estudos em regime permanente baseados na matriz Y do que o método com a matriz Z que é usado principalmente nos cálculos de faltas. Condições extremas da rede elétrica serão investigadas (condições de curto-circuito) e condições de elevados carregamentos (fluxo de carga continuado).

Título: Estudo e Desenvolvimento de Simuladores Didáticos para Uso de Práticas Laboratoriais Utilizando Plataforma de Desenvolvimento de Jogos.

Vigência: 2021 a ATUAL (*Em andamento*)

Observações: Neste projeto, o Prof. Adriano Aron Freitas de Moura atua como *Integrante*. O coordenador do projeto é o Prof. Daniel Carlos de Carvalho Crisóstomo, egresso do PPGEE, ex-orientando do Prof. Adriano Aron e atualmente docente da UFERSA, campus Caraúbas.

Descrição: O crescimento da indústria da área de ciência e tecnologia demanda também uma mão de obra cada vez mais especializada. Em virtude disso, surge a fundamental exigência de educar e formar uma geração de profissionais capacitados para tal. Essa etapa requer cuidado e necessidade de eficaz transferência de conceitos aprendidos na sala de aula para resolver complexas soluções. O projeto em questão objetiva incluir e popularizar um terceiro personagem no dipolo "Teoria - Prática": a pré-prática. Essa inserção se dará através do estudo e execução de simuladores interativos e didáticos em uma plataforma de construção de jogos objetivando preparar os alunos para as práticas laboratoriais através da imersão em um ambiente simulado, que venha a prever os resultados esperados, bem como alertar aos perigos existentes nessa aula.

Título: Modelagem, Controle, Simulação e Análise Dinâmica de Geração Distribuída em Sistemas Elétricos de Potência Usando o Software ATPDRAW.

Vigência: 2021 a ATUAL (*Em andamento*)

Descrição: Esse projeto objetiva modelar, simular e analisar sistemas de energia renovável como eólica e solar no software ATPDraw. As turbinas eólicas dos tipos III e IV são os principais componentes de estudo, assim como as usinas solares fotovoltaicas conectadas ao sistema elétrico através de inversores de frequência. O objetivo do projeto é modelar e simular no domínio do tempo os vários componentes de um sistema eólico como turbina eólica, drive train, controle de MPPT, modelagem do RSC ? Rotor Side Converter e do GSC ? Grid Side Converter em turbinas do tipo III, modelagem nos modos de operação subsíncrono e supersíncrono, assim como fenômenos transitórios relacionados a rede elétrica como é o caso das situações de falta. Espera-se verificar o funcionamento do controle sob as condições de falta e outras condições transitórias da rede elétrica, assim como do inversor das usinas solares fotovoltaicas.

Título: Simulação de Transitórios em Sistemas de Potência e em Circuitos Eletrônicos usando Técnicas Numéricas.

Vigência: 2022 a ATUAL (*Em andamento*)

Descrição: Esse projeto objetiva investigar os métodos numéricos que são usados na simulação profissional de transitórios em sistemas de potência e em circuitos eletrônicos/circuitos de eletrônica de potência. A análise de transitórios, ao contrário da

simulação da rede elétrica em regime permanente, modela o funcionamento dos dispositivos elétricos e eletrônicos no domínio do tempo, fazendo uso da montagem da matriz de condutâncias $[G]$ e da aproximação do processo de integração pela regra dos trapézios. Assim, em cada instante de tempo, as tensões nodais do circuito ou do sistema são obtidas em um programa de computador. Pretende-se analisar assim a modelagem de diversos dispositivos elétricos e eletrônicos como: resistores, capacitores, indutores, transistor de junção bipolar, circuitos trifásicos, PWM, máquinas elétricas, linhas de transmissão, MOSFETs, na medida em que esses modelos sejam desmitificados na literatura. Alguns desses dispositivos tem pouquíssimas referências na modelagem. O projeto objetiva, então, exercitar a programação e produzir artigos/simulações/registo de software em relação ao tema mencionado e estudar as aplicações dos métodos numéricos na solução de sistemas elétricos e eletrônicos.

Coordenador: Ednardo Pereira da Rocha

Título: Desenvolvimento e implementação de métodos e aplicações baseadas em estimação de estado para supervisão de redes de distribuição trifásicas com geração distribuída.

Vigência: 2021 a ATUAL (*Em andamento*)

Descrição: Nas redes de distribuição de energia atuais, é inviável a utilização de unidades de medição em todos os nós do alimentador, no entanto, é de grande importância para o operador do sistema ter uma noção bastante fidedigna das condições operativas da rede relativamente aos valores, de regime permanente, de potências, tensões e correntes. Altas temperaturas, manuseio em partes móveis de máquinas ou condições inesperadas podem tornar difíceis, perigosas ou de custos elevados a medição de certos estados do sistema. Neste caso, os estados não medidos devem ser estimados a partir das informações de medidas que o sistema possui. Este processo de determinação de grandezas não conhecidas com base em quantidades medidas é denominado estimação de estado. O presente projeto vem propor a utilização de técnicas de estimação de estado e de localização de faltas em redes de distribuição com geração distribuída, trifásicas e com abordagem linearizada e baseada no método de fluxo de carga soma de correntes.

Título: Análise técnica e econômica na utilização de sistemas de geração fotovoltaica com armazenamento de energia em baterias (Battery Energy Storage System - BESS) em redes de distribuição de energia.

Vigência: 2023 a ATUAL (*Em andamento*)

Observações: O projeto de pesquisa faz parte de um projeto intitulado “Energia solar com armazenamento em baterias na UFERSA” (ESAB/UFERSA), apoiado pela Financiadora de Estudos e Projetos (Finep/MCTI) por meio Chamada Pública MCTI/Finep/FNDCT/CT-INFRA/Energias Renováveis 2022.

Descrição: As redes de distribuição de energia elétrica passaram por intensos aprimoramentos desde o final dos anos noventa, tanto pelo avanço dos dispositivos de telecomunicações, que permitiram relevantes contribuições no telecomando de subestações e supervisão das redes, como pela inserção da geração distribuída. Com isso, surgiram desafios que envolvem desde a estabilidade do sistema como a busca por estratégias que envolvem o uso e a geração racional de energia com a finalidade de gerar o melhor retorno econômico e energético de uma instalação. Nesse sentido, recentemente surgiu a possibilidade da utilização de sistemas de geração de energia integrados a sistemas de armazenamento em baterias, denominados Battery Energy Storage System (BESS), que possibilita armazenar energia elétrica que pode ser usada posteriormente quando necessário. O BESS tem se tornado cada vez mais importante nas redes elétricas devido à sua capacidade de ajudar a gerenciar a instabilidade da geração de energia renovável intermitente, como a energia eólica e solar, além de promover benefícios técnicos à instalação, como a regulação do fator de potência, a possibilidade de atendimento da instalação durante uma desenergização da rede da concessionária, redução de picos de demanda e a injeção de energia ora armazenada durante o horário

fora de ponta, no horário de ponta. Através desse projeto, busca-se inserir a UFERSA dentre as instituições que são pioneiras no estudo, simulação e no uso deste tipo de sistema, analisando desde a questão econômica, por meio do uso de técnicas de estudos de viabilidade, como aspectos técnicos no uso desta tecnologia.

Coordenador: Victor de Paula Brandão Aguiar

Título: Análise do custo do ciclo de vida em projetos de conservação de energia com geração distribuída.

Vigência: 2019 a 2024 (*Finalizado*)

Descrição: Aspectos técnico-econômicos sobre a geração distribuída com o uso de fonte alternativas de energia ainda é o centro das atenções da sociedade brasileira nos últimos anos. Este fato é justificado principalmente pelo sistema de compensação para as unidades de mini e microgeração de energia elétrica tais como aerogeradores, painéis fotovoltaicos, mini e microturbinas hidráulicas e etc. Desta forma, este projeto visa analisar economicamente a partir dos custos de ciclo de vida, projetos de geração distribuída com fontes não renováveis e também com fontes renováveis mostrando a influência do sistema de compensação nas análises econômicas. Apresentar a rentabilidade desses sistemas, a partir dos custos de todo o ciclo de vida e não apenas do investimento inicial é o diferencial deste trabalho. O binômio técnico-econômico da análise de engenharia será apresentada e a expansão do uso desta técnica de análise econômica em projetos de conservação de energia será demonstrado a partir de dois estudos de caso: uso de grupo motor-gerador (GMG) em indústria local, e uso de geração fotovoltaica em uma residência da cidade de Mossoró/RN.

Título: Opção de retrofitting baseada na rebobinagem como solução final para alcançar rendimento super-premium em motores industriais de baixa potência.

Vigência: 2021 a 2024 (*Finalizado*)

Descrição: A maioria dos países ou regiões do mundo têm adotado índices mínimos de rendimento (IR) para motores elétricos de indução (MIT) sobre uma vasta faixa de potências e, portanto, estratégias adicionais para alcançar maiores rendimentos são importantes especialmente para MIT com rotores gaiola de esquilo (motores elétricos convencionalmente utilizados na indústria). Neste projeto, uma opção de "retrofitting" com base na rebobinagem tem melhor rentabilidade econômica diferentemente da simples troca de motores envelhecidos e em operação por motores com índices de rendimento 3 (Premium) ou 4 (Super-Premium). É possível rebobinar um MIT de 1,5 cv utilizando enrolamentos imbricados e passo encurtado, alcançando um nível "Super-Premium". Desde 2014 a adoção da classe de rendimento Premium/IE3 nos Estados Unidos da América e na Europa assim como no Brasil (IR3) tem sido reforçado seu uso como acionamento diretamente conectado a rede ou acionamento em velocidade variável para muitos sistemas motrizes industriais, embora algumas tecnologias de motor elétrico, por exemplo, Motor Síncrono de Relutância (SynRM), Motor de Relutância Chaveado (MRC) e o Motor Síncrono com Ímãs Permanentes (MSIP) apontem para maiores índices de rendimento, provavelmente o IR4 (Super-Premium) e o IR5 (Ultra-Premium). Desta forma, novas estratégias com este objetivo, i.e., aumentar o rendimento do motor tem sido discutido na forma de ações políticas de promoção de eficiência energética dos MIT a partir de opções de "retrofitting" principalmente em seu enrolamento do estator. Por exemplo, no Brasil desde 2018 motores fora de operação (em processo de descarte) podem ser melhorados e vendidos desde que tenham um rendimento equivalente ao

IE3/Premium (IR3). A rebobinagem do MIT não para manutenção, mas como opção de "retrofit" torna fácil aumentar o rendimento com melhor rentabilidade econômica e melhora a classe de rendimento mantendo o mesmo projeto mecânico, por exemplo, mesma carcaça, lâminas, eixo, ventilador, rolamentos e anéis de vedação. Os tipos de enrolamentos trifásicos utilizados são vastos e a escolha deve ser no sentido de reduzir a resistência do estator, aumentando rendimento na potência nominal e em carregamentos parciais também.

Portanto, o projeto visa realizar uma avaliação econômica e técnica na questão da troca de motores destacando-se uma opção de "retrofitting" que é a rebobinagem com critérios técnicos no fim do ciclo de vida de um MIT industrial. Entretanto, os principais objetivos nestas análises também levam em conta o efeito das perdas relacionadas à saturação que depende de um compromisso entre o nível de saturação do núcleo, perdas no ferro e perdas no estator nas perdas totais do MIT após o processo de rebobinagem.

Título: Aumento de eficiência de máquinas térmicas através de regeneração de energia térmica e vibracional.

Vigência: 2022 a ATUAL (*Em andamento*)

Observações: Neste projeto, o Prof. Victor de Paula Brandão Aguiar atua como *Integrante*. O coordenador do projeto é o Prof. Zoroastro Torres Vilar, do curso de graduação em Engenharia Mecânica da UFERSA, campus Mossoró.

Descrição: Diante das evidências do aquecimento global, qualidade do ar e efeitos no ser humano, há uma busca crescente na redução do uso de combustíveis, tais como: gasolina, gás natural e óleo diesel. Estudos dirigidos para a produção de carros movidos a motores elétricos, que funcionam com a energia armazenada em baterias, tomaram bastante destaque nos últimos anos e vem apresentando grande evolução e aplicação. Apesar de serem considerados veículos movidos a energia limpa, os carros elétricos apresentam fatores que se fazem necessário serem discutidos sobre a real vantagem que tais veículos podem trazer para o meio ambiente.

Por outro lado, estudos em eficiência energética têm reduzido consideravelmente as perdas em equipamentos e máquinas, entretanto as perdas de energias térmicas e vibracionais ainda são consideráveis em muitos sistemas. Essa energia térmica e de vibração, que na maioria das vezes é ignorada, pode ser reaproveitada para gerar energia elétrica através de sistemas de regeneração de energia termoelétricos e piezoelétricos, consequentemente aumentando a eficiência do sistema.

O assunto de aproveitamento da energia térmica e de vibração, como forma de redução do consumo de combustível, é um assunto atual que concilia a crescente demanda por energia com maximização do consumo de combustível em veículos com motores de combustão interna.

Esse projeto tem como objetivos desenvolver estudos sobre as possibilidades de regeneração da energia desperdiçada pelos motores térmicos através da utilização de regeneradores que utilizam o princípio da piezoelectricidade e efeito peltier. Espera-se que o avanço da utilização dessas tecnologias para regenerar energias perdidas em máquinas térmicas possam elevar a sua eficiência e consequentemente contribuir para a diminuição da pegada de carbono.

Título: Estudos avançados sobre produção de hidrogênio verde com fontes de energia eólica offshore no Ceará.

Vigência: 2023 a ATUAL (*Em andamento*)

Observações: Neste projeto, o Prof. Victor de Paula Brandão Aguiar atua como *Integrante*. O coordenador do projeto é o Prof. Ricardo Silva Thé Pontes, da Universidade Federal do Ceará (UFC), campus Pici. O projeto é financiado pela Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

Descrição: Este projeto de pesquisa propõe um estudo avançado sobre a produção de hidrogênio verde com fontes de energia eólica offshore no estado do Ceará. Esse estudo será realizado através de três linhas de pesquisa, a primeira linha vai analisar a viabilidade econômica de plantas de hidrogênio verde com fontes eólicas offshore, a segunda linha vai estudar o controle de processos de produção de hidrogênio e a terceira linha vai estudar o controle de vibrações em turbinas eólicas offshore. A viabilidade econômica é um dos principais critérios na tomada de decisão para iniciar um empreendimento, sendo o LCOE e o LCOH os parâmetros mais utilizados em análises de plantas de hidrogênio verde. Dado o crescente avanço de projetos de complexos eólicos offshore no Ceará e no Brasil, é preciso atender as necessidades da indústria nacional de turbinas eólicas com tecnologias de ponta que aumentem a produtividade e a confiabilidade das turbinas. As técnicas de controle ativo híbrido a serem pesquisadas são aliadas em controle preditivo baseado em modelo e em controle de processos lineares de parâmetros variantes. O projeto de pesquisa prevê a publicação de uma série de artigos científicos nestas áreas.

Título: Estudos avançados sobre produção de hidrogênio verde com fontes de energia eólica offshore no CE e no RN.

Vigência: 2024 a ATUAL (*Em andamento*)

Observações: Este projeto é um desmembramento local de projeto aprovado no Edital FUNCAP 06/2023 - "Edital Universal" pelo pesquisador prof. Dr. Ricardo Silva Thé Pontes e que o Prof. Victor de Paula Brandão Aguiar participa como pesquisador. Neste documento, o Prof. Victor é o coordenador local do projeto, expandido o tema do projeto para o estado do Rio Grande do Norte, especialmente a região de Mossoró.

Descrição: Este projeto de pesquisa propõe um estudo avançado sobre a produção de hidrogênio verde com fontes de energia eólica offshore nos estados do Ceará (CE) e Rio Grande do Norte (RN). Esse estudo será realizado através de três linhas de pesquisa, a primeira linha vai analisar a viabilidade econômica de plantas de hidrogênio verde com fontes eólicas offshore, a segunda linha vai estudar o controle de processos de produção de hidrogênio e a terceira linha vai estudar o controle de vibrações em turbinas eólicas offshore. A viabilidade econômica é um dos principais critérios na tomada de decisão para iniciar um empreendimento, sendo o LCOE e o LCOH os parâmetros mais utilizados em análises de plantas de hidrogênio verde. Dado o crescente avanço de projetos de complexos eólicos offshore no CE/RN e no Brasil, é preciso atender as necessidades da indústria nacional de turbinas eólicas com tecnologias de ponta que aumentem a produtividade e a confiabilidade das turbinas. As técnicas de controle ativo híbrido a serem pesquisadas são aliadas em controle preditivo baseado em modelo e em controle

de processos lineares de parâmetros variantes. O projeto de pesquisa prevê a publicação de uma série de artigos científicos nestas áreas.

Dentre os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (Nações Unidas, 2023a) da Organização das Nações Unidas, adotados pelos países membros que assinaram o Acordo de Paris no ano de 2015 (Nações Unidas, 2023b,c), está a limitação do aumento da temperatura média global em até 2 graus C acima dos níveis pré-industriais, até o ano de 2030. Desse modo, é necessário reduzir drasticamente a produção de energia baseada em combustíveis fósseis e mudar consideravelmente a matriz energética mundial.

A utilização do hidrogênio para se realizar essa transição energética é considerada uma das alternativas mais viáveis. Atualmente, tem-se investido diversos esforços de pesquisa, desenvolvimento e inovação neste setor. Atraindo também grandes investimentos financeiros na indústria mundial (Zhou et al., 2022).

A combinação de hidrogênio em grande escala com fontes de energia renováveis representa uma solução limpa e sustentável para impulsionar a transição energética necessária. Desse modo, o conceito de hidrogênio verde surge quando a sua produção tem como fontes de energia aquelas renováveis.

No estado do Ceará, podemos mencionar como fonte de energia renovável em ascensão a eólica offshore. Isso pode ser comprovado pela grande demanda de processos de licenciamento ambiental de projetos de complexos eólicos offshore, localizados no litoral cearense, em análise atualmente no Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), segundo IBAMA (2023).