

Código da Demanda: 2015.002

Órgão: Gerência de Pesquisa, Serviços e Inovação Tecnológica de FURNAS - GST.E

Título da Demanda: Metodologias e infraestrutura tecnológica para aperfeiçoamento das avaliações de confiabilidade e otimização de empreendimentos de energia (PROJETO EM ANDAMENTO)

Objetivo:

O referido projeto tem como objetivos gerais estudar os parâmetros de comportamento de estruturas civis de empreendimentos de geração de energia elétrica, em particular, usinas hidrelétricas, parque eólicos e usinas solares fotovoltaicas, com o intuito de subsidiar a prospecção de projetos e estudos de implantação e planos de manutenção preventivos e preditivos. O projeto também prevê a montagem de uma planta solar fotovoltaica experimental para monitoramento e análise de desempenhos mecânicos, ambientais e energéticos, com vistas na determinação de seu fator de capacidade. Em resumo, o projeto tem foco na redução dos custos de implantação com o maior domínio do comportamento esperado das estruturas e custos operacionais através da minimização do tempo e frequência de paralisação para manutenção.

Parte do escopo definido no projeto será executada diretamente por Furnas, com algumas aquisições e serviços desenvolvidos internamente pela equipe técnica da empresa. Portanto, os objetivos aqui descritos referem-se apenas à parte do escopo do projeto que demanda parceria para seu desenvolvimento. Destaca-se que a integração dos objetivos apresentados com os objetivos gerais do Projeto é de responsabilidade da equipe técnica de FURNAS. Abaixo estão apresentados os objetivos especificamente relacionados a esta Demanda de P&D:

- 1) OBJETIVOS LIGADOS À MODELAGEM MATEMÁTICA-COMPUTACIONAL DOS SISTEMAS EÓLICOS E HIDROELÉTRICOS: a - Preparação de pré-processador capaz de gerar os domínios de interesse, tanto dos ensaios quanto dos sistemas civis de geração eólica e hidroelétrica; b - Investigação, seleção e/ou desenvolvimento de formulações necessárias para as modelagens contínua e discreta, considerando-se regime dinâmico, não linear e efeitos poro-termo-mecânicos para as aplicações; c - Implantação de sistemas computacionais de processamento; d - Otimização e calibração de sistemas computacionais de processamento; e- Comparação e validação, para cada sistema civil de geração, das respostas obtidas pelas abordagens contínua e discreta; f - Definição dos principais modelos de comportamento em relação aos mecanismos de transporte de massa no concreto, bem como um levantamento de modelos preditivos de vida útil de deterioração com base nos fenômenos de corrosão e reação álcali-agregado; g - Desenvolvimento experimental de estudos que forneçam parâmetros dos modelos preditivos de vida útil definidos na alínea f.
- 2) OBJETIVOS LIGADOS AOS ESTUDOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS: a - Análise e consolidação da legislação e marcos regulatórios Brasileiros sobre geração fotovoltaica concentrada; b - Elaboração de especificação técnica de estação solarimétrica para prospecção de potencial solar, incluindo, mas não se limitando, os equipamentos, variáveis analisadas, taxa de aquisição, sistema de armazenamento de dados, conexão e comunicação remota, filtros, disponibilização em ambiente web e tratamento de dados; c - Identificação das áreas mais propícias às instalações solares fotovoltaicas dentro do sistema de geração e transmissão de Furnas, incluindo Usinas Hidrelétricas, parques Eólicos e Subestações; d - Estudos de pré-viabilidade, incluindo a identificação e avaliação dos locais (recurso solar, clima, topografia, geologia, acesso e evacuação de energia/infraestrutura no arredor, questões ambientais, licenciamento e permissões, custos, fase de construção, operação e manutenção (OeM) e análise de riscos); e - Elaboração de inventário dos locais no sistema Furnas mais adequados à instalação de usinas solares fotovoltaicas; f - Elaboração e validação de modelo matemático para

estimar produção anual de energia a partir de instalação fotovoltaica, considerando efeitos de temperatura, vento e tecnologias adotadas; g - Identificar os impactos sociais e ambientais gerados pela instalação de plantas fotovoltaicas, assim como as medidas mitigadoras para cada um dos impactos; h -Elaboração de Projeto Básico e Projeto Executivo de uma planta fotovoltaica experimental de 100 kWp a ser implantada em área de Furnas próxima a Subestação Bandeirantes, em Aparecida de Goiânia - GO, incluindo definição de diferentes tecnologias de geração fotovoltaica, bem como distintos arranjos e topologias de plantas fotovoltaicas a terem o desempenho avaliado na planta experimental, a serem denominados como subsistemas, confecção de projeto técnico detalhado da instalação elétrica, especificação de equipamentos, malha de aterramento, estruturas metálicas, eletrocentro, edificações, acesso e conexão na subestação de Furnas, juntamente com plano de segurança; i - Definição da estratégia de operação da planta experimental, incluindo o levantamento e estimativa dos custos de OeM; j - Elaboração de documentação para ANEEL com intuito de obtenção de Licença de Operação e outorga da planta experimental; k - Monitoração da produção individual de cada subsistema por meio dos inversores e sistemas de monitoração disponíveis; l - Comparação entre subsistemas equivalentes e análise econômica e de viabilidade de cada uma das soluções distintas para a localidade da planta experimental.

- 3) **OBJETIVOS LIGADOS AOS ESTUDOS DE DURABILIDADE E ANÁLISES MICROESTRUTURAIS:** a - Melhor entendimento do comportamento de concretos em condições de ataques químicos deletérios individuais e conjugados e avaliar melhores combinações na dosagem do concreto de forma a aumentar a sua qualidade, desempenho e durabilidade em relação a estes ataques, quando aplicado. b - Avaliação do comportamento de concretos empregados em estruturas de usinas geradoras de energia em relação à susceptibilidade da ocorrência de reações químicas deletérias; c - Programa experimental com submissão de variados concretos (no mínimo três tipos) em condições ambientais que permitam o desencadeamento de reações químicas deletérias conjugadas (RAA e DEF) e individuais, e seu monitoramento ao longo do tempo, aproximadamente 2 anos, por meio das propriedades mecânicas, ensaios não destrutivos (pelo menos ultrassom), variações dimensionais e análises macroscópicas e microestruturais através de diversas técnicas, com vistas a detectar expansões e reflexos deletérios ao concreto e combatê-los. Incluir uma análise estatística de todos os dados; d - Transferência tecnológica dos estudos de durabilidade. Observação 1: Este programa experimental deverá ser desenvolvido nas dependências dos laboratórios da GST.E-FURNAS, sempre que possível, aproveitando as instalações disponíveis, para tanto poderá agregar até dois alunos bolsistas estudantes da área, no mínimo de mestrado, que deverão acompanhar o desenvolvimento da pesquisa, sempre que possível de perto, coletando os dados e os tratando. Observação 2: Destaca-se que este programa experimental, os materiais, a definição das classes de concreto, tipos e formas de ensaio e condições de exposição deverão ser apresentados e ter a anuência da equipe do projeto da empresa envolvida previamente ao início do programa experimental.
- 4) **OBJETIVOS LIGADOS AOS ESTUDOS DE DEGRADABILIDADE DE CONCRETOS:** a - Implementação de método de dosagem de concretos de alta eficiência (i.e. baixo consumo de cimento em concretos de resistência característica entre 20 MPa e 50 MPa) para emprego em estruturas de empreendimentos eólicos e hidroelétricos, através de conceitos de dispersão, empacotamento de partículas e adequação reológica no estado fresco, b - Obtenção de formulações com eficiência superior a $0,15 \text{ MPa} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^3$ (relação entre resistência à compressão e consumo de cimento); c - Programa experimental para treinamento de pessoal, avaliação de equipamentos utilizados ou necessários, seleção e caracterização das matérias-primas do concreto de alta eficiência e avaliação de suas propriedades mecânicas e das ligadas à durabilidade.

Descrição:

A motivação para desenvolvimento desse projeto está relacionada com a necessidade de FURNAS em aprimorar sua capacidade de análise dos sistemas de geração implantados ou em fase de implantação e de não se distanciar do atual estágio de desenvolvimento tecnológico, sob o risco de se tornar defasada quanto às duas possibilidades estratégicas: de atuar com eficiência e de produzir diferenciais. Neste

contexto, o projeto propõe integrar as abordagens de Confiabilidade e Otimização de sistemas, na tentativa de produzir metodologias e ambientes de simulações computacionais balizados pelo estado da arte e dirigidos para atendimentos às expectativas empresariais.

O estudo proposto neste documento representa uma abordagem de vanguarda, na medida em que extrapola o estudo das propriedades dos materiais e avança no estudo do comportamento dos sistemas em uso, permitindo com muito mais segurança prever o desempenho e garantir durabilidade.

Este projeto se destina a prover meios de simulações mais realistas dos sistemas civis de geração de energia. Assim será possível detectar os potenciais e vantagens de cada um dos principais métodos de previsão e simulação, aprimorando a capacidade da empresa tanto para a proposição de soluções para problemas de obras, como para investigar novas possibilidades, oportunidades e diferenciais.

Com o desenvolvimento deste projeto espera-se que Furnas tenha mais capacidade para a previsão dos Fatores de Capacidade dos parques eólicos e parques fotovoltaicos, estimando melhor, inclusive, os custos globais a partir da implantação e avaliação contínua dos planos de manutenção (preventiva, corretiva e preditiva). Nos sistemas hidroelétricos espera-se obter mais capacidade para avaliar os desempenhos de barragens de concreto e de enrocamento, principalmente quanto a aspectos mecânicos e de durabilidade.

No caso específico de estruturas de concreto, o projeto se aplica na avaliação de ocorrência individualizada e conjugada de diversos processos de deterioração, buscando um melhor desempenho e durabilidade das estruturas e aumentando, por conseguinte, a sua vida útil. Com base no exposto, espera-se também economia no âmbito de manutenções preventivas, corretivas e recuperações, quando da utilização das estruturas.

Resultados Esperados:

Assim como descrito no item de objetivos, os resultados destacados nesta Demanda de P&D deverão subsidiar as análises integradas dos objetivos e deverão compor o rol de resultados esperados pelo escopo já definido no Projeto de Pesquisa. A consolidação dos resultados previstos e sua conexão com os planos de manutenção preventiva e preditiva dos empreendimentos de energia elétrica serão coordenados pela equipe técnica de FURNAS.

Abaixo estão apresentados os resultados previstos especificamente relacionados a esta Demanda de P&D:

- 1) **RESULTADOS LIGADOS À MODELAGEM MATEMÁTICA-COMPUTACIONAL DOS SISTEMAS EÓLICOS E HIDROELÉTRICOS:** a - Sistema de ensaio virtual otimizado; b - Formulações para sistema em comportamento dinâmico, não-linear e poro-termo-mecânico com abordagens contínua e discreta; c - Sistema característico eólico modelado; d - Sistema característico hidroelétrico modelado; e - Entrega de formulações, conceitos, códigos e testes computacionais; f - Especificações para previsão de vida-útil de estruturas de concreto; g - Repasse de conceitos, modelos de previsão de vida útil, metodologias de ensaios; h - Especificações de durabilidade dos materiais metálicos utilizados em torres treliçadas e tubulares de sistemas eólicos e de transmissão de energia elétrica.
- 2) **RESULTADOS LIGADOS AOS ESTUDOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS:** a - Relatório de análise da legislação e marcos regulatórios Brasileiros sobre geração solar fotovoltaica (FV) concentrada; b - Especificação técnica de estação solarimétrica para prospecção de potencia solar; c - Guia prático detalhado e ferramentas computacionais para identificar e avaliar locais, elaborar anteprojeto e definir critérios para tomada de decisão de implantação de plantas FV; d - Plano de desenvolvimento sustentável de plantas FV; e - Relatório de impactos sociais e ambientais gerados pela instalação de plantas fotovoltaicas e medidas mitigatórias; f - Projeto Básico e Projeto Executivo de uma planta fotovoltaica experimental de 100 kWp; g - Cálculo da estimativa de energia a ser produzida pela planta experimental; h - Plano de operação e manutenção da planta experimental fotovoltaica; i - Relatório de análise técnica e econômica de cada subsistema

instalado na planta experimental fotovoltaica.

- 3) **RESULTADOS LIGADOS AOS ESTUDOS DE DURABILIDADE E ANÁLISES MICROESTRUTURAIS:** a - Caracterização completa de todos os materiais envolvidos na pesquisa; b - Apresentação de metodologia para avaliação do comportamento de pelo menos três tipos de concreto semelhantes, porém considerando uma condição de referência e no mínimo outras duas condições com variação no material potencial mitigador dos fenômenos deletérios conjugados (RAA e DEF); espera-se que uma das condições a serem testadas possa estar relacionada à inclusão, na dosagem do concreto, de um nanomaterial potencial no combate de fenômenos deletérios; c - Dados das propriedades mecânicas no tempo dos concretos expostos citados (e em pelo menos 8 idades, até 2 anos); d - Dados da velocidade de propagação de ondas no tempo medida nos concretos expostos citados (e em pelo menos 8 idades, até 2 anos); e - Dados da variação dimensional/expansão no tempo determinada em concretos específicos expostos às condições citadas (e em pelo menos 8 idades, até 2 anos); f - Características visuais e microestruturais no tempo e em várias idades - pelo menos 8 idades como na alínea “e” (usando pelo menos as técnicas de difração de raios x, método qualitativo e quantitativo - Rietveld, microscopia eletrônica de varredura com espectrometria por energia dispersiva de raios x e análises térmicas, podendo ser agregadas outras técnicas sofisticadas esclarecedoras dos comportamentos); g - Tratamento de todos dados por meio de estudos estatísticos e correlação dos dados obtidos entre as condições estudadas; h - Indicação de melhores combinações de uso dos materiais testados como sugestão com vistas ao aumento da qualidade e durabilidade do concreto quanto aos potenciais ataques deletérios conjugados (RAA e DEF) e individuais, e mitigação das expansões e/ou deteriorações. i - Capacitação da equipe interna envolvida. Observação 1: Todos estes resultados devem ser obtidos considerando a submissão de uma quantidade suficiente de concretos para cada dosagem testada (no mínimo 3 corpos de prova para cada idade e análise/ensaio) às condições de elevada temperatura (> 38°C e < 50°C) e alta umidade (> 95%), sem imersão. Observação 2: Condição de exposição ao tempo também é de interesse, considerando um envelhecimento natural dos concretos frente a um ataque individual e/ou conjugado e o seu monitoramento no tempo, preservando as amostras após fim de projeto para aproveitamento e continuidade eventual dos estudos posteriormente pela equipe interna solicitante.
- 4) **RESULTADOS LIGADOS AOS ESTUDOS DE DEGRADABILIDADE DE CONCRETOS:** a - Capacitação da força de trabalho de Furnas na metodologia de dosagem de concretos de alta eficiência (i.e. baixo consumo de cimento) para emprego em estruturas de empreendimentos eólicos e hidroelétricos; b - Repasse de especificação técnica para seleção e caracterização das matérias-primas do concreto de alta eficiência; c - Novo método de dosagem a ser utilizado nos empreendimentos de geração, após validação sua experimental; d - Relatório conclusivo sobre avaliação do concreto de alta eficiência em relação às propriedades reológicas, mecânicas e de durabilidade quando comparado ao concreto ordinário.

Prazo para Execução: 24 meses após a assinatura do contrato.