

PROPOSTA (AJUSTE 3) DE PROJETO DE P&D

Desenvolvimento de processos numéricos de alta ordem de convergência e experimentais de baixo custo para o estudo de escoamento de ventos sobre terrenos: estimativa do potencial eólico

1. IDENTIFICAÇÃO DO PROPONENTE E DA FUNDAÇÃO DE APOIO

1.1. PROPONENTE

- 1.1.1. **Tipo:** Instituição de Educação Superior - IES
- 1.1.2. **Razão Social:** Universidade Federal de Goiás
- 1.1.3. **Sigla:** UFG
- 1.1.4. **CNPJ:** 01567601/0001-43

1.2. FUNDAÇÃO DE APOIO

- 1.2.1. **Razão Social:** Fundação de Apoio à Pesquisa - UFG
- 1.2.2. **Sigla:** FUNAPE
- 1.2.3. **CNPJ:** 00.799.205/0001-89

2. PLANO DE TRABALHO

2.1. TÍTULO PROPOSTO PARA O PROJETO

Desenvolvimento de processos numérico de alta ordem de convergência e experimentais de baixo custo para o estudo de escoamento de ventos sobre terrenos: estimativa do potencial eólico

2.2. DESCRIÇÃO DETALHADA DO PROJETO

2.2.1. Segmento

Geração de Energia

2.2.2. Fase de Inovação

Pesquisa Aplicada

2.2.3. Duração (meses)

36 (trinta e seis) meses

2.2.4. Tema, segundo a ANEEL

FA - Fontes alternativas de geração de energia elétrica

2.2.5. Subtema, segundo a ANEEL

FA03 - Novos materiais e equipamentos para geração de energia por fontes alternativas

2.2.6. Descrição do Projeto

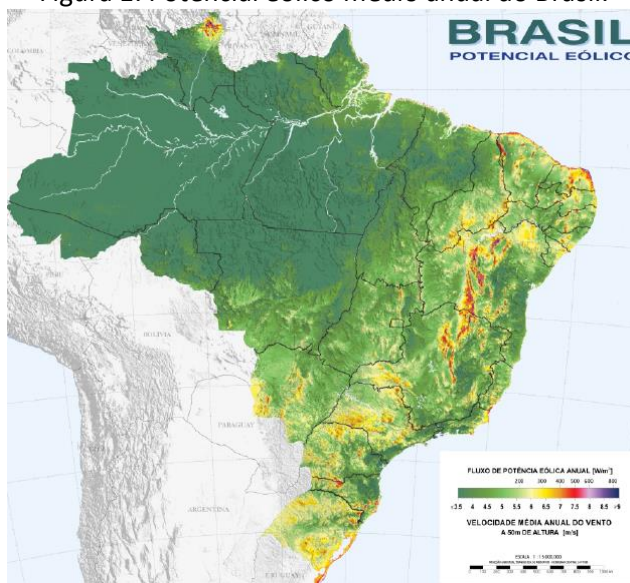
Devido às mudanças climáticas, principalmente, a diminuição do volume de chuvas anuais e consequentemente a seca de grandes reservatórios naturais, a geração de energia elétrica, proveniente de hidroelétricas está comprometida no Brasil. A alternativa mais célere encontrada pelo governo federal e os órgãos brasileiros de gestão de energia para resolver esse problema foi recorrer ao uso de usinas termoeletricas, as quais geram energia elétrica através da queima de combustíveis fósseis, especificamente, derivados de petróleo e carvão.

Por outro lado, recorrer ao uso de termoeletricas, além de outro malefícios, gera um aumento no efeito estufa (VIOLA, et al., 2015) e, como resultados negativos, tem-se o aumento da temperatura global e agrava o problema de redução do volume de chuvas (COIMBRA e TIBÚRCIO, 2006; PFISTER, 2015). Observa-se que, em um futuro próximo, mais usinas termoeletricas terão que ser conectadas ao sistema de energia do país. Logo, para impedir que esse ciclo de aquecimento e destruição do meio ambiente continue, há a necessidade de se investir em energias limpas e renováveis (MELO, JANNUZZI e BAJAY, 2016). Uma das opções mais promissoras é a energia eólica, energia provinda dos ventos, considerada uma fonte de energia limpa e renovável.

A primeira etapa para o uso da energia eólica é conhecer o potencial eólico do local onde se pretende instalar uma turbina ou mesmo um parque eólico, isto é, deve-se prever o potencial de geração de energia elétrica a partir da energia cinética dos ventos - energia eólica. Além disso, o conhecimento do regime de ventos local também é o parâmetro fundamental para determinar quais são as características necessárias das turbinas eólicas que devem ser instaladas naquele terreno.

Para tanto, usa-se como parâmetro as velocidades médias anuais dos ventos a uma altura de 50 m (Figura 1). Kreith e Krumdieck (2013) especifica que velocidades de ventos superiores a 7,4 m/s já são consideradas boas e, de acordo com do Amarante, Zack e de Sá (2001), as velocidades do vento atingem uma média anual maior que 7,5 m/s a uma altura de 50 m, em alguns pontos do Brasil, principalmente em locais litorâneos, como pode ser observado na Figura 1. Dessa forma, o regime de ventos em algumas regiões do Brasil apresenta um bom potencial eólico, o qual pode e deve ser explorado.

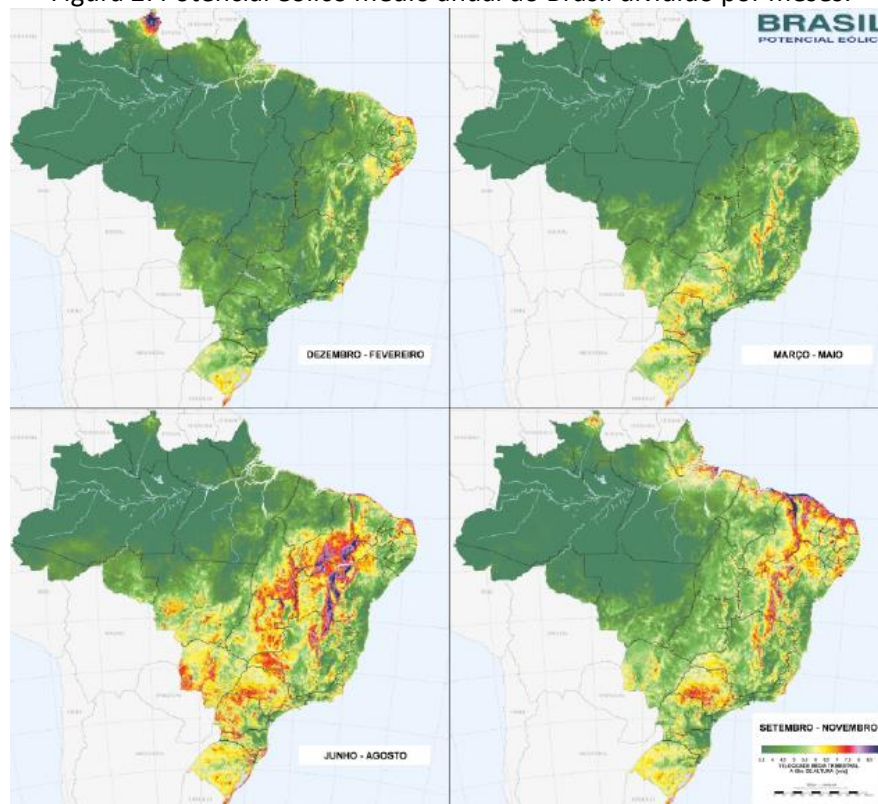
Figura 1: Potencial eólico médio anual do Brasil.



Fonte: do Amarante, Zack e de Sá (2001).

Outro ponto positivo do regime de ventos brasileiro está no fato de haver mais incidência de ventos nos meses de junho a novembro, como apresentado nos mapas de regime de ventos da Figura 2 (do Amarante, Zack e de Sá, 2001), que são exatamente os seis meses com menos chuvas no país. Ou seja, a produção de energia elétrica através da energia eólica poderia complementar a produção vinda das hidroelétricas em, pelo menos, 50% do ano. Como resultado, ter-se-ia menos termoeletricas acionadas.

Figura 2: Potencial eólico médio anual do Brasil dividido por meses.



Fonte: do Amarante, Zack e de Sá (2001).

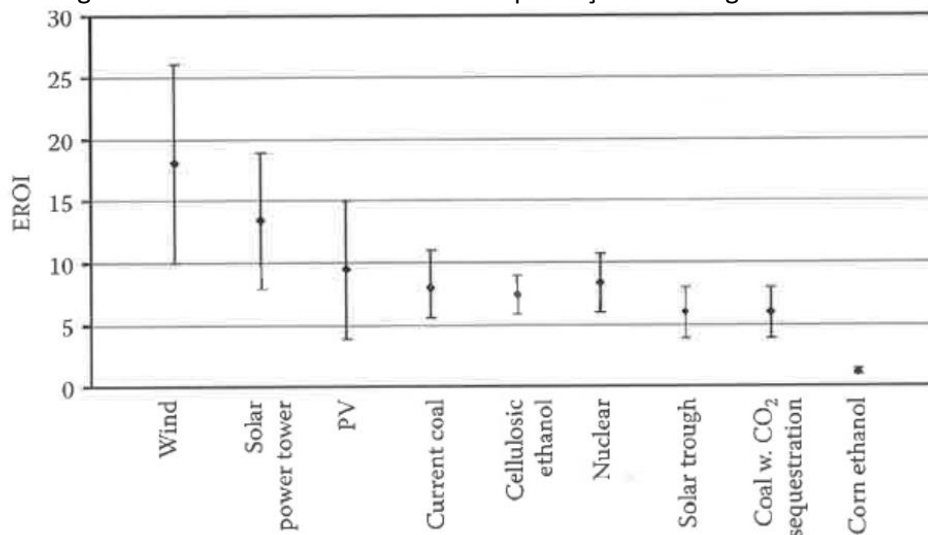
Além disso, para todos os projetos de geração de energia elétrica deve ser levada em conta a Razão de Retorno de Energia por Energia Gasta – “ENERGY RETURN On the Energy INVESTMENT” (EROI), isto é, todos os sistemas de transformação de energia consomem recursos naturais e energia para serem instalados e se manterem. Inicialmente, requerem investimentos financeiros e de recursos naturais, como água e terras, para construírem suas instalações. Depois de construídos, consomem recursos naturais e combustível para gerar eletricidade e extrair os próprios combustíveis, e por fim, durante o seu tempo de vida também há manutenção e substituição de peças e equipamentos.

Logo, contabilizando todas as entradas e saídas de recursos naturais e energia é possível comparar as diferentes usinas de energia com relação ao seu EROI, como apresentado na Figura 3 de Kreith e Krundieck (2013). Observa-se que a energia provinda dos ventos é a que possui o maior EROI médio, ou seja, é a que tem maior razão entre a energia produzida por energia e recursos naturais consumidos ao longo de sua vida útil, comparada com demais fontes de transformação. Portanto, é uma alternativa viável dos pontos de vista econômico, financeiro e, principalmente, ambiental.

Embora seja considerada uma energia limpa, renovável e economicamente viável, a energia eólica apresenta algumas desvantagens com relação a outros tipos de geração de energia. A principal desvantagem está na intermitência dos ventos, o que além de gerar uma inconstância na geração de energia elétrica, provocando baixos índices de continuidade e de qualidade de fornecimento, também

causa fadiga na base estrutural e nas pás das turbinas (HERBERT et al., 2007; FADIGAS, 2011) muitas vezes levando-as ao colapso.

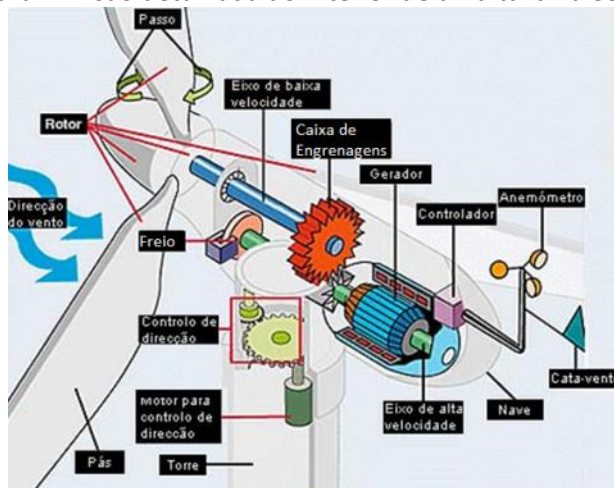
Figura 3: EROI de diferentes fontes de produção de energia elétrica.



Fonte: Kreith e Krumdieck (2013).

Fundamentalmente, turbinas eólicas convertem a energia cinética dos ventos em energia elétrica. Esse processo se inicia quando o vento atinge as pás da turbina. O conjunto de pás de uma turbina é acoplado a um eixo denominado rotor. Então, com a passagem do vento sobre as pás, o rotor começa a girar, e a outra extremidade de seu eixo é acoplada a um conjunto de engrenagens, o qual é conectado em um transformador, o qual converte a energia mecânica da rotação do eixo em energia elétrica, vide Figura 4.

Figura 4: Visão detalhada do interior de uma turbina eólica.



Fonte: < http://www.notapositiva.com/pt/trbestbs/geografia/imagens/10_energia_eolica01.jpg > Acesso em: 26 de outubro de 2016. (Modificado).

Para conseguir uma boa produção de energia elétrica provinda da movimentação de uma turbina eólica, garantindo índices de continuidade e de qualidade de fornecimento de energia aceitáveis para o consumo, é necessário que o rotor consiga manter a sua velocidade de rotação a mais constante possível,

independente do regime de ventos e de quaisquer outras mudanças climáticas ou de demanda de energia elétrica. Além disso, para obter a máxima eficiência, deve-se extrair o máximo de energia cinética do vento naquele instante de tempo em que a turbina está funcionando.

A fim de ter essas duas características de funcionamento, as turbinas eólicas devem ser instaladas em regiões com ventos que tenham velocidades constantes e contínuas por longos períodos de tempo durante o ano, o que é uma característica praticamente impossível em qualquer região do mundo. Porém, sempre é possível posicionar a turbina ou conjunto de turbinas (usina eólica) em regiões com relevos mais adequados e com melhores características com relação ao regime de vento anual. Para tanto, é necessário entender, não somente a movimentação global do vento como apresentado na Figura 1 em proporção conhecida como “meso-escala”, bem como, a movimentação localizada, em “micro-escala”, dos ventos ao redor do terreno onde a turbina será instalada.

As turbinas eólicas também devem ser equipadas com sistemas de controle que permitam mudanças na angulação e passo das pás, para manter a velocidade de rotação constante, mesmo com variação na velocidade do vento e um mecanismo capaz de rotacionar a nacelle (cabine central) para que o rotor possa se direcionar sempre a favor do melhor vento. Por fim, ainda existe o controle no nível elétrico e eletrônico do sistema.

Além desses mecanismos fundamentais para o melhor aproveitamento da energia eólica, também existem turbinas de vários tipos, tamanhos e características, por exemplo, turbinas de eixo vertical e de eixo horizontal, com duas, três, quatro, ou mesmo sem pás, pás com diferentes perfis de aerofólios, perfis aerodinâmicos com funcionamento baseado fundamentalmente na força de arrasto ou através da força de sustentação, os baseados em força de sustentação ainda podem ser classificados em aerofólios com super ou hipersustentação, além de várias outras classificações possíveis.

O tipo e o tamanho de uma turbina eólica, quantidade de pás, perfil aerodinâmico mais apropriado depende principalmente da velocidade do vento no local de sua instalação. Ademais é possível projetar uma turbina específica para uma determinada região, modificando e otimizando os perfis aerodinâmicos, quantidade e tamanho das pás, materiais de fabricação e outros recursos do sistema de controle, ou seja, mesmo em regiões com potencial eólico reduzido, ou seja, velocidades abaixo das usuais, ainda assim, é possível desenvolver uma turbina que seja eficiente na transformação de energia.

Por fim, a estrutura que suporta o rotor e a nacelle de uma turbina eólica, denominada torre eólica, também fica submetida à ação do vento e a dinâmica do escoamento ao seu redor. Nesse caso, diferente do rotor, a força que o vento faz sobre essa estrutura é maléfica, pois causa vibrações mecânicas, conhecidas como vibrações induzidas por vórtices (VIV) (GOVARDHAN e WILLIAMSON, 2001; Singh e Mittal, 2005; Zhao et. al., 2012), as quais geram fadiga estrutural e, por consequência, causam rupturas e falhas catastróficas, normalmente gerando problemas de grandes proporções. Dessa maneira, é importante ter torres bem projetadas, que sejam capazes de suportar o peso dos componentes da turbina eólica e a força produzida pelos ventos sobre sua base estrutural.

Prever o potencial eólico de uma determinada região é uma tarefa importante do ponto de vista financeiro sob dois aspectos, primeiro deve-se investir em terrenos de regiões que tenham melhores regimes de vento ao longo do ano. E, para um dado terreno, a escolha (aquisição) e posicionamento (construção de torres) de uma turbina ou parque eólico dependem fundamentalmente do regime de ventos específicos daquela região.

Além disso, mesmo que em terrenos vistos na proporção de meso-escala não tenha ventos constantes e com potencial eólico médio importante, sabe-se que localmente (micro-escala) existem relevos de geografia específica que favorecem a formação de ventos mais estáveis e aumentam pontualmente o potencial eólico em um determinado terreno.

Além disso, com o desenvolvimento de redes de energia distribuída, já é possível encontrar turbinas eólicas dentro de cidades, por exemplo, sobre prédios e grandes edificações. Nesse novo

conceito, também é possível estudar o regime de ventos próximos a edificações e verificar se é plausível a instalação.

A dinâmica do escoamento de ventos sobre terrenos, turbinas e torres eólicas é caracterizada como problemas de Dinâmica dos Fluidos e é possível de serem analisados, estudados e, muitas vezes, resolvidos através de experimentos em escala e de ferramentas da Dinâmica dos Fluidos Computacional, denominada no inglês de “Computational Fluid Dynamic” (CFD).

Portanto, ter um processo e ferramentas que possam auxiliar na previsão do potencial eólico de uma determinada região influencia diretamente na aquisição correta de terrenos e turbinas eólicas específicas para um dado regime de vento local, além de produzir energia elétrica com boa qualidade, de forma a aumentar os índices de continuidade.

Ao mesmo tempo, conhecido o regime de ventos de uma determinada região em micro-escala, é importante dimensionar as turbinas e seus respectivos sistemas de controle, adequando-os para serem instalados naquele terreno. Esse processo também demanda a pesquisa por ferramentas de dimensionamento de pás de rotores e torres estruturais eólicas.

Nesse ponto, cabe destacar que essa ferramenta pode ser usada de duas formas, uma delas é para a aquisição de turbinas eólicas específicas para uma determinada região, de tal forma a promover um retorno financeiro mais rápido (payback). Outra forma é, após o uso dessas metodologias, desenvolver o projeto de turbinas eólicas específicas para uma determinada região, ou seja, não seria feita a aquisição de turbinas já pré-definidas, mas surge a possibilidade de produzir a própria turbina eólica, a qual será desenvolvida para obter o máximo de eficiência para um determinado terreno ou região, ou seja, mesmo em regiões com potencial eólico baixo, pode-se desenvolver turbinas eficientes para tal região. Uma metodologia (processos e ferramentas) dessa magnitude permite colocar FURNAS e o país em um alto nível tecnológico, gerando uma grande oportunidade de negócios – venda de projetos de turbinas eólicas.

No mais, com ferramentas de simulação muito semelhantes às de dimensionamento das turbinas é possível estudar, prever e minimizar as falhas e quebras de torres eólicas e linhas de transmissão, uma vez que ambos os estudos partem dos fundamentos de Interação Fluido-Estrutura (IFE) (Nguyen et. al., 2012; Nomura, 1994; Lu, 1996). Então, é possível adequar essas ferramentas e processos para estudar e dimensionar as torres eólicas e mecanismos de fixação de linhas de transmissão. Este objetivo visa melhorar, principalmente, a segurança e a qualidade do fornecimento de energia elétrica, não apenas provinda de fontes eólicas, evitando rompimento de linhas de transmissão e queda de torres.

É nesse contexto que a presente proposta visa avaliar a aplicabilidade de um processo numérico-experimental para determinar o potencial eólico de um dado terreno, de forma a contribuir para a indústria de geração, transformação e transmissão de energia.

Especificamente propõem-se três grandes objetivos, diretamente relacionados à Energia Eólica e no âmbito de FURNAS:

- 1) Pesquisar metodologias, numéricas e experimentais, que auxiliem e/ou aprimorem a determinação do potencial eólico de um dado terreno de interesse de FURNAS;
- 2) Pesquisar metodologias, numéricas e experimentais, que auxiliem a caracterização de turbinas eólicas mais eficientes para um dado terreno:
 - a. Desenvolvimentos relacionados à aerodinâmica de pás de rotores.
 - b. Desenvolvimentos relacionados à instalação de torres e linhas de transmissão.
- 3) Transferência tecnológica dessas ferramentas para FURNAS e formação e capacitação do seu RH.

2.2.7. Metodologia

Para alcançar os grandes objetivos apresentados no item 2.2.6 Descrição do Projeto, pretende-se utilizar a seguinte metodologia:

1. Elaboração do levantamento do estado atual da arte das tecnologias existentes para obtenção de potencial eólico, tanto de tecnologias nacionais, quanto internacionais. Especificamente, esse levantamento deve abordar estudos numéricos e experimentais de escoamento de vento sobre terrenos planos e acidentados, regime de ventos (laminar e turbulento) e camada limite atmosférica. Também deve conter material que versa sobre escoamento sobre corpos, tais como corpos rombudos, aerofólios, asas, pás de turbinas eólicas e torres eólicas. Problemas de Interação Fluido-Estrutura e métodos de instrumentação de túnel de vento. Assim, podem ser compreendidas as variáveis que mais influenciam a obtenção do potencial eólico de um dado terreno e a geração de energia elétrica provinda da fonte eólica.
2. A análise técnica do projeto será realizada em dois grandes núcleos, sendo um deles experimental e o outro numérico baseado na Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD).

2.1. Núcleo 1 – Desenvolvidos experimentais

2.1.1. Nesta primeira etapa será desenvolvida a metodologia para a análise técnica experimental a ser efetuada para avaliar as condições operacionais existentes tanto na Universidade Federal de Goiás quanto em FURNAS. Inicialmente, na primeira etapa do projeto, serão realizados testes de calibração e mapeamento dos limites operacionais do Túnel de Vento existente no GST.E/DTEC.E de FURNAS em Aparecida de Goiânia-GO.

Esses testes visam estabelecer os limites operacionais do túnel de vento e dos respectivos equipamentos de medição, tanto em relação aos equipamentos de medição de FURNAS, quanto aos da UFG, além dos equipamentos que serão adquiridos no âmbito da execução do presente projeto.

Basicamente, os ensaios de mapeamento dos limites operacionais consistem em obter, nas seções de teste do túnel de vento existente no GST.E/DTEC.E de FURNAS em Aparecida de Goiânia-GO, perfis de velocidade e pressão para diversas velocidades de rotação do ventilador, com uso de diferentes equipamentos de medição. Entre estes podem ser citados: tubos de Pitot e anemômetros de fio quente, equipamentos da Universidade Federal de Goiás, e também presentes nos laboratórios do GST.E/DTEC.E de FURNAS em Aparecida de Goiânia-GO. Como estes equipamentos têm diferentes faixas de medição, será possível ampliar os limites de utilização e obter resultados sobre potenciais eólicos para uma ampla faixa de velocidades de vento.

Ainda dentro dessa sequência de teste de mapeamento, para fins de medição de velocidade e pressão dos escoamentos necessários para os objetivos da presente demanda, os equipamentos de medição disponíveis tanto na UFG, quanto em FURNAS no GST.E/DTEC.E em Aparecida de Goiânia-GO são suficientes, porém, todos são instrumentos intrusivos, ou seja, influenciam de alguma maneira os resultados experimentais. Para obter medidas de velocidade mais próximas da realidade, propõem-se utilizar a técnica "Particle Image Velocimetry", mais conhecida como PIV.

No entanto, para usar essa técnica é preciso um conjunto de equipamentos de alto custo, os mais simples atingem cifras por volta de R\$ 280.000,00 (80.000 dólares), pois são equipamentos importados. Em termos de originalidade, economia e desenvolvimento de novas tecnologias nacionais, no âmbito da presente proposta, pretende-se adquirir e utilizar um novo conceito de PIV, o de baixo custo, em torno de R\$ 50.000,00, e verificar as potencialidades desse novo equipamento para a predição de velocidades em túnel de vento e, conseqüentemente, estimativas do potencial eólico.

2.1.2. Outra forma de avaliação experimental ocorrerá através de comparações com experimentos bem documentados na literatura da Mecânica dos Fluidos Experimental, a fim de validar as funcionalidades dos túneis de vento e equipamentos de medição existentes no GST.E/DTEC.E de FURNAS em Aparecida de

Goiânia-GO e na UFG, ou seja, serão realizados ensaios de escoamentos sobre corpos com geometrias conhecidas, a fim de aumentar a confiabilidade e segurança nos resultados experimentais.

Basicamente, os ensaios consistem em obter dados referentes às forças de sustentação e arrasto, bem como os campos de pressão e velocidade, nas seções de teste com a presença de geometrias conhecidas, tais como, esferas, cilindros e outras. De posse dos dados experimentais, podem ser feitas comparações qualitativas e, principalmente, quantitativas com os valores de referências bibliográficas (Norberg, 1993, Knisely, 1990).

2.1.3. Realizar validações mais específicas para o campo da aerodinâmica de turbinas eólicas utilizando experimentos de escoamentos sobre modelos de terrenos planos e corpos aerodinâmicos, e.g., aerofólios da série NACA e aerofólios específicos de pás de turbinas eólicas.

Basicamente, os ensaios consistem em utilizar os modelos de protótipos de terrenos planos já existentes no GST.E/DTEC.E de FURNAS em Aparecida de Goiânia-GO e gerar geometrias aerodinâmicas mais complexas, tais como, protótipos de aerofólios da série NACA e os utilizados em pás de turbinas eólicas. Na sequência, passa-se para a fase de fabricação dos modelos de aerofólios, a qual pode ser feita utilizando impressoras 3D, equipamentos existentes na UFG e nos laboratórios de FURNAS no GST.E/DTEC.E de FURNAS em Aparecida de Goiânia-GO ou através de máquina de corte a laser existente na UFG.

Como resultados, espera-se obter os perfis de velocidade e de pressão e obter os valores das forças de sustentação e arrasto, os quais servirão como banco de dados para realizar comparações com os resultados numéricos do Núcleo 2 (análise técnica numérica) do presente projeto.

Nesta etapa de comparações com os métodos numéricos cabe destacar a importância do uso do PIV de baixo custo, já que as medições realizadas com essa técnica são não-intrusivas, permitindo realizar comparações com os resultados dos códigos computacionais desenvolvidos no presente projeto, de forma a obter um controle rigoroso e efetivo das condições de contorno e inicial, de tal forma, que as comparações numéricas e experimentais sejam feitas de forma fiel. Diferentemente, as sondas de Pitot e anemômetro de fio quente, que são equipamentos de medição intrusivos, que modificam os campos de velocidade e pressão dos escoamentos experimentais.

2.1.4. Realizar experimentos de escoamentos sobre protótipos de terrenos de interesse de Furnas.

Basicamente, os ensaios consistem em gerar os terrenos de interesse de FURNAS em escala, fabricá-los utilizando impressora 3D existente nos laboratórios do GST.E/DTEC.E de FURNAS em Aparecida de Goiânia-GO e/ou na UFG.

Como resultado, pretende-se obter os campos de velocidade e pressão experimentais dos escoamentos sobre terrenos de forma a obter dados para estimar o potencial eólico desses terrenos.

2.1.5. Para cada etapa experimental consta o desenvolvimento de instruções de trabalho (IT):

- 1- da calibração e do mapeamento dos limites operacionais dos túneis de vento;
- 2- dos experimentos de escoamento sobre corpos conhecidos;
- 3- dos experimentos de escoamento sobre corpos aerodinâmicos – aerofólios;
- 4- dos experimentos de escoamento sobre terrenos planos e acidentados de interesse de FURNAS.
- 5- para a utilização do PIV de baixo custo e consequentemente a viabilidade econômica do uso deste equipamento no projeto.
- 6- elaboração de estudo concluindo sobre a viabilidade técnica-econômica do novo processo de estimativa do potencial eólico proposto experimentalmente e de sua utilidade na tomada de decisão para aquisição de terrenos de interesse de FURNAS.

2.2. Núcleo 2 – Desenvolvidos numéricos - CFD

Os desenvolvimentos numéricos, baseados na Dinâmica dos Fluidos Computacional, também conhecida em inglês como “Computational Fluid Dynamic” (CFD) pretende estudar escoamentos de ventos sobre terrenos e sobre turbinas eólicas, a fim de obter estimativas do potencial eólico de uma dada região, bem como estimar a eficiência energética e resistência estrutural de uma dada turbina. Para tanto, são propostos o desenvolvimento e adaptação de quatro métodos numéricos em problemas relacionados a geração de Energia Eólica, a saber: Método Pseudoespectral de Fourier (CANUTO et al., 2006 e 2007), Método “Smoothed-Particle Hydrodynamics” (SPH) (VASCO, 2014) e o Método das Diferenças Finitas (MALISKA, 2000; FORTUNA, 2000) para a resolução da dinâmica dos fluidos envolvida no escoamento de ventos e ainda conta com o método dos Elementos Finitos para analisar as deformações e tensões das torres e pás de turbinas eólicas.

A primeira etapa desse núcleo consiste na especificação e aquisição dos equipamentos computacionais de alto desempenho - workstations e um cluster, de forma a ser possível realizar Simulações Numéricas Diretas (DNS) e/ou Simulação de Grandes Escalas (LES), as quais dependem fundamentalmente de dois requisitos: método numérico de alta ordem de convergência, no presente projeto será utilizado o método pseudo-espectral de Fourier, e o segundo requisito são os recursos computacionais de alto desempenho com grande capacidade de memória e velocidade de processamento.

Para atingir os objetivos desse núcleo de pesquisa, a seguinte metodologia é apresentada:

2.2.1. Desenvolver um código numérico com o método das Diferenças Finitas de segunda ordem de convergência numérica. Basicamente o desenvolvimento do código numérico consiste em:

- desenvolver um programa computacional, em Fortran 90, que resolva as equações de Navier-Stokes para escoamentos incompressíveis;
- utilizar a técnica das Soluções Manufaturadas para verificar se a programação das sub-rotinas da primeira etapa foi realizada corretamente;
- validar a física do programa desenvolvido. A terceira etapa consiste na simulação de problemas específicos da Dinâmica dos Fluidos, como por exemplo, simulação de escoamentos sobre placas planas e os resultados dos campos de velocidade e pressão, bem como o desenvolvimento da camada-limite são comparados com outras referências e, especificamente para no presente projeto, é possível, se os limites de velocidade do túnel de vento permitirem, realizar comparações experimentais próprias.

Como resultado, será entregue um programa computacional (software) que usa o método das diferenças finitas para resolver escoamentos sobre terrenos planos, possibilitando a estimativa do potencial eólico com diferentes velocidades de vento.

2.2.2. Adaptar o código bidimensional, já desenvolvido com a metodologia pseudo-espectral de Fourier acoplado ao método da fronteira imersa (WANG, et. al., 2008; MITTAL e IACCARINO, 2005), (IMERSPEC2D) para escoamentos sobre corpos fixos com geometrias conhecidas (MARIANO, 2007, 2011; MARIANO, et. al. 2010; NASCIMENTO, 2016).

Basicamente, as simulações dessa etapa consistem em gerar geometrias conhecidas, já pré-estabelecidas na fase experimental, e promover simulações de escoamentos sobre as mesmas. A fim de validar o programa IMERSPEC2D, comparam-se os resultados de campos de velocidade, pressão e forças de arrasto e sustentação com dados da literatura e, se os limites de velocidade obtidos nos experimentos da seção 2.1.2 no túnel de vento forem compatíveis, também comparam-se os resultados com os dados experimentais.

2.2.3. Adaptar o código bidimensional, já desenvolvido com a metodologia pseudo-espectral de Fourier acoplado ao método da fronteira imersa, (IMERSPEC2D) para escoamentos sobre corpos rígidos e móveis. De modo a desenvolver um método para resolver problemas de Interação Fluido-Estrutura (IFE).

Basicamente as simulações dessa etapa consistem em, a partir dos resultados obtidos na validação do código da etapa 2.2.2., desenvolver um método de movimentação estrutural, a princípio,

utilizando o método de Newton-Euler, para estudar o fenômeno de Vibração Induzida por Vórtices e validar o modelo de IFE.

A segunda parte desta etapa consiste em realizar simulações sobre corpos aerodinâmicos, especificamente, aerofólios com geometrias bem definidas (série NACA) e geometrias específicas para pás de turbinas eólicas e turbinas de eixo vertical (TEV). Obtendo campos de velocidade, pressão e as forças de sustentação e arrasto, de tal forma a prover estimativas do potencial eólico extraído do vento e obter a eficiência energética de uma TEV.

2.2.4. Adaptar o código bidimensional, já desenvolvido com a metodologia pseudo-espectral de Fourier acoplado ao método da fronteira imersa, (IMERSPEC2D) para escoamentos sobre corpos deformáveis. De modo a desenvolver um método para resolver problemas de Interação Fluido-Estrutura (IFE) de alta ordem de convergência numérica.

Basicamente, as simulações dessa etapa consistem em, a partir dos resultados obtidos na validação do código da etapa 2.2.2., desenvolver um método de movimentação e deformação estrutural devido à ação do vento, a princípio, utilizando o método de vigas de Timoshenko, para estudar o fenômeno de Vibração Induzida por Vórtices (VIV) e validar, tanto o modelo de deformação estrutural, quanto o modelo de IFE. Obtendo campos de velocidade, pressão, as forças de sustentação e arrasto, além de deformações e tensões sobre as estruturas, que estão sujeitas ao carregamento do vento. De tal forma a prover estimativas para o projeto da ancoragem estrutural de torres eólicas e de transmissão.

Ainda nessa etapa, outra forma de estudar os problemas de Interação Fluido-Estrutura de corpos deformáveis sujeitos a ação do vento é, a partir dos resultados de forças de sustentação e arrasto obtidas na validação do código da etapa 2.2.2., utiliza-los em conjunto com o software livre, baseado no método de elementos finitos, SALOME-MECA/CODE-ASTER.

A partir dos resultados obtidos com essas duas abordagens de se tratar problemas de IFE, definir qual é a mais indicada para o estudo de estruturas que ficam sujeitas a ação do vento.

Como resultado será entregue um programa computacional (software) que resolve problemas de IFE, o qual estima a eficiência energética de turbinas de eixo vertical e estima a resistência estrutural de uma torre eólica ou de transmissão.

2.2.5. Adaptar o código tridimensional, com paralelização de domínio (Fortran e MPI) já desenvolvido com a metodologia pseudo-espectral de Fourier acoplado ao método da fronteira imersa (IMERSPEC3DP) (MOREIRA, 2007, 2011) e modelagem de turbulência, para estudar escoamentos de ventos sobre terrenos de interesse de FURNAS.

Basicamente, as simulações dessa etapa consistem em definir se é possível realizar uma Simulação Numérica Direta (DNS) ou qual modelo de turbulência da família das Simulações de Grandes Escalas (LES) se adequa melhor ao problema de escoamentos sobre terrenos planos. Cabe destacar que apenas métodos de alta ordem de convergência numérica, aliados com uma quantidade suficiente de recursos computacionais (quantidade de memória e de velocidade de processamento) é que permitem realizar uma DNS e/ou LES. Tais simulações conseguem prever a dinâmica da movimentação de um escoamento atmosférico, permitindo obter o desenvolvimento da camada limite e estimar de forma precisa, acurada e rigorosa os campos de velocidade, pressão e potencial eólico.

Os resultados dessas simulações serão comparados, se os limites de velocidade do túnel de vento permitirem, com os resultados obtidos na etapa experimental de escoamento sobre terrenos planos da seção 2.1.3.

A próxima fase é implementar o método da fronteira imersa para malhas não coincidentes no IMERSPEC3DP e realizar simulações de escoamento sobre um terreno acidentado. De tal forma, a obter valores de campos de velocidade, pressão, perfis velocidades e, principalmente, estimativas de potencial eólico desse terreno, fornecendo resultados para as tomadas de decisão de FURNAS na aquisição de terrenos para implantação de parques eólicos.

Como resultado será entregue um programa computacional (software) que resolve problemas de escoamento sobre terrenos, o qual estima o potencial eólico dessa região.

2.2.6. Adaptar o código “Smoothed Particle Hydrodynamics” (SPH) para simulações sobre corpos com geometrias complexas.

Basicamente, pretende-se adaptar no código SPH, já desenvolvido, sub-rotinas que possibilitem resolver problemas que envolvem escoamento sobre corpos cartesianos. Na sequência, procede-se a validação dessas sub-rotinas comparando os resultados numéricos com os experimentais obtidos no núcleo 1 da presente seção e com os resultados numéricos do método pseudo-espectral de Fourier.

Como resultado, pretende-se entregar um programa computacional (software), que utiliza o método SPH, e resolve escoamentos sobre geometrias complexas.

3. O terceiro pilar da metodologia concentra-se na transferência de tecnologia, onde todas as etapas descritas relacionadas aos desenvolvimentos experimentais em túnel de vento e os códigos numéricos serão repassadas para o RH de FURNAS através de cursos de capacitação e de formação.

Quanto aos cursos de capacitação contemplam o treinamento e uso dos códigos computacionais desenvolvidos e uso adequado do túnel de vento, com material didático de:

- Equações Diferenciais Parciais (EDP);
- Resolução das Equações de Navier-Stokes utilizando o método de Diferenças Finitas;
- Aplicação de condições de contorno aplicando o método da Fronteira Imersa;
- Modelagem da Turbulência.

Deve ser destacado que esse material já foi produzido e apresentado em cursos de capacitação para parte do RH do GST.E/DTEC.E-FURNAS de Aparecida de Goiânia-GO nos anos de 2016 e 2017.

Além desse conjunto didático, também se propõe realizar mais três cursos específicos:

- Aerodinâmica Fundamental e Aplicada a Turbinas Eólicas;
- Técnicas Experimentais de uso de Túnel de Vento;
- Teoria de Interação Fluido-Estrutura.

Quanto aos cursos de formação, o RH de FURNAS tem a oportunidade de participar dos programas de pós-graduação da UFG, respeitando os critérios de seleção de cada programa, destacando o programa de pós-graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária (PPGEAS) onde pesquisadores da presente proposta podem orientá-los no desenvolvimento de um mestrado *stricto sensu* aplicado a desenvolvimentos de tecnologia eólica. Além disso, também pode ser ofertada a oportunidade de desenvolvimento de pós-doutorados, se for do interesse dos colaboradores de FURNAS.

Como resultado espera-se que o RH de FURNAS possa, não somente, utilizar os códigos desenvolvidos ao longo do projeto, como também desenvolver e aprofundar-se no desenvolvimento de métodos numéricos e, com relação aos experimentos, espera-se que ao final dos cursos, sejam capazes de operar os túneis de vento e desenvolver experimentos mais específicos para o aperfeiçoamento da estimativa do potencial eólico e, mais ainda, desenvolver novas tecnologias relacionadas e energia eólica.

2.3. DESCRIÇÃO DO PROJETO PARA SUBMISSÃO À ANEEL

2.3.1. Produto (Resultado) Principal

2.3.1.1. Tipo

CM – Conceito ou Metodologia

SW- Software

2.3.1.2. Descrição do Produto Principal

2.3.1.2.1. Texto Sintético para Submissão à ANEEL

Software com alta acurácia numérica validado experimentalmente em túnel de vento, para ser aplicado na estimativa do potencial eólico a partir de estudos sobre escoamentos de ventos de uma região, a fim de subsidiar a aquisição de terrenos para instalação de parques eólicos de FURNAS.

2.3.1.2.2. Texto Completo

Para fins de contemplar integralmente a demanda 18 do edital 2018-01 do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento de FURNAS são propostos 3 (três) produtos principais a serem entregues até o final do presente projeto, descritos detalhadamente abaixo:

1) Software (programa computacional), de desenvolvimento próprio em Fortran 90, com paralelização de domínio via MPI, o qual utiliza os métodos pseudo-espectral de Fourier e da fronteira imersa, devidamente verificado, validado e avaliado tecnicamente em função da sua possível aplicação comercial no mercado, já que resolve as equações de Navier-Stokes tridimensionais, com alta ordem de convergência e acurácia numérica, com modelagem de turbulência (LES), adaptado para o estudo de escoamento sobre terrenos de interesse de FURNAS, para fins de subsidiar a tomada de decisão para aquisição de terrenos para instalação de torres e parques eólicos.

2) Instruções de trabalho (IT) para o uso do túnel de vento, equipamentos e acessórios de medição, situado no GST.E/DTEC.E-FURNAS em Aparecida de Goiânia-GO, para:

- realizar experimentos de escoamentos sobre placas planas e diferentes modelos de topografia de terrenos de interesse de Furnas para estimar o potencial eólico;

- realizar experimentos de escoamentos sobre diferentes corpos imersos, aerofólios e asas, para o levantamento de análise de desempenho do túnel (calibração e mapeamento dos limites da seção de testes) e análise aerodinâmica de pás de turbinas eólicas.

- determinar e realizar os procedimentos de uso, segurança e manutenção adequados ao túnel de vento do GST.E/DTEC.E-FURNAS em Aparecida de Goiânia-GO.

Os experimentos de escoamentos sobre terrenos, placa plana, aerofólios, asas e corpos aerodinâmicos serão utilizados também para calibrar o software e os modelos numéricos desenvolvidos no item 1.

Além disso, propõe-se realizar uma série de experimentos para mapear os limites de uso, calibrar e manter o túnel de vento instalado no GST.E/DTEC.E-FURNAS em Aparecida de Goiânia-GO, bem como seus equipamentos e acessórios. De tal forma, a prospectar experimentos mais detalhados com relação à aerodinâmica de turbinas eólicas, bem como o estudo de outros fenômenos tais como vibração e rompimento de linhas de transmissão e queda de torres eólicas e de transmissão.

3) Transferência dessas tecnologias para o RH de FURNAS através de cursos de capacitação e formação para o RH de FURNAS. Tais cursos contemplam o treinamento e uso dos códigos computacionais desenvolvidos e uso adequado do túnel de vento, com material didático de Equações Diferenciais Parciais (EDP), Resolução das Equações de Navier-Stokes utilizando o método de Diferenças Finitas, método da Fronteira Imersa e modelagem de Turbulência.

Além desse conjunto didático, também se propõe realizar mais três cursos específicos: Aerodinâmica Fundamental e Aplicada a Turbinas Eólicas, Técnicas Experimentais de uso de Túnel de Vento e Teoria de Interação Fluido-Estrutura.

Ademais, aproveita-se o processo de desenvolvimento do código computacional do item 1 e surge a perspectiva de geração de produtos secundários. Dessa forma, até o fim do projeto espera-se produzir, além dos três (3) produtos principais apresentados anteriormente, também:

- 1) Um software (programa computacional), de desenvolvimento próprio, em Fortran 90, utilizando os métodos pseudo-espectral de Fourier e da Fronteira Imersa que resolve problemas de escoamento sobre corpos imersos rígidos e deformáveis com Interação Fluido-Estrutura (“two-way”) com alta ordem de convergência e acurácia adaptado para o estudo de escoamento sobre rotores de turbinas eólicas verticais (eficiência de turbinas), torres eólicas e de transmissão (resistência estrutural, reações de apoio e tensões de deformação).
- 2) Um programa computacional utilizando o software livre SALOME-MECA/CODE-ASTER em conjunto com o programa computacional do item 1 para o estudo de reações de apoio, tensões de deformação, deslocamentos de torres eólicas.
- 3) Um software (programa computacional), de desenvolvimento próprio, em Fortran 90, utilizando os métodos das Diferenças Finitas e da Fronteira Imersa, que resolva as equações de Navier-Stokes verificado e preparado para ser implementado em problemas relacionados com a estimativa do potencial eólico;
- 4) Um software (programa computacional), de desenvolvimento próprio e em linguagem C, utilizando o método SPH para resolver problemas de escoamento entorno de objetos de geometrias complexa.
- 5) Análise técnica da viabilidade do uso do PIV de baixo custo e geração da respectiva Instrução de Trabalho;

Por fim, como produtos acadêmico-científicos, espera-se produzir ao longo do desenvolvimento do presente projeto, no mínimo:

- 3 (três) artigos publicados em periódicos indexados com Qualis;
- 6 (seis) artigos publicados em anais de eventos científicos;
- 6 (seis) orientações de mestrado, bem como suas 6 (seis) respectivas dissertações, podendo ser fornecidas para o RH de FURNAS, condicionado a aprovação nos processos seletivos dos programas de pós-graduação da Universidade Federal de Goiás (UFG);
- 12 (doze) orientações de iniciação científica ou Projetos Finais de Curso.
- 1 (um) livro abordando o conteúdo do projeto.

Para cada um dos softwares (programas computacionais) desenvolvidos, pretende-se requisitar o registro de programa de computador e, caso FURNAS tenha interesse, pode negociar os direitos de propriedade intelectual (PI) com a UFG.

2.3.2. Motivação

2.3.2.1. Texto Sintético para Submissão à ANEEL (máximo de 1.000 caracteres incluindo os espaços em branco)

A busca constante por redução do impacto ambiental e a crescente legislação que versa a respeito da diminuição de geração de energia a partir de combustíveis fósseis é a principal motivação da presente proposta, pois ela visa contribuir para o mercado de geração de energia eólica. Tendo como objetivo fundamental desenvolver processos (numérico e experimentais) para a estimativa de potencial eólico a partir do estudo do escoamento de ventos sobre um dado terreno.

Com esses processos, pretende-se não apenas prover FURNAS de ferramentas capazes de auxiliar na aquisição de terrenos e instalação de aerogeradores, aumentando a competitividade da empresa

frente ao mercado eólico nacional e internacional, mas também capacitar e formar RH específico para desenvolver tecnologia relacionada à geração de energia eólica.

2.3.2.2. Texto Completo (se necessário e sem limite de caracteres)

Conforme dados divulgados pela ANEEL, nas últimas décadas, o Brasil enfrentou três crises no setor elétrico que culminaram em racionamento de energia, ressalta-se em especial a maior delas que ocorreu em junho de 2001 a fevereiro de 2002 (ANEEL, 2007) e a seca de 2014 que comprometeu o abastecimento energético e hídrico do país, cada situação trouxe lições e mostrou possíveis caminhos, para amenizar as ameaças de desabastecimento energético.

Além disso, o efeito estufa e, conseqüente, aquecimento global e a consciência socioambiental da população estão norteando a criação de resoluções e leis que reduzem, ou mesmo proíbem, o uso de tecnologias de geração de energia providas de combustíveis fósseis e incentivam a geração de energia limpa e renovável. Dessa forma, companhias elétricas do mundo todo estão motivadas a investir em fontes geradoras de energia limpa e renovável.

Motivada por este contexto socioambiental e pelas lições adquiridas com as crises no abastecimento elétrico brasileiro, esta proposta visa contribuir de forma efetiva no mercado de geração de energia eólica brasileiro, a qual é uma fonte de energia renovável e limpa para ser utilizada no Brasil de maneira eficiente.

A presente proposta busca desenvolver softwares baseados em métodos numéricos de alta acurácia e calibrados com procedimentos experimentais específicos, que serão incorporados à FURNAS de forma a prover legitimidade e economia no momento de aquisição de terrenos e instalação de aerogeradores nos locais adquiridos.

A possibilidade de desenvolver métodos numéricos e calibrá-los junto a procedimentos experimentais específicos é um aspecto motivacional importante para as pesquisas em Dinâmica dos Fluidos, dado que é possível obter um controle elevado das condições de contorno e inicial de ambas as metodologias. Com esse controle é possível gerar confiança e credibilidade nas simulações estabelecendo parâmetros numéricos e computacionais importantes para subsidiar novos projetos de turbinas e torres eólicas, além de contribuir para o projeto de sustentação fixação de linhas de transmissão.

Cabe destacar que a formação de mão-de-obra qualificada através dos cursos que serão ministrados ou, até mesmo, da formação dos colaboradores de FURNAS em cursos de pós-graduação e desenvolvimento de pós-doutorados, respeitando os critérios dos processos seletivos de cada programa de pós-graduação da UFG, motiva os colaboradores em uma área importante de desenvolvimento tecnológico, onde poucos países detém tal conhecimento.

Produzir ferramentas numéricas bem fundamentadas e que sejam aplicadas aos problemas diretamente relacionados à geração e transmissão de energia eólica eleva o patamar de FURNAS para o gerenciamento das tomadas de decisões técnicas e mercadológicas relacionadas à energia eólica.

Portanto, os seguintes fatores resumem a motivação da proposta em questão:

1- Contribuir para a geração de energia elétrica de qualidade provinda da Energia Eólica – fonte limpa e renovável de energia, reduzindo o impacto ambiental e as tarifas relacionadas a geração de energia termoeletrica;

2- Disponibilizar para FURNAS ferramentas numéricas e procedimentos experimentais para aplicação direta de escoamento de ventos sobre terrenos provendo legitimidade e economia na aquisição

de terrenos e instalação de aerogeradores. Espera-se aumentar a competitividade da empresa frente ao mercado eólico nacional e internacional;

3- Capacitar técnica e cientificamente o RH de FURNAS para estudos relacionados à energia eólica.

2.3.3. Originalidade

2.3.3.1. Texto Sintético para Submissão à ANEEL (máximo de 2.000 caracteres, incluindo os espaços em branco).

Observa-se que, até o momento, o MPEF juntamente com o método LES foi utilizado apenas para estudar escoamentos cisalhantes livres (Jatos e Camadas de Mistura), na presente proposta aparece a oportunidade de aplicá-lo em escoamentos com desenvolvimento de camada-limite (escoamento de ventos sobre terrenos). Destacando-se como a principal originalidade da proposta.

Ao produzir um software, com paralelização de domínio (MPI - paralelo), que utiliza o Método Pseudo-Espectral de Fourier (MPEF) para resolver as Equações de Navier-Stokes, juntamente, com a metodologia da Simulação de Grandes Escalas (LES), ou mesmo utilizar MPEF para realizar uma Simulação Numérica Direta (DNS), diminui-se consideravelmente o tempo computacional envolvido nas simulações de escoamentos turbulentos, quando comparadas com simulações realizadas por outros métodos e softwares comerciais, e resultados mais realistas são obtidos. Quanto a paralelização de domínio visa adequar a quantidade de memória RAM necessária às simulações possibilitando o uso do software de forma prática e eficiente.

Quanto ao método experimental, o túnel de vento é um dos equipamentos mais utilizados no mundo para determinação de parâmetros de projeto relacionados à Dinâmica dos Fluidos, dentro da presente proposta espera-se utilizá-lo para dois propósitos, validar resultados dos códigos computacionais e, de forma original, juntamente com ferramentas de prototipagem tridimensional, propor uma metodologia para estudar o potencial eólico de uma determinada região. Destacam-se os testes do PIV de baixo custo, que caso sejam viáveis, pode se tornar uma ferramenta importante para realizar comparações numéricas e experimentais de forma econômica, comparadas com outras técnicas experimentais.

Portanto, contribui-se de forma significativa e original para prover FURNAS de ferramentas (métodos experimentais e softwares) para a tomada de decisão na aquisição de terrenos com vistas ao desenvolvimento da geração de energia eólica.

2.3.3.2. Texto Completo

Para contribuir de forma original e efetiva com os desenvolvimentos relacionados à energia eólica, propõem-se utilizar, dentro da Dinâmica dos Fluidos Computacional, três métodos distintos para estudar o comportamento dos ventos e potencial eólico em terrenos de interesse de FURNAS, na determinação da aerodinâmica de rotores e na dinâmica de vibrações das torres eólicas:

Método das Diferenças Finitas (MDF), por ser o mais fundamental dentre as abordagens a serem utilizadas, apresenta um maior número de informações e trabalhos publicados a seu respeito, sendo que as características desse método são bem conhecidas dentro da comunidade científica e mesmo na industrial, desta forma espera-se desenvolver um código computacional robusto o suficiente para ser usado como ferramenta de referência para calibrar os resultados com outros métodos numéricos.

Método Pseudo-espectral de Fourier acoplado com o método da Fronteira Imersa (IMERSPEC), método desenvolvido para obter alta ordem de convergência numérica e resolver problemas de interação fluido-estrutura, escoamentos turbulentos e escoamentos bifásicos. A aplicação desse método sobre superfícies esbeltas como os aerofólios das turbinas eólicas e aplicação sobre estruturas que se movimentam tanto das pás como das estruturas das torres eólicas pode ser considerada uma das principais originalidades da presente proposta.

Método SPH, que é um método criado no final da década de 70 e não possui malha. Esta vantagem torna o SPH ideal para resolver problemas de geometrias complexas, como o escoamento sobre objetos, problemas envolvendo escoamento em superfície livre, entre outros. Especificamente em relação ao tema energia eólica, o método SPH pode fornecer resultados para validação de outros métodos (como o Pseudo-espectral de Fourier ou o de Diferenças Finitas), além de poder ser adaptado para outros tipos de problemas.

Quando se trata de métodos numéricos aplicados na solução de um determinado problema existem diferentes softwares comerciais que podem realizar tal tarefa, porém, para o problema da presente demanda – estudar o escoamento de ventos sobre terrenos, poucos softwares estão preparados para apresentar uma solução a contento. Haja vista, que o fenômeno físico mais fundamental relacionado a esse problema é o desenvolvimento da camada-limite turbulenta.

Nesse ponto, aparecem vários modos de se abordar o escoamento turbulento, sendo que os mais empregados são os modelos clássicos, que utilizam a decomposição das equações de Navier-Stokes e os modelos de fechamento a zero, uma ou duas equações e usam as Equações Médias de Reynolds (RANS).

Essa abordagem permite obter como resultados apenas os campos médios das variáveis de interesse e perde-se a informação instantânea de variação das propriedades a serem analisadas. De tal forma, que normalmente, as análises obtidas a partir desses modelos ou subestimam ou superestimam os campos de velocidade e pressão que devem ser analisados. A abordagem que utiliza as Equações Médias de Reynolds (K-épsilon, K-ômega, SST e outras) se justifica pelo baixo custo computacional comparado com as demais formas de simular escoamentos turbulentos.

Por outro lado, para obter resultados mais próximos da realidade, desenvolveu-se mais recentemente, os modelos de Simulação de Grandes Escalas, ou modelos LES, os quais conseguem simular grande parte do espectro de escalas do escoamento turbulento, sendo que apenas as pequenas escalas são modeladas. Dessa forma, obtêm-se resultados com variações instantâneas de velocidade e pressão, sendo muito mais próximos da realidade física.

E ainda é possível realizar Simulações Numéricas Diretas (DNS), onde todas as escalas do escoamento turbulento são resolvidas. Obtendo resultados extremamente próximos de experimentos e medições físicas reais. A desvantagem dos métodos LES e DNS está no custo computacional envolvido, pois simulações, que utilizam esses métodos levam tempo e necessitam de quantidade de memória RAM elevadas, em média, uma ou duas ordens maiores que simulações similares utilizando RANS.

Exatamente nesse ponto, deve-se destacar a originalidade da presente proposta, pois ao sugerir o uso do método pseudo-espectral de Fourier (MPEF) para estudar escoamentos sobre terrenos destaca-se o baixo custo computacional comparado com os demais métodos numéricos, por exemplo, método dos volumes finitos ou elementos finitos.

Esse baixo custo computacional vem de duas características inerentes ao desenvolvimento do método aplicado as Equações de Navier-Stokes, a primeira é que o MPEF não necessita resolver o campo

de pressão ao longo de todos os passos de tempo, se livrando da necessidade de resolução de sistemas lineares relacionados à solução da equação de Poisson. A segunda característica é o uso da Transformada Rápida de Fourier (FFT) para a solução das Equações de Navier-Stokes, a FFT apresenta um custo computacional da ordem de $O(N \cdot \log N)$, onde N é número de pontos da malha, enquanto outros métodos que usam transformações de domínio, ou mesmo resolvem sistemas lineares, obtêm ordem de tempo computacional de $O(N^2)$.

Logo, ao utilizar o MPEF para resolver as Equações de Navier-Stokes, juntamente, com a metodologia LES para resolver a parte do escoamento turbulento, ou mesmo utilizar MPEF para realizar uma simulação DNS, diminui-se consideravelmente o tempo computacional envolvido nessas simulações, quando comparadas a demais métodos, e obtêm resultados instantâneos mais realistas quando se resolve escoamentos turbulentos com métodos RANS. Além disso, para se adequar a quantidade de memória RAM necessária a essas simulações o programa computacional será desenvolvido para ser utilizado em processamento paralelo (MPI) com partição do domínio de cálculo. Possibilitando o uso de forma prática e eficiente.

Cabe destacar, que até o momento, o MPEF juntamente com o método LES foi utilizado apenas para estudar escoamentos cisalhantes livres (Jatos e Camadas de Mistura), na presente proposta aparece a oportunidade de aplicá-lo em escoamentos com desenvolvimento de camada-limite. O que pode ser considerado mais uma originalidade da presente proposta.

Método experimental, o túnel de vento é um dos equipamentos mais utilizados no mundo para determinação de parâmetros de projeto relacionados à Dinâmica dos Fluidos, dentro da presente proposta espera-se utilizá-lo para dois propósitos, validar resultados dos códigos computacionais desenvolvidos e, de forma original, juntamente com ferramentas de prototipagem tridimensional, propor uma metodologia específica para estudar o potencial eólico de uma determinada região.

Com relação aos métodos experimentais, propõem-se capacitar os recursos humanos de FURNAS para realizar os experimentos necessários disponibilizando instruções de trabalho (IT) e curso de capacitação teórico em aerodinâmica e experimental em túnel de vento.

Por fim, ressalta-se que a originalidade da presente proposta está no desenvolvimento de ferramentas computacionais altamente sofisticadas do ponto de vista computacional, as quais apresentam resultados acurados e com alta ordem de convergência numérica, aplicadas diretamente a problemas relacionados à geração, transmissão e manutenção de energia eólica, aliadas a ferramentas clássicas, MDF e análise experimental com uso do túnel de vento.

Com esse conjunto de ferramentas espera-se obter resultados bem fundamentados, consistentes e confiáveis para estudar o escoamento de vento e estimar o potencial eólico de um terreno, posicionar e desenvolver torres eólicas mais seguras e desenvolver turbinas eólicas aerodinamicamente mais eficientes. Sem que, FURNAS tenha a necessidade de dispendir recursos frequentemente, para adquirir e manter licenças de fornecedores de softwares comerciais e, mais que isso, como também é prerrogativa da presente proposta, o RH de FURNAS será treinado para manusear, aplicar e continuar os desenvolvidos nos softwares gerados ao longo do presente projeto.

2.3.4. Aplicabilidade

2.3.4.1. Texto Sintético para Submissão à ANEEL (máximo de 1.000 caracteres, incluindo os espaços em branco)

A aplicabilidade dos resultados deste projeto poderá ser imediata e o benefício deverá ser para todo o setor de geração de energia eólica e de gerência para determinar investimentos em terrenos para instalação de parques eólicos. Especificamente, as ferramentas numéricas e a metodologia experimental que serão desenvolvidas no presente projeto devem ser aplicadas para:

- Estimar o potencial eólico de uma região ou terreno específicos, para fins de investimento (aquisição) ou dimensionamento e posicionamento de turbinas eólicas ao longo de uma região já adquirida;
- Dimensionar turbinas eólicas específicas para serem usadas em uma determinada região, de forma a ter uma turbina eficiente e que possa obter uma melhor qualidade de energia elétrica fornecida (melhores fatores de carga e índices de continuidade).
- Estudar o comportamento mecânico vibracional de torres eólicas, minimizando riscos de falha ou interrupção de transmissão de energia.

2.3.4.2. Texto Completo (se necessário e sem limite de caracteres)

A aplicabilidade dos resultados deste projeto poderá ser imediata e o benefício deverá ser para todo o setor de geração de energia eólica e de gerência para determinar investimentos em terrenos para instalação de parques eólicos. Especificamente, as ferramentas numéricas e a metodologia experimental que serão desenvolvidas no presente projeto devem ser aplicadas para:

- Estimar o potencial eólico de uma região ou terreno específico, para fins de investimento (aquisição) ou dimensionamento e posicionamento de turbinas eólicas ao longo de uma região já adquirida;
- Dimensionar turbinas eólicas específicas para serem usadas em uma determinada região, de forma a ter uma turbina eficiente e que possa obter uma melhor qualidade de energia elétrica fornecida (melhores fatores de carga e índices de continuidade).
- Estudar o comportamento mecânico vibracional de torres eólicas, minimizando riscos de falha ou interrupção de transmissão de energia;

Ao prever o escoamento de ventos sobre uma determinada região em micro-escala, podem-se observar locais específicos dentro dessa região onde se têm ventos com maiores velocidades médias. Com isso, podem-se especificar as melhores posições para se instalar as turbinas eólicas e, além disso, pode-se dimensionar, com maior rigor estrutural e aerodinâmico, turbinas para esses locais.

Além dessas aplicações específicas destacadas anteriormente, os softwares (programas computacionais) desenvolvidos ao longo do presente projeto também podem ser utilizados para subsidiar estudos em outras áreas, tais como:

- Especificar a melhor posição de instalação de turbinas eólicas em uma determinada região ou terreno;
- Estudar o comportamento mecânico vibracional de linhas de transmissão;
- Estudar o comportamento mecânico vibracional de comportas e vertedouros;
- O estudo do comportamento do vento em diferentes locais e terrenos pode ser usado para dimensionar de maneira eficiente e mais confiável diferentes estruturas civis, como prédios, pontes, silos de armazenamento de grãos, caldeiras instaladas em zonas agrícolas e quaisquer outras construções que estejam submetidas a cargas de vento.

Deve ser observado que em projetos de estruturas civis normalmente é levada em conta apenas a carga estática média produzida pelo vento. A metodologia a ser estudada no presente projeto é fundamentada na dinâmica dos escoamentos de fluidos interagindo instantaneamente com a dinâmica do

movimento estrutural, dessa forma, fenômenos conhecidos, como por exemplo vibração induzida por vórtices e turbulência, podem ser previstos de maneira mais fiel com relação à realidade.

- A previsão do comportamento do regime de ventos pode auxiliar, de forma geral, em outras áreas como, por exemplo, na meteorologia, agricultura e pesca.

Além dessas aplicações, os métodos numéricos que estão sendo apresentados para serem utilizados no presente projeto, *i.e.*, método Pseudo-espectral de Fourier e SPH, foram e estão sendo aplicados com relativo sucesso na solução de diferentes problemas das indústrias de produção e extração de petróleo, aeronáutica e construção, a aplicação na indústria de transformação e transmissão de energia amplia a aplicabilidade dessas ferramentas.

Por fim, a área educacional será contemplada uma vez que todo o conteúdo dessas ferramentas desenvolvidas, computacional e experimental, será apresentado através de cursos de capacitação e formação para os recursos humanos, principalmente de FURNAS envolvidos no projeto e em aulas de disciplinas da Universidade Federal de Goiás. Especificamente, podem ser citadas as seguintes disciplinas da graduação: “Energias Renováveis”, “Energia Eólica”, “Fundamentos de Aeronáutica”, “Aerodinâmica” e “Mecânica dos Fluidos”. Desta forma, com a aproximação dos estudantes de graduação de problemas de engenharia, espera-se a melhoria na qualidade da formação de engenheiros civis, ambientais, mecânicos e eletricitistas do estado de Goiás e já os preparando para atuarem nessa área.

Quanto à pesquisa, os estudantes de pós-graduação serão contemplados com uma linha de pesquisa enriquecedora e multidisciplinar, tendo novos e importantes temas de dissertação, doutorado e pós-doutorado.

2.3.5. Relevância

2.3.5.1. Texto Sintético para Submissão à ANEEL (máximo de 1.000 caracteres, incluindo os espaços em branco)

Podem-se esperar, observando a prospecção de áreas potenciais para implantação de parques eólicos e a concepção de projetos de torres eólicas visando a geração de energia elétrica, em relação aos impactos econômicos previstos alinhados ao projeto em tela:

- Estabelecer, através de ensaios experimentais e numéricos, áreas estratégicas potenciais (parques eólicos), de modo a ampliar a capacidade energética nacional;
- A implementação do projeto em questão poderá impactar o mercado de energia elétrica, uma vez que o fornecimento de energia eólica, através de parques eólicos, pode reduzir o custo de energia gerada ou garantida.

2.3.5.2. Texto Completo (se necessário e sem limite de caracteres)

Os reservatórios dos lagos de barragens, responsáveis por mais de 70% de toda a energia elétrica nacional, sofrem a diminuição de seu volume útil, através do assoreamento. Este mecanismo complexo impulsionou o estudo do transporte de sedimentos no Brasil, desde meados da década de 50. No entanto, por ser um fenômeno extremamente complexo, muitas estimativas de vida útil de reservatórios de barragens levam em consideração estudos empíricos, muitas vezes baseado na experiência de pesquisadores e engenheiros que trabalham neste ramo.

Além disso, depender de usinas hidrelétricas torna a geração de energia elétrica um problema estocástico, tendo em vista a regularidade do regime de precipitação em todo o Brasil. Previsões em longo prazo são, no mínimo, incertas.

Somam-se aos fatos citados os impactos socioambientais associados à construção de uma usina hidrelétrica. Um empreendimento de tal monta gera impactos diretos, como a inundação de áreas férteis, e indiretos, como a mudança no regime de escoamento e transporte de sedimentos pelo canal principal. Certamente novas regiões a jusante da barragem serão erodidas, tendo em vista a interrupção no transporte de sedimentos.

Sendo assim, de forma a diversificar a matriz energética e investir em formas de energia ambientalmente sustentáveis, renováveis e limpas, propõe-se avaliar a aplicabilidade da energia eólica como fonte de energia. Neste sentido, a geração de energia eólica segue princípios fundamentais que podem ser previstos e equacionados, diferentemente daqueles observados em reservatórios de barragens (assoreamento, por exemplo). Em outras palavras, pode-se enxergar a geração de energia elétrica em uma turbina eólica como um problema de fluidodinâmica, onde um fluido (ar), ao passar pelas pás de uma turbina, faz com que elas se movimentem. A energia necessária para adquirir tal movimento é, posteriormente, convertida em energia elétrica. Embora tal problema também seja complexo, tendo em vista as características turbulentas do escoamento, a interação entre o escoamento e as pás da turbina, a possibilidade de deformação das pás tendo em vista suas dimensões (flexão, torção, etc.), ainda sim há a possibilidade de previsão. Esta previsibilidade auxiliará no entendimento do fenômeno em si, fornecendo insumos para:

- obtenção de tecnologia própria, sem importar equipamentos e soluções que muitas vezes não funcionam ou não são otimizadas em um panorama regional (Brasil);
- estabelecimento do potencial eólico de uma região, avaliando viabilidade econômica para sua implantação;
- projeto otimizado das pás das turbinas, tanto em termos de dimensões quanto forma, inclinação;
- posicionamento das diversas torres em um determinado parque eólico;
- formação de recursos humanos.

2.3.6. Viabilidade Econômica

2.3.6.1. Texto Sintético para Submissão à ANEEL (máximo de 1.000 caracteres, incluindo os espaços em branco)

O equacionamento do potencial eólico prevê que a variação de velocidade do vento produz uma variação cúbica no potencial eólico. Então, supondo que a velocidade do vento seja prevista com 10% de precisão, ou seja, $V = V_v \pm 10\%$. Chega-se a variações de 30% no potencial eólico, isto é, se um terreno tem potencial eólico de 100,0 MW (parque eólico de médio porte) haverá uma diferença de 30,0 MW.

Considerando a tarifa de energia eólica de R\$ 168,17/MWh, ao longo de um ano (8760 h) pode ocorrer uma perda de R\$ 44.195.076,00. De forma que o investimento no presente projeto passa a ter um valor irrisório no montante total dos resultados previstos.

Destaca-se é a proximidade da proponente, UFG, em relação à FURNAS de Aparecida de Goiânia, o que viabiliza o uso em comum de equipamentos de laboratório de ambos os lados, permitindo contato direto dos colaboradores da empresa com os desenvolvimentos descritos na presente proposta, facilitando de sobremaneira a transferência de tecnologia.

2.3.6.2. Texto Completo (se necessário e sem limite de caracteres)

A viabilidade econômica parte do pressuposto que o desenvolvimento de ferramentas e processos que permitam obter projetos de geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis e limpas é importante do ponto de vista ambiental e social, uma vez que, muitos países passaram a investir nessa forma de aproveitamento de energia, preocupados, sobretudo, com o efeito estufa e os problemas inerentemente ligados à energia nuclear. Governos de vários países estão aprovando leis mais severas com relação ao uso de combustíveis fósseis e nucleares, o que inviabilizará a produção de energia elétrica através de usinas termoeletricas e nucleares, portanto, investir em fontes alternativas e energia passa a ser obrigatório.

Especificamente quanto a viabilidade econômica é fundamental compreender a importância do potencial eólico de uma determinada região, o qual pode ser calculado por:

$$\frac{P}{A} = \frac{\rho \cdot V_v^3}{2},$$

onde P é a potência eólica fornecida pelo vento local em [W], A é a área frontal da turbina eólica em [m²], ou seja, a relação P/A apresenta a potência fornecida pelo vento para uma turbina eólica de área A em [W/m²], ρ é a massa específica do ar atmosférico em [kg/m³] e V_v é a velocidade do vento imediatamente antes de atingir as pás da turbina eólica em [m/s].

Observando a equação de potencial eólico, nota-se a influência expressiva da velocidade do vento, a qual produz uma variação cúbica no potencial eólico. Para fins de quantificar a importância dessa variável, supor que a velocidade do vento seja prevista com 10% de precisão, ou seja, $V = V_v \pm 10\%$. Calculando a potência fornecida pelo vento, chega-se a variações de, aproximadamente 30,0% de variação da potência eólica por metro quadrado de área de turbina.

Dessa forma, se em um terreno, for previsto que a sua potência eólica é de 100,0 MW (relativo a um parque eólico de médio porte) haverá diferença média de, aproximadamente, 30,0 MW. Em termos financeiros, considerando a tarifa de energia eólica como o preço de referência do Leilão A-4 da ANEEL de abril de 2018 de R\$ 168,17/MWh, ao longo de um ano (8760 h) pode ocorrer uma perda de R\$ 44.195.076,00.

Além disso, ao realizar uma estimativa errônea da velocidade dos ventos em um determinado local, haverá queda de rendimento da turbina eólica, pois é dimensionada para uma determinada velocidade de vento e utilizada, na prática, em condições diferentes. Ao longo de um ano, os valores financeiros perdidos são muito significativos.

O exemplo de variação de 10% na estimativa da velocidade do vento pode ser considerado um valor pequeno, já que a maior parte das estimativas de potencial eólico no país é feita baseada no Atlas Eólico Brasileiro (AEB) publicado em 2001. O AEB foi produzido para gerar resultados em meso-escala, ou seja, a partir de dados de velocidade de ventos espaçados em grandes regiões, simulações de elementos finitos obtendo os valores intermediários entre dois pontos de medição do vento com resolução máxima de 1,0 km. Variações orográficas em terrenos com valores menores que 1,0 km não são previstas e a velocidade apresentada no AEB fica comprometida. Deste ponto de vista, o investimento no presente projeto passa a ter um valor irrisório no montante total dos resultados que ele pode obter, já que o objetivo principal é obter um processo de estimativa de potencial eólico mais preciso.

Um ponto a ser destacado na presente proposta é a proximidade da proponente, UFG, em relação aos laboratórios de FURNAS no GST.E/DTEC.E em Aparecida de Goiânia-GO, o que viabiliza o uso em comum de equipamentos de laboratório de ambos os lados, minimizando os custos de aquisição de novo equipamentos. E, mais que isso, permite um contato direto dos colaboradores da empresa com as

práticas laboratoriais descritas na presente proposta, facilitando de sobremaneira a transferência dessa tecnologia para o RH de FURNAS.

Portanto, capacitar o RH, desenvolver ferramentas e processos diretamente ligados à energia eólica coloca FURNAS em uma posição estratégica importante no cenário mundial, uma vez que, os detentores de tecnologia passam a ter vantagens econômicas importantes no mundo corporativista.

2.3.7. Pesquisas Correlatas

2.3.7.1. Texto Sintético para Submissão à ANEEL (máximo de 1.000 caracteres, incluindo os espaços em branco)

A equipe do projeto participou e participa de várias pesquisas correlacionadas ao tema da presente proposta, destacam-se os projetos de P&D relacionados à indústria de extração de petróleo, financiados pela Petrobras e pelo CNPq. Todos permeando o tema: Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD) e Interação Fluido-Estrutura, Escoamentos Turbulentos. Destacam-se os projetos:

- 1) Aplicabilidade da metodologia IMERSPEC para a solução de problemas de dinâmica dos fluidos computacional - Interação Fluido-Estrutura.
- 2) Aplicação da metodologia IMERSPEC para análise de jatos turbulentos tridimensionais em desenvolvimento espacial.
- 3) Aplicabilidade da Metodologia IMERSPEC para a solução de problemas de dinâmica dos fluidos computacional: Refino de Petróleo.

2.3.7.2. Texto Completo (se necessário e sem limite de caracteres)

A equipe do projeto participou e participa de várias pesquisas correlacionadas ao tema da presente proposta, destacam-se os projetos de P&D relacionados à indústria de extração de petróleo e aeronáutica e escoamentos turbulentos. Todos permeando o tema: Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD) e Interação Fluido-Estrutura.

Abaixo são apresentadas as pesquisas mais importantes relacionadas com o tema da presente demanda:

Pesquisas com financiamento:

1) **Aplicabilidade da metodologia IMERSPEC para a solução de problemas de dinâmica dos fluidos computacional - Interação Fluido-Estrutura.** Descrição: O projeto visa estudar problemas de interação fluido-estrutura por meio da Dinâmica dos Fluidos Computacional. Além disso, estuda a viabilidade de aplicação da metodologia IMERSPEC nesta classe de problemas. Situação: Concluído. Integrantes: **Felipe Pamplona Mariano** - Coordenador / Leonardo de Queiroz Moreira / Aristeu da Silveira Neto / Elie Luis Martinez Padilla / Adailton Silva Borges / Willis Alcantra Manzan Júnior / Andreia Aoyagui Nascimento / Joel Guimarães Vasco. **Financiador(es): Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Auxílio financeiro.** Número de produções C, T & A: 11.

2) **Aplicação da metodologia IMERSPEC para análise de jatos turbulentos tridimensionais em desenvolvimento espacial.** Descrição: A metodologia IMERSPEC utiliza o Método Pseudoespectral de Fourier (MPEF) acoplada com ao Método da Fronteira Imersa (MFI) para resolver as equações de Navier-Stokes em escoamentos incompressíveis, permitindo resolver problemas de escoamentos não periódicos na presença de geometrias complexas imersas no interior de um escoamento utilizando o MPEF. Os

desenvolvimentos feitos até o momento levaram à obtenção de excelentes resultados para uma gama de problemas de Dinâmica dos Fluidos Computacional, dentre eles, escoamentos através de uma expansão brusca, escoamentos sobre geometrias complexas, problemas de interação fluido-estrutura e escoamentos cisalhantes livres, como jatos tridimensionais em desenvolvimento espacial. Objetiva-se no presente projeto, dar sequência aos desenvolvimentos já realizados, focando principalmente no estudo e solução de problemas de condições de contorno que ainda permanecem pendentes. Serão feitas aplicações das metodologias Simulação das Grandes Escalas (LES) e Simulação Numérica Direta (DNS), para a análise numérica de escoamentos turbulentos a baixo e moderados números de Reynolds. Situação: Em andamento; Natureza: Pesquisa. Integrantes: Leonardo de Queiroz Moreira - Coordenador / Aristeu da Silveira Neto / Felipe Pamplona Mariano / Andreia Aoyagui Nascimento / Denise Kinoshita / Sigeo Kitatani Júnior / Renato Aparecido Pimentel da Silva / Joel Roberto Guimarães Vasco. **Financiador(es): Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Auxílio financeiro.**

3) Aplicabilidade da Metodologia IMERSPEC para a solução de problemas de dinâmica dos fluidos computacional: Refino de Petróleo. Descrição: No presente projeto serão implementadas as equações de Navier-Stokes para escoamentos com propriedades físicas variáveis. Após estas implementações, serão realizadas simulações para verificar a aplicabilidade da metodologia IMERSPEC em problemas ligados a indústria de refino de petróleo. Situação: Concluído. Integrantes: Felipe Pamplona Mariano - Coordenador / Leonardo de Queiroz Moreira / Aristeu da Silveira Neto / Mariana Fernandes Santos Villela / Denise Kinoshita / Andreia Aoyagui Nascimento. **Financiador(es): Petrobrás - Auxílio financeiro.** Número de produções C, T & A: 13 / Número de orientações: 1.

4) Desenvolvimento e Modelagem de Escoamentos em Canais Cilindrico-Anulares com Interação Fluido-Estrutura. Descrição: O projeto visa estudar problemas de interação fluido-estrutura em canais cilíndricos anulares. Situação: Concluído. Integrantes: Elie Luis Martinez Padilla - Coordenador / Felipe Pamplona Mariano / Aristeu da Silveira Neto / Marcos Antônio de Souza Lourenço. **Financiador(es): Petróleo Brasileiro - Rio de Janeiro - Matriz - Auxílio financeiro.**

5) Modelagem e Simulação Numérica de Escoamentos em Colunas de Perfuração, Considerando Interação Fluido-Estrutura (TEC-APQ-02330-10). Situação: Concluído; Natureza: Pesquisa. Integrantes: Elie Luis Martínez Padilla - Coordenador / Andreia Aoyagui Nascimento. **Financiador(es): Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - Auxílio financeiro.**

6) Modelagem Matemática de escoamentos turbulentos reativos, bifásicos e com interação fluido-estrutura. Descrição: Formar pessoal especializado em CFD (Dinâmica dos Fluidos Computacional). Utilizar e desenvolver metodologias modernas de modelagem da turbulência para análise de problemas industriais. Desenvolver metodologias alternativas para a análise de problemas envolvendo escoamentos turbulentos sobre geometrias complexas. Desenvolver uma metodologia para análise de escoamentos complexos em domínios de fronteiras móveis. Analisar numericamente problemas de transição a turbulência. Desenvolver metodologia de modelagem da combustão turbulenta. Desenvolver metodologia de escoamento bifásicos para tratamento de escoamentos anulares e estratificados assim como da transição entre eles. Desenvolver metodologia de modelagem de escoamentos bifásicos para tratamento de escoamentos tipo aspersão de gotas. Situação: Em andamento; Natureza: Pesquisa. Integrantes: Aristeu da Silveira Neto - Coordenador / Elie L M Padilla / Odenir de Almeida / Marcio Ricardo Pivello / João Marcelo Vedovoto / Alexandre Megiorim Roma / Millena Martins Villar / Felipe Pamplona Mariano / Luis Fernando Figueira da Silva / Henry França Meier / Leonardo de Queiroz Moreira - / Domingos Alves Rade.

7) **Modelagem matemática e simulação numérica de escoamentos tridimensionais sobre risers utilizando as metodologias de fronteira imersa e de Cosserat.** Projeto certificado pelo(a) coordenador(a) Aristeu da Silveira Neto em 15/04/2013. Descrição: O presente projeto é desenvolvido de forma conjunta entre duas instituições de ensino superior: a Universidade Federal de Uberlândia (UFU), a UTFPR/CP e uma **instituição de fomento: A PETROBRAS/CENPES**, a qual disponibilizou os recursos financeiros. Neste projeto, busca-se desenvolver técnicas eficientes para a determinação das respostas dinâmicas vibratórias de estruturas na presença de fluidos em movimento. Esses fenômenos ocorrem com bastante frequência na área petrolífera, em que praticamente todos os tipos de plataformas de exploração de reservas submarinas possuem estruturas cilíndricas expostas às correntes marítimas. Situação: Em andamento. Natureza: Pesquisa. Integrantes: Aristeu da Silveira Neto - Coordenador / Adailton Silva Borges / Domingos Alves Rade / João Marcelo Vedovoto - / Ricardo Lopes Ferreira.

Pesquisas sem financiamento

1) **Concepção e desenvolvimento de um túnel de vento subsônico.** Descrição: Projeto e construção de um túnel de vento subsônico para o Laboratório de Mecânica dos Fluidos da Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação da Universidade Federal de Goiás. Situação: Em andamento; Natureza: Pesquisa. Integrantes: Felipe Pamplona Mariano - Coordenador / Marcel Alves Pessoa / Rafael Guilherme Luiz de Faria / Andreia Aoyagui Nascimento / Leonardo de Queiroz Moreira / Sigeo Kitatani Júnior / Demostenes Ferreira Filho / Joel Roberto Guimarães Vasco.

2) **Aplicação da metodologia IMERSPEC na solução de problemas de escoamento com transferência de energia e massa.** Descrição: Projeto destinado a verificar, validar e aplicar a metodologia IMERSPEC em problemas com transferência de energia térmica e transferência de massa. Situação: Em andamento; Natureza: Pesquisa. Integrantes: Felipe Pamplona Mariano - Coordenador / Leonardo de Queiroz Moreira / Aristeu da Silveira Neto / Mariana Fernandes Santos Villela / Denise Kinoshita / Andreia Aoyagui Nascimento / Renato Aparecido Pimentel da Silva / Joel Guimarães Vasco.

3) **Ensaio físicos e numéricos em túnel de vento: aplicações dirigidas para o aproveitamento eólico.** Descrição: Sabidamente, a energia elétrica gerada no Brasil é, em sua maioria, proveniente de empreendimentos hidrelétricos, somando um total de quase 70% distribuídos em mais de mil usinas existentes em seu território. Porém, a geração de energia elétrica está intimamente relacionada ao regime pluviométrico anual. Para evitar este cenário, faz-se necessário diminuir a dependência da matriz energética brasileira de fontes sujeitas às variações anuais e que sejam ambientalmente sustentáveis. Neste sentido, dentre as diferentes fontes de energias renováveis destaca-se a energia eólica, gerada a partir da movimentação do ar atmosférico (ventos). A geração de energia elétrica eólica, no Brasil, representa apenas 5% de toda energia elétrica produzida, havendo, portanto, espaço para crescimento e ampliação. Diante do exposto, o presente projeto tem por objetivo realizar estudos relacionados à caracterização dos ventos, estabelecendo possíveis locais para instalação de parques eólicos, além de estudar o comportamento estático e dinâmico das torres de sustentação submetidas à ação dos ventos, tanto numericamente quanto experimentalmente. O presente projeto já conta com uma orientação de mestrado pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária (PPGEAS/UFG), que contempla a calibração e a aquisição de conhecimento no uso de túneis de vento para evidenciar estudos avançados em otimização de pás eólicas e determinação de potencial eólico, com provável defesa para agosto de 2020. Situação: Em andamento. Natureza: Pesquisa. Integrantes: Joel Roberto Guimarães Vasco - Coordenador / Felipe Pamplona Mariano / Andreia Aoyagui Nascimento / Leonardo Moreira de Queiroz.

4) **Estudo da geração das ondas de impacto em lagos de barragem através do método SPH.** Descrição: Verifica-se, neste estudo pormenorizado, a capacidade de um código numérico próprio, desenvolvido

com base no modelo SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) em estimar a altura da onda solitária gerada a partir do impacto de uma massa deslizante em meio líquido. A massa deslizante é representada por um bloco indeformável, modelado como um corpo rígido. Situação: Concluído. Natureza: Pesquisa. Integrantes: Joel Roberto Guimarães Vasco - Coordenador / Humberto Carlos Ruggeri Júnior / Klebber Teodomiro Martins Formiga. Número de produções C, T & A: 4 / Número de orientações: 1.

2.4. EQUIPE

Nome	Categoria	Função
Felipe Pamplona Mariano – UFG	Pesquisador Bolsista / Pós-Doutorando	Coordenador
Andreia Aoyagui Nascimento - UFG	Pesquisador Bolsista / Pós-Doutorando	Pesquisador
Denise Kinoshita – UFG	Pesquisador Bolsista / Pós-Doutorando	Pesquisador
Joel Roberto Guimarães Vasco - UFG	Pesquisador Bolsista / Pós-Doutorando	Pesquisador
Leonardo de Queiroz Moreira - UFG	Pesquisador Bolsista / Pós-Doutorando	Pesquisador
Sigeo Kitatani Júnior – UFG	Pesquisador Bolsista / Pós-Doutorando	Pesquisador
Marlipe Garcia Fagundes Neto - UFG	Pesquisador Bolsista / Pós-Doutorando	Pesquisador
José Luiz Oliveira Pena - IFG	Pesquisador Bolsista / Pós-Doutorando	Pesquisador
Adailton Silva Borges - UTFPR	Pesquisador Bolsista / Pós-Doutorando	Pesquisador
Mariana Fernandes dos Santos Villela – UFPE	Pesquisador Bolsista / Pós-Doutorando	Pesquisador
Renato Aparecido Pimentel da Silva - UFU	Pesquisador Bolsista / Pós-Doutorando	Pesquisador
Aristeu da Silveira Neto – UFU	Pesquisador Bolsista / Pós-Doutorando	Pesquisador
Cheng Liang Yee – USP/SP	Pesquisador Bolsista / Pós-Doutorando	Pesquisador
Charles Knisley - Bucknell University*	Pesquisador / Doutor	Pesquisador
Daiane Pereira da Silva – UFG	Pesquisador Bolsista / Mestrando	Pesquisador
Geovanne Silva Faria – UFG	Pesquisador Bolsista / Mestrando	Pesquisador
Guilherme da Cruz dos Reis – UFG	Pesquisador Bolsista / Mestrando	Pesquisador
Luiza Virginia Duarte – UFG	Pesquisador Bolsista / Mestrando	Pesquisador
Paulo Henrique de Oliveira Marinho - UFG	Pesquisador Bolsista / Mestrando	Pesquisador
Karoliny Freitas Silva – UFG	Pesquisador Bolsista / Mestrando	Pesquisador

André Luiz Carneiro Franco – UFG	Auxiliar Técnico	Auxiliar Técnico
Gustavo Dias de Oliveira – UFG	Auxiliar Técnico	Auxiliar Técnico
Diogo Appel Colvero - UFG	Auxiliar Técnico	Auxiliar Técnico
Almério José Venâncio Pains Soares Pamplona – UFG	Auxiliar Técnico Bolsista	Pesquisador
Ana Carolina Finotti Azeredo – UFG	Auxiliar Técnico Bolsista	Pesquisador
Carlos Augusto Paes Lemes – UFG	Auxiliar Técnico Bolsista	Pesquisador
Danilo Ferreira Veiga – UFG	Auxiliar Técnico Bolsista	Pesquisador
Eduardo Gonçalves do Carmo – UFG	Auxiliar Técnico Bolsista	Pesquisador
Eurípedes David de Moraes Neto – UFG	Auxiliar Técnico Bolsista	Pesquisador
Fabio Franklin Mendes Duarte – UFG	Auxiliar Técnico Bolsista	Pesquisador
Felipe Santana Rego – UFG	Auxiliar Técnico Bolsista	Pesquisador
Júlio Esteves de Matos Júnior – UFG	Auxiliar Técnico Bolsista	Pesquisador
Lucas Marques Monteiro – UFG	Auxiliar Técnico Bolsista	Pesquisador
Rafael Guilherme Luiz de Faria – UFG	Auxiliar Técnico Bolsista	Pesquisador
Victor Alves Martins Santos Parreira – UFG	Auxiliar Técnico Bolsista	Pesquisador

*Destaca-se a participação do professor Charles Knisley, da Universidade de Bucknell (EUA), na função de pesquisador doutor, conforme indicado na tabela do item 10 das condições de submissão e aceitação das propostas em atendimento às demandas de Furnas do edital 2018.01, devido ao seu vasto conhecimento e grande experiência com Energias Renováveis e Interação Fluido-Estrutura, temas centrais do presente projeto. Tal experiência pode ser comprovada pelos artigos, patentes, cursos e projetos já realizados, disponíveis no CV Lattes do professor: <http://lattes.cnpq.br/1233291047864875>.

Além disso, o professor Knisley também é especialista em Dinâmica dos Fluidos Experimental, especificamente, ele já projetou, produziu e instrumentou diversos túneis de vento para diferentes aplicações, tal conhecimento é de grande valia para o presente projeto e para o Laboratório de Aerodinâmica de FURNAS, em Aparecida de Goiânia, pois pode-se aperfeiçoar e otimizar os túneis de vento disponíveis, indicar e especificar corretamente os equipamentos de medição necessários, visando obter resultados, do presente projeto, mais acurados, precisos e financeiramente mais econômicos.

Por fim, além da participação técnica, efetivamente dando suporte na parte experimental do projeto, também, é previsto que o professor Knisley ministre três cursos para a transferência de tecnologia e capacitação do RH de FURNAS, são eles:

- Aerodinâmica Fundamental e Aplicada a Turbinas Eólicas;
- Técnicas Experimentais de uso de Túnel de Vento;
- Teoria de Interação Fluido-Estrutura.

Logo, é uma oportunidade única ter um pesquisador experiente e de alto nível científico, disponibilizando (transferindo) o seu conhecimento para o RH de FURNAS e participando ativamente do presente projeto de forma a aumentar a eficiência dos experimentos, tanto em qualidade de medições, quanto financeiramente.

Cabe observar que a participação do pesquisador estrangeiro será devidamente justificada nos relatórios do projeto, inclusive no relatório final do projeto, de acordo com o item 2.1.6.6 do PROP&D (Módulo 2) e sua contratação será feita diretamente por meio da Fundação de Apoio – FUNAPE na modalidade de pesquisador doutor bolsista.



2.4.1. Coordenador:

Nome abreviado ou iniciais: **FPM**

Nome completo: **Felipe Pamplona Mariano**

CPF: 221.736.618-17

Titulação: Doutor

Custo horário (R\$/h): 128,12

Função: Coordenador

Telefone (com DDD): (62) 3521.2733 ou (62) 9.8120.6453

E-mail: fpmariano@ufg.br

2.4.2. Pesquisadores e membros da equipe de apoio:

Nome abreviado ou iniciais: **AAN**

Nome completo: **Andreia Aoyagui Nascimento**

CPF: 063.595.486-90

Titulação: Doutor

Custo horário (R\$/h): 128,12

Função: Pesquisador Bolsista / Pós-Doutorando

Telefone (com DDD): (62) 3521.2733

E-mail: aanascimento@ufg.br

Nome abreviado ou iniciais: **DN**

Nome completo: **Denise Kinoshita**

CPF: 295.505.778-99

Titulação: Doutor

Custo horário (R\$/h): 51,25

Função: Pesquisador Bolsista / Pós-Doutorando

Telefone (com DDD): (34) 3239-4040

E-mail: denikino@hotmail.com

Nome abreviado ou iniciais: **JRGV**

Nome completo: **Joel Roberto Guimarães Vasco**

CPF: 215.973.038-60

Titulação: Doutor

Custo horário (R\$/h): 128,12

Função: Pesquisador Bolsista / Pós-Doutorando

Telefone (com DDD): (62) 3209.6187

E-mail: joelvasco@ufg.br



Nome abreviado ou iniciais: **LQM**

Nome completo: **Leonardo de Queiroz Moreira**

CPF: 039.720.496-50

Titulação: Doutor

Custo horário (R\$/h): 128,12

Função: Pesquisador Bolsista / Pós-Doutorando

Telefone (com DDD): (62) 3521.2733

E-mail: lqmoreira@ufg.br

Nome abreviado ou iniciais: **MGFN**

Nome completo: **Marlipe Garcia Fagundes Neto**

CPF: 067.138.866-55

Titulação: Doutor

Custo horário (R\$/h): 128,12

Função: Pesquisador Bolsista / Pós-Doutorando

Telefone (com DDD): (62) 3521.2733

E-mail: marlipe@ufg.br

Nome abreviado ou iniciais: **SKJ**

Nome completo: **Sígeo Kitatani Júnior**

CPF: 226.467.788-05

Titulação: Doutor

Custo horário (R\$/h): 128,12

Função: Pesquisador Bolsista / Pós-Doutorando

Telefone (com DDD): (62) 3521.2733

E-mail: sigojr@ufg.br

Nome abreviado ou iniciais: **JLOP**

Nome completo: **José Luiz Oliveira Pena**

CPF: 419.037.146-72

Titulação: Doutor

Custo horário (R\$/h): 128,12

Função: Pesquisador Bolsista / Pós-Doutorando

Telefone (com DDD): (62) 3227-2747

E-mail: pena.jlo@gmail.com



Nome abreviado ou iniciais: **ASB**

Nome completo: **Adailton Silva Borges**

CPF: 220.862.318-57

Titulação: Doutor

Custo horário (R\$/h): 136,66

Função: Pesquisador Bolsista / Pós-Doutorando

Telefone (com DDD): (43) 3520-3986

E-mail: adailton@utfpr.edu.br

Nome abreviado ou iniciais: **MFSV**

Nome completo: **Mariana Fernandes dos Santos Villela**

CPF: 060.031.726-90

Titulação: Doutor

Custo horário (R\$/h): 128,12

Função: Pesquisador Bolsista / Pós-Doutorando

Telefone (com DDD): (81) 9.9962-1616

E-mail: mariana.villela@ufpe.br

Nome abreviado ou iniciais: **RAPS**

Nome completo: **Renato Aparecido Pimentel da Silva**

CPF: 302.928.878-17

Titulação: Doutor

Custo horário (R\$/h): 128,12

Função: Pesquisador Bolsista / Pós-Doutorando

Telefone (com DDD): (34) 3239-4498

E-mail: rpimentel@ufu.br

Nome abreviado ou iniciais: **ASN**

Nome completo: **Aristeu da Silveira Neto**

CPF: 102.544.391-87

Titulação: Doutor

Custo horário (R\$/h): 128,12

Função: Pesquisador Bolsista / Pós-Doutorando

Telefone (com DDD): (34) 3239-4040

E-mail: aristeus@mecanica.ufu.br



Nome abreviado ou iniciais: **CLY**

Nome completo: Cheng Liang Yee

CPF: 272.461.578-67

Titulação: Doutor

Custo horário (R\$/h): 128,12

Função: Pesquisador Bolsista / Pós-Doutorando

Telefone (com DDD): (11) 3091-5462

E-mail: cheng.yee@poli.usp.br

Nome abreviado ou iniciais: **CWK**

Nome completo: **Charles Willian Knisely**

Passaporte: PUSA505496678

Titulação: Doutor

Custo horário (R\$/h): 35,86

Função: Pesquisador / Doutor

Telefone (com DDD): (+1) 570-524-5894

E-mail: knisely@bucknell.edu

Nome abreviado ou iniciais: **DPS**

Nome completo: **Daiane Pereira da Silva**

CPF: 418.244.838-30

Titulação: Graduado

Custo horário (R\$/h): 10,00

Função: Pesquisador Bolsista / Mestrando

Telefone (com DDD): (62) 3209-6404

E-mail: daiane.eng.amb@gmail.com

Nome abreviado ou iniciais: **GSF**

Nome completo: **Geovanne Silva Faria**

CPF: 021.253.941-89

Titulação: Graduado

Custo horário (R\$/h): 10,00

Função: Pesquisador Bolsista / Mestrando

Telefone (com DDD): (62) 3209-6404

E-mail: geovanne.engmec@gmail.com



Nome abreviado ou iniciais: **GCR**

Nome completo: **Guilherme da Cruz dos Reis**

CPF: 039.435.371-45

Titulação: Graduado

Custo horário (R\$/h): 10,00

Função: Pesquisador Bolsista / Mestrando

Telefone (com DDD): (62) 3209-6404

E-mail: guilhermecruzreis@hotmail.com

Nome abreviado ou iniciais: **LVD**

Nome completo: **Luiza Viginia Duarte**

CPF: 037.283.211-33

Titulação: Graduado

Custo horário (R\$/h): 10,00

Função: Pesquisador Bolsista / Mestrando

Telefone (com DDD): (62) 3209-6404

E-mail: luizavirginiaduarte@gmail.com

Nome abreviado ou iniciais: **PHOM**

Nome completo: **Paulo Henrique de Oliveira Marinho**

CPF: 032.739.211-88

Titulação: Graduado

Custo horário (R\$/h): 10,00

Função: Pesquisador Bolsista / Mestrando

Telefone (com DDD): (62) 3209-6404

E-mail: marinhopho@gmail.com

Nome abreviado ou iniciais: **KFS**

Nome completo: **Karoliny Freitas Silva**

CPF: 043.802.871-65

Titulação: Graduado

Custo horário (R\$/h): 10,00

Função: Pesquisador Bolsista / Mestrando

Telefone (com DDD): (62) 3209-6404

E-mail: karolinyecristo@gmail.com



Nome abreviado ou iniciais: **ALCF**

Nome completo: **André Luiz Carneiro Franco**

CPF: 010.046.241-31

Titulação: Mestre

Custo horário (R\$/h): 35,00

Função: Auxiliar Técnico

Telefone (com DDD): (62) 3209.6299

E-mail: andre franco1986@gmail.com

Nome abreviado ou iniciais: **DAC**

Nome completo: **Diogo Appel Colvero**

CPF: 981.606.640-87

Titulação: Doutor

Custo horário (R\$/h): 35,00

Função: Auxiliar Técnico

Telefone (com DDD): (62) 3209.6390

E-mail: diogocolvero@yahoo.com.br

Nome abreviado ou iniciais: **GDO**

Nome completo: **Gustavo Dias de Oliveira**

CPF: 015.107.751-70

Titulação: Mestre

Custo horário (R\$/h): 35,00

Função: Auxiliar Técnico

Telefone (com DDD): (62) 3209.6398

E-mail: gustavodias@emc.ufg.br

Nome abreviado ou iniciais: **ACFA**

Nome completo: ANA CAROLINA FINOTTI AZEREDO

CPF: 756.531.251-72

Titulação: Ensino Médio

Custo horário (R\$/h): 15,00

Função: Auxiliar Técnico Bolsista

Telefone (com DDD): (62) 3209.6404

E-mail: carol_finotti22@hotmail.com



Nome abreviado ou iniciais: **CAPL**

Nome completo: CARLOS AUGUSTO PAES LEMES

CPF: 037.388.011-11

Titulação: Ensino Médio

Custo horário (R\$/h): 15,00

Função: Auxiliar Técnico Bolsista

Telefone (com DDD): (62) 3209.6404

E-mail: carlosaugusto.paeslemes@gmail.com

Nome abreviado ou iniciais: **DFV**

Nome completo: DANILO FERREIRA VEIGA

CPF: 044.568.521-27

Titulação: Ensino Médio

Custo horário (R\$/h): 15,00

Função: Auxiliar Técnico Bolsista

Telefone (com DDD): (62) 3209.6404

E-mail: danilocr22@hotmail.com

Nome abreviado ou iniciais: **FSR**

Nome completo: FELIPE SANTANA REGO

CPF: 701.641.871-54

Titulação: Ensino Médio

Custo horário (R\$/h): 15,00

Função: Auxiliar Técnico Bolsista

Telefone (com DDD): (62) 3209.6404

E-mail: fsrego93@gmail.com

Nome abreviado ou iniciais: **LMM**

Nome completo: LUCAS MARQUES MONTEIRO

CPF: 700.919.241-38

Titulação: Ensino Médio

Custo horário (R\$/h): 15,00

Função: Auxiliar Técnico Bolsista

Telefone (com DDD): (62) 3209.6404

E-mail: lucasescorpi@gmail.com



Nome abreviado ou iniciais: **JEMJ**

Nome completo: JÚLIO ESTEVES DE MATOS JÚNIOR

CPF: 047.144.081-78

Titulação: Ensino Médio

Custo horário (R\$/h): 15,00

Função: Auxiliar Técnico Bolsista

Telefone (com DDD): (62) 3209.6404

E-mail: juliodematosjr@gmail.com

Nome abreviado ou iniciais: **EGC**

Nome completo: EDUARDO GONCALVES DO CARMO

CPF: 062.432.385-47

Titulação: Ensino Médio

Custo horário (R\$/h): 15,00

Função: Auxiliar Técnico Bolsista

Telefone (com DDD): (62) 3209.6404

E-mail: gonalveseduardo15@gmail.com

Nome abreviado ou iniciais: **FFMD**

Nome completo: FABIO FRANKLIN MENDES DUARTE

CPF: 028.095.191-45

Titulação: Ensino Médio

Custo horário (R\$/h): 15,00

Função: Auxiliar Técnico Bolsista

Telefone (com DDD): (62) 3209.6404

E-mail: fabiofranklinm@gmail.com

Nome abreviado ou iniciais: **AJVPSP**

Nome completo: ALMERIO JOSE VENANCIO PAINS SOARES PAMPLONA

CPF: 039.755.321-81

Titulação: Ensino Médio

Custo horário (R\$/h): 15,00

Função: Auxiliar Técnico Bolsista

Telefone (com DDD): (62) 3209.6404

E-mail: almeriopamplona@hotmail.com



Nome abreviado ou iniciais: **RGLF**

Nome completo: RAFAEL GUILHERME LUIZ DE FARIA

CPF: 043.361.451-05

Titulação: Ensino Médio

Custo horário (R\$/h): 15,00

Função: Auxiliar Técnico Bolsista

Telefone (com DDD): (62) 3209.6404

E-mail: phaelzis@live.com

Nome abreviado ou iniciais: **EDMN**

Nome completo: EURÍPEDES DAVID DE MORAIS NETO

CPF: 702.042.181-44

Titulação: Ensino Médio

Custo horário (R\$/h): 15,00

Função: Auxiliar Técnico Bolsista

Telefone (com DDD): (62) 3209.6404

E-mail: euripedes-neto@hotmail.com

Nome abreviado ou iniciais: **VAMSP**

Nome completo: VICTOR ALVES MARTINS SANTOS PARREIRA

CPF: 750.135.331-04

Titulação: Ensino Médio

Custo horário (R\$/h): 15,00

Função: Auxiliar Técnico Bolsista

Telefone (com DDD): (62) 3209.6404

E-mail: victor.a.p@hotmail.com



2.5. ETAPAS

2.5.1. Descrição e Cronograma Físico.

Etapa 1 – Planejamento de atividades do projeto.

Descrição: Planejamento efetivo das atividades com as equipes específicas do projeto

Início: Mês 1 do Ano 1 **Conclusão:** Mês 2 do Ano 1

Produto:

- 1) Planejamento das atividades com os colaboradores de FURNAS;
- 2) Planejamento das atividades com os membros do projeto;
- 3) Planejamento das aquisições de equipamentos e contratações necessárias;

Etapa 2 – Revisão da literatura sobre os temas específicos do projeto

Descrição: Revisão da literatura sobre os temas:

- Energia Eólica;
- Potencial Eólica;
- Interação Fluido-Estrutura;
- Análise experimental de tecnologias de túnel de vento;
- Técnica da “Particle Image Velocimetry” (PIV);
- Método das Diferenças Finitas;
- Método “Smoothed-Particle Hydrodynamics” (SPH);
- Modelagem de Turbulência;
- Método Pseudo-espectral de Fourier;
- Temas específicos de cada etapa do projeto.

Início: Mês 2 do Ano 1 **Conclusão:** Mês 6 do Ano 3

Produto: Estado da arte de cada etapa a ser desenvolvida ao longo do projeto que farão parte dos relatórios a serem elaborados.

Etapa 3 – Análises experimentais: Testes dos limites operacionais do Túnel de Vento e dos equipamentos de medição disponíveis no GST.E/DTEC.E de FURNAS em Aparecida de Goiânia-GO e os que serão adquiridos.

Descrição: Testes dos limites operacionais do túnel de vento e equipamentos de medição disponíveis no GST.E/DTEC.E de FURNAS em Aparecida de Goiânia-GO para determinar:

- Os limites de velocidade e pressão da seção de testes do túnel de vento;
- Os limites de velocidade que os anemômetros de fio quente, tubos de Pitot de FURNAS conseguem aferir e precisar;
- Os limites de pressão que os manômetros de FURNAS conseguem aferir e precisar;
- Os limites de forças e momentos que as balanças aerodinâmicas conseguem aferir e precisar;

Início: Mês 2 do Ano 1 **Conclusão:** Mês 6 do Ano 1

Produtos: Instruções de trabalho (IT1) para o uso adequado do túnel de vento e de equipamentos de medição, anemômetro de fio quente, tubos de Pitot, manômetros e balanças aerodinâmicas, **1 orientação/dissertação de mestrado e 1 orientação de iniciação científica.**

Etapla 4 – Análises experimentais: Experimentos para verificar a viabilidade de usar a técnica da “Particle Image Velocimetry” (PIV) de baixo custo:

Descrição: Após aquisição do PIV de baixo custo, realizar experimentos e testes de validação para obter os limites operacionais da técnica PIV de baixo custo para medição de velocidade não intrusiva no túnel de vento do GST.E/DTEC.E de FURNAS em Aparecida de Goiânia-GO. Os resultados obtidos com o PIV serão comparados com os demais equipamentos de medição de velocidade (anemômetros e tubos de Pitot).

Início: Mês 4 do Ano 1 **Conclusão:** Mês 10 do Ano 1

Produtos:

- 1) Parecer técnico da viabilidade técnico, científica e financeira de se utilizar o PIV de baixo custo.
- 2) Instruções de trabalho (IT2) para o uso adequado do PIV de baixo custo no túnel de vento do GST.E/DTEC.E de FURNAS em Aparecida de Goiânia-GO.

Etapla 5 – Análises experimentais: Experimentos de escoamentos sobre corpos de geometrias conhecidas.

Descrição: Após aquisição ou fabricação das geometrias fundamentais utilizadas na Dinâmica dos Fluidos, realizar experimentos de escoamentos sobre corpos de geometrias conhecidas (esferas e cilindros) para fins de obter velocidade, pressão e forças de arrasto e validar experimentos realizados no túnel de vento do GST.E/DTEC.E de FURNAS em Aparecida de Goiânia-GO.

Início: Mês 10 do Ano 1 **Conclusão:** Mês 3 do Ano 2

Produtos:

- 1) Instruções de trabalho (IT3) para a realização de experimentos sobre corpos imersos de geometrias conhecidas no túnel de vento do GST.E/DTEC.E de FURNAS em Aparecida de Goiânia-GO para obter resultados de velocidade, pressão e força de arrasto e **1 orientação de iniciação científica.**

Etapla 6 – Análises experimentais: Experimentos de escoamentos sobre corpos aerodinâmicos: aerofólios e modelos de pás de turbinas eólicas da série NACA.

Descrição: Realizar experimentos de escoamentos sobre aerofólios e modelos de pás de turbinas eólicas da série NACA. Para fins de obter velocidade, pressão, forças de arrasto e de sustentação, momentos que agem sobre as superfícies aerodinâmicas mais específicas relacionadas à geração de energia eólica.

Início: Mês 3 do Ano 2 **Conclusão:** Mês 8 do Ano 2

Produtos:

- 1) Instruções de trabalho (IT4) para a realização de experimentos sobre corpos aerodinâmicos;
- 2) Instruções de trabalho para a realização de experimentos sobre modelos de pás de turbinas eólicas;

Etapa 7 – Análises experimentais: Experimentos de escoamentos sobre modelos de pás de turbinas eólicas específicas.

Descrição: Conceber e fabricar as pás de turbinas eólicas via prototipagem 3D. Realizar experimentos de escoamentos sobre modelos de pás de turbinas eólicas específicas para maior geração de energia eólica e comparar os resultados de velocidade, pressão, forças de arrasto e sustentação e momento com os obtidos na etapa 6.

Início: Mês 8 do Ano 2 **Conclusão:** Mês 3 do Ano 3

Produtos:

- 1) Instruções de trabalho (IT5) para a realização de experimentos sobre modelos de pás de turbinas eólicas específicas.
- 2) 1 orientação/dissertação de mestrado e 1 orientação de iniciação científica.

Etapa 8 – Análises experimentais: Experimentos sobre modelos de terrenos planos.

Descrição: Realizar experimentos de escoamentos sobre modelos de terrenos planos para obtenção da velocidade do vento e desenvolvimento da camada limite atmosférica. Desenvolver uma metodologia para estimar o potencial eólico.

Início: Mês 3 do Ano 3 **Conclusão:** Mês 6 do Ano 3

Produtos:

- 1) Instruções de trabalho (IT6) para a realização de experimentos sobre modelos de terrenos planos.

Etapa 9 – Análises experimentais: Experimentos de escoamentos sobre modelos de terrenos de interesse de FURNAS.

Descrição: Conceber e fabricar os terrenos de interesse de FURNAS via prototipagem 3D. Realizar experimentos de escoamentos sobre os modelos de terrenos para obter os campos de velocidade, pressão e desenvolvimento de camada limite e estimativa do potencial eólico sobre os modelo de terreno.

Início: Mês 3 do Ano 3 **Conclusão:** Mês 9 do Ano 3

Produtos:

- 1) Metodologia experimental para estimativa experimental do potencial eólico de um terreno para fins de geração de energia eólica.
- 2) Instruções de trabalho (IT7) para a realização de experimentos sobre modelos de terrenos de interesse de FURNAS.

3) 1 orientação/dissertação de mestrado e 1 orientação de iniciação científica.

Etapa 10 – Análises numéricas (CFD): Escoamentos sobre terrenos planos utilizando o método pseudo-espectral de Fourier.

Descrição: Após aquisição do cluster, adaptar os programas computacionais que utilizam o método pseudo-espectral de Fourier para realizar simulações numéricas de escoamentos sobre placas planas:

- Preparar o programa computacional e o cluster para realização de simulações tridimensionais paralelas;
- Exportar perfis de camada-limite atmosférica de dados experimentais para o código IMERSPEC3DP;
- Programar as condições de contorno e termos fonte apropriados para simulação de escoamentos sobre placas planas no código IMERSPEC3DP;
- Programar e desenvolver modelos de turbulência apropriados para simulação de escoamentos sobre placas planas no código IMERSPEC3DP;

Início: Mês 2 do Ano 1 **Conclusão:** Mês 5 do Ano 2

Produtos:

- 1) Metodologia numérica para estimativa do potencial eólico de um terreno plano para fins de geração de energia eólica.
- 2) Código computacional (CC1) tridimensional, paralelo, com modelo de turbulência para a realização de simulações numéricas sobre modelos de terrenos planos.

Etapa 11 – Análises numéricas (CFD): Escoamentos sobre terrenos acidentados de interesse de FURNAS utilizando o método pseudo-espectral de Fourier.

Descrição: Adaptar os programas computacionais que utilizam o método pseudo-espectral de Fourier para realizar simulações numéricas de escoamentos sobre terrenos acidentados:

- Programar as condições de contorno via método da fronteira imersa e termos fonte apropriados para simulação de escoamentos sobre terrenos acidentados no código IMERSPEC3DP;
- Programar e desenvolver modelos de turbulência apropriados para simulação de escoamentos sobre terrenos acidentados no código IMERSPEC3DP;

Início: Mês 3 do Ano 2 **Conclusão:** Mês 9 do Ano 3

Produtos:

- 1) Metodologia numérica para estimativa do potencial eólico de um terreno acidentado de interesse de FURNAS para fins de geração de energia eólica.
- 2) Código computacional (CC2) tridimensional, paralelo, com modelo de turbulência para a realização de simulações numéricas sobre modelos de terrenos acidentados de interesse de FURNAS.

3) 1 orientação/dissertação de mestrado e 1 orientação de iniciação científica.

Etapa 12 – Análises numéricas (CFD): Escoamentos sobre corpos imersos de geometrias conhecidas utilizando o método pseudo-espectral de Fourier.

Descrição: Adaptar os programas computacionais que utilizam o método pseudo-espectral de Fourier para realizar simulações numéricas de escoamentos sobre corpos imersos:

- Validar o programa computacional IMERSPEC2D para realizar simulações numéricas de escoamentos sobre corpos imersos, cilindros e conjunto de cilindros;
- Validar o programa computacional IMERSPEC2D para realizar simulações numéricas de escoamentos sobre corpos aerodinâmicos, escoamentos sobre aerofólios da série NACA;
- Validar o programa computacional IMERSPEC2D para realizar simulações numéricas de escoamentos sobre aerofólios específicos de pás de turbinas eólicas.

Início: Mês 2 do Ano 1 **Conclusão:** Mês 10 do Ano 1

Produtos:

1) Código computacional bidimensional (CC3) para a realização de simulações numéricas de escoamentos sobre modelos de corpos imersos e aerodinâmicos, especificamente, escoamentos sobre aerofólios de pás de turbinas eólicas;

2) 1 orientação de iniciação científica.

Etapa 13 – Análises numéricas (CFD): Escoamentos sobre turbinas de eixo vertical (TEV) utilizando o método pseudo-espectral de Fourier.

Descrição: Adaptar os programas computacionais que utilizam o método pseudo-espectral de Fourier para realizar simulações numéricas de escoamentos sobre uma TEV:

- Implementar modelo de Interação Fluido-Estrutura (IFE) de movimentação de estruturas rígidas;
- Validar o programa computacional IMERSPEC2D para realizar simulações numéricas de escoamentos sobre corpos imersos com movimentação de corpo-rígido;
- Validar o programa computacional IMERSPEC2D para realizar simulações numéricas de escoamentos sobre uma TEV, aerofólios rígidos com rotação.

Início: Mês 11 do Ano 1 **Conclusão:** Mês 9 do Ano 3

Produtos:

1) Código computacional bidimensional (CC4) para a realização de simulações numéricas de escoamentos sobre aerofólios de pás de turbinas eólicas com movimentação de rotação de corpo rígido, modelo de uma turbina de eixo vertical - TEV.

2) 1 orientação de iniciação científica.

Etapa 14 – Análises numéricas (CFD): Escoamentos sobre corpos deformáveis utilizando o método pseudo-espectral de Fourier.

Descrição: Adaptar os programas computacionais que utilizam o método pseudo-espectral de Fourier para realizar simulações numéricas de escoamentos sobre corpos deformáveis:

- Implementar modelo de Interação Fluido-Estrutura (IFE) para representar a deformação estrutural de torres eólicas;

- Validar o programa computacional IMERSPEC2D para realizar simulações numéricas de escoamentos sobre corpos imersos deformáveis;

Início: Mês 11 do Ano 1 **Conclusão:** Mês 9 do Ano 3

Produtos:

1) Código computacional (CC5) bidimensional para a realização de simulações numéricas de escoamentos sobre torre de turbinas eólicas com deformação estrutural.

2) 1 orientação/dissertação de mestrado e 1 orientação de iniciação científica.

Etapla 15 – Análises numéricas (CFD): Escoamentos sobre corpos deformáveis utilizando o software Code-Aster/Salomé-Meca.

Descrição: Implementar instruções numéricas no programa Code-Aster/Salomé-Meca para estudar problemas de Interação Fluido-Estrutura:

- Implementar instruções numéricas no programa Code-Aster/Salomé-Meca, o qual recebe as informações das forças de arrasto e sustentação dos programas desenvolvido nas Etapa 12 e 14 e avaliam as tensões e deformações em corpos com geometrias conhecidas;
- Implementar instruções numéricas no programa Code-Aster/Salomé-Meca que avaliam diretamente as tensões e deformações de corpos com geometrias conhecidas;

Início: Mês 2 do Ano 1 **Conclusão:** Mês 9 do Ano 3

Produtos:

1) Código computacional desenvolvido no programa Code-Aster/Salomé-Meca (CC6) para a realização de simulações numéricas de escoamentos com IFE e obtenção dos campos de tensão e deformação estruturais.

2) 1 orientação de iniciação científica.

Etapla 16 – Análises numéricas (CFD): Implementar instruções numéricas no programa OpenFOAM para aplicação em problemas de escoamentos de ventos sobre terrenos.

Descrição: Desenvolver instruções numéricas com no programa OpenFOAM:

- Verificar o programa computacional OpenFOAM;
- Validar a física do programa computacional OpenFOAM com escoamento de vento sobre terrenos planos com vistas ao aproveitamento eólico.

Início: Mês 2 do Ano 1 **Conclusão:** Mês 9 do Ano 3

Produtos:

1) Código computacional desenvolvido no programa computacional OpenFOAM (CC7) para a realização de simulações numéricas de escoamentos de ventos sobre terrenos planos.

2) 2 orientação de iniciação científica.

Etapla 17 – Análises numéricas (CFD): Adaptar o código Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) para simulações sobre corpos com geometrias complexas.

Descrição: Adaptar no código SPH:

- Sub-rotinas que possibilitem resolver problemas que envolvem escoamento sobre corpos cartesianos.
- Validar as sub-rotinas comparando os resultados numéricos com os experimentais e com os resultados numéricos do método pseudo-espectral de Fourier.

Início: Mês 2 do Ano 1 **Conclusão:** Mês 9 do Ano 3

Produtos:

1) Código computacional desenvolvido com o método SPH (CC8) para a realização de simulações numéricas de escoamentos sobre corpos com geometrias complexas.

2) 1 orientação/dissertação de mestrado e 1 orientação de iniciação científica.

Etapla 18 – Transferência de Tecnologia para FURNAS.

Descrição: A transferência de tecnologia, onde todas as etapas descritas relacionadas aos desenvolvimentos experimentais em túnel de vento e os códigos numéricos serão repassadas para o RH de FURNAS através de cursos de capacitação em:

- Equações Diferenciais Parciais (EDP);
- Resolução das Equações de Navier-Stokes utilizando o método de Diferenças Finitas;
- Aplicação de condições de contorno aplicando o método da Fronteira Imersa;
- Modelagem da Turbulência;
- Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH);
- Aerodinâmica Fundamental e Aplicada a Turbinas Eólicas;
- Técnicas Experimentais de uso de Túnel de Vento;
- Teoria de Interação Fluido-Estrutura;
- Vibrações e análise de sinais.

Início: Mês 3 do Ano 1 **Conclusão:** Mês 12 do Ano 3

Produtos:

1) Treinamento e uso dos códigos computacionais desenvolvidos e uso adequado do túnel de vento e material didático a ser disponibilizado.

Etapla 19 – Relatórios, artigos técnico-científicos e livro a respeito do presente projeto.

Descrição: Gerar relatórios e artigos para documentar as etapas do presente projeto. E produzir um livro sobre o principal assunto do projeto: Dinâmica dos Fluidos Computacional e Experimental aplicada a geração de energia eólica

Início: Mês 1 do Ano 1 **Conclusão:** Mês 12 do Ano 3

Produtos:

1) Relatórios, artigos técnico-científicos e um livro.

Observação: O cronograma pode sofrer alterações ao longo do desenvolvimento do projeto devido às dificuldades inerentes que podem aparecer ao longo das pesquisas de desenvolvimento e inovação ou a pedido dos colaboradores de FURNAS, os novos prazos devem ser negociados em comum acordo com a equipe da UFG e de FURNAS.

2.6. RELATÓRIOS

Relatório Técnico 1: - Relatório de planejamento

Data Entrega: Mês 1 do Ano 1

Relatório Técnico 2: - Atividades das etapas 2, 3, 10, 12, 15, 16 e 17

Data Entrega: Mês 4 do Ano 1

Relatório Técnico 3: - Atividades das etapas 2, 3, 4, 10, 12, 15, 16, 17 e 18

Data Entrega: Mês 8 do Ano 1

Relatório Técnico 4: - Atividades das etapas 2, 4, 5, 10, 12, 15, 16, 17 e 18

Data Entrega: Mês 12 do Ano 1

Relatório Técnico 5: - Atividades das etapas 2, 5, 10, 13, 14, 15, 16, 17 e 18

Data Entrega: Mês 15 do Ano 2

Relatório Técnico 6: - Atividades das etapas 2, 5, 6, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17 e 18

Data Entrega: Mês 18 do Ano 2

Relatório Técnico 7: - Atividades das etapas 2, 6, 11, 13, 14, 15, 16, 17 e 18

Data Entrega: Mês 21 do Ano 2

Relatório Técnico 8: - Atividades das etapas 2, 7, 11, 13, 14, 15, 16 e 17

Data Entrega: Mês 24 do Ano 2

Relatório Técnico 9: - Atividades das etapas 2, 7, 11, 13, 14, 15, 16, 17 e 18

Data Entrega: Mês 27 do Ano 3

Relatório Técnico 10: - Atividades das etapas 2, 7, 8, 9, 11, 13, 14, 15, 16, 17 e 18

Data Entrega: Mês 30 do Ano 3

Relatório Técnico 11: - Atividades das etapas 2, 8, 9, 11, 13, 14, 15, 16 e 17

Data Entrega: Mês 33 do Ano 3

Relatório Técnico 12: - Atividades das etapas 9, 11, 13, 14, 15, 16, 17 e 18

Data Entrega: Mês 36 do Ano 3

2.7. RECURSOS HUMANOS

2.7.1. A participação do coordenador e dos membros da equipe no Projeto

Ano 1													
Recurso Humano	Horas no Mês:												TOTAL R\$
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
FPM	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	49.198,08
AAN	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	49.198,08
DK	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	49.200,00
JRGV	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	49.198,08
MGFN	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	49.198,08
LQM	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	49.198,08
SKJ	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	49.198,08
JLOP	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	49.198,08
ASB	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	49.197,60
MFSV	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	49.198,08
RAPS	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	49.198,08
ASN						32	32						8.199,68
CLY						32	32						8.199,68
CWK							145	145					10.399,40
DPS	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	18.000,00
GSF	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	18.000,00
GCR	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	18.000,00
LVD	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	18.000,00
PHOM	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	18.000,00
KFS	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	18.000,00
ALCF	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	14.280,00
DAC	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	14.280,00
GDO	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	18	18	6.160,00
AJVPSP	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	30	30	4.800,00
ACFA	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	30	30	4.800,00
CAPL	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	30	30	4.800,00
DFV	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	30	30	4.800,00
EGC	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	30	30	4.800,00
EDMN	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	30	30	4.800,00
FFMD	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	30	30	4.800,00
FSR	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	30	30	4.800,00
JEMJ	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	30	30	4.800,00
LMM	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	30	30	4.800,00
RGLF	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	30	30	4.800,00
VAMSP	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	30	30	4.800,00
TOTAL													768.299,08
TOTAL ETAPA													768.299,08

Ano 2													
Recurso Humano	Horas no Mês:												TOTAL R\$
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
FPM	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	49.198,08
AAN	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	49.198,08
DK	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	49.200,00
JRGV	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	49.198,08
MGFN	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	49.198,08
LQM	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	49.198,08
SKJ	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	49.198,08
JLOP	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	49.198,08
ASB	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	49.197,60
MFSV	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	49.198,08
RAPS	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	49.198,08
ASN						32	32						8.199,68
CLY						32	32						8.199,68
CWK							145	145					10.399,40
DPS	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	18.000,00
GSF	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	18.000,00
GCR	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	18.000,00
LVD	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	18.000,00
PHOM	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	18.000,00
KFS	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	18.000,00
ALCF	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	14.280,00
DAC	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	14.280,00
GDO	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	18	18	6.160,00
AJVPSP	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	30	30	4.800,00
ACFA	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	30	30	4.800,00
CAPL	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	30	30	4.800,00
DFV	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	30	30	4.800,00
EGC	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	30	30	4.800,00
EDMN	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	30	30	4.800,00
FFMD	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	30	30	4.800,00
FSR	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	30	30	4.800,00
JEMJ	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	30	30	4.800,00
LMM	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	30	30	4.800,00
RGLF	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	30	30	4.800,00
VAMSP	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	30	30	4.800,00
TOTAL													768.299,08
TOTAL ETAPA													1.536.598,16

Ano 3													
Recurso Humano	Horas no Mês:												TOTAL R\$
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
FPM	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	49.198,08
AAN	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	49.198,08
DK	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	49.200,00
JRGV	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	49.198,08
MGFN	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	49.198,08
LQM	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	49.198,08
SKJ	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	49.198,08
JLOP	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	49.198,08
ASB	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	49.197,60
MFSV	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	49.198,08
RAPS	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	49.198,08
ASN						32	32						8.199,68
CLY						32	32						8.199,68
CWK							145	145					10.399,40
DPS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
GSF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
GCR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
LVD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
PHOM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
KFS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
ALCF	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	14.280,00
DAC	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	14.280,00
GDO	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	18	18	6.160,00
AJVPSP	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	30	30	4.800,00
ACFA	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	30	30	4.800,00
CAPL	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	30	30	4.800,00
DFV	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	30	30	4.800,00
EGC	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	30	30	4.800,00
EDMN	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	30	30	4.800,00
FFMD	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	30	30	4.800,00
FSR	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	30	30	4.800,00
JEMJ	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	30	30	4.800,00
LMM	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	30	30	4.800,00
RGLF	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	30	30	4.800,00
VAMSP	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	30	30	4.800,00
TOTAL													660.299,08
TOTAL ETAPA													2.196.897,24

2.7.2. Totalização de Recursos Humanos:

Total universidade: R\$ 2.196.897,24

Total de Recursos Humanos: R\$ 2.196.897,24

2.8. SERVIÇOS DE TERCEIROS

Não há serviço de terceiros.

2.9. MATERIAL DE CONSUMO

Etapa	Descrição	Custo Unitário	Quantidade	Custo do Material	Mês de Aquisição
		R\$		R\$	
18	Toner para impressora	449,90	6	2699,40	6,12,18,24,30,34
18	Pen drive 32 GB	47,90	12	574,80	6,12,18,24,30,34
Total				3.274,20	

Total universidade: R\$ 3.274,20

Total de Material de Consumo: R\$ 3.274,20

2.10. MATERIAIS PERMANENTES E EQUIPAMENTOS

2.10.1 – UNIVERSIDADE

Equipamento	Descrição	Custo Unitário R\$	Quantidade	Custo Material R\$	Mês de aquisição
Desktop I5+monitor	Padrão I5, 8ª geração, ou semelhante, com - 4GB de RAM - 1TB de Armazenamento - 1 Monitor 18,5"	3.955,61	12	47.467,32	2
Desktop I7+monitor	Padrão I7, 8ª geração, ou semelhante - 8GB de RAM - 1TB de Armazenamento - 1 Monitor 18,5"	5.339,09	4	21.356,36	2
Notebook I5	Padrão I5, 8ª Geração, ou semelhante - 8GB de RAM - 1TB de Armazenamento - PL2G	4.185,07	4	16.740,28	2
NoBreak	SMS Senoidal	3.072,52	5	15.362,60	2

Impressora Laser	Multifuncional laser P&B	1.490,43	1	1.490,43	2
HD externo	HD externo com, no mínimo: - 1 (um) TB (terabyte) de capacidade de armazenamento, - conexão USB 3.0, - Velocidade de Transferência de Dados, no mínimo, 4,0 GB/s, - compatível com os sistemas operacionais Linux e Windows, - fornecido com cabo USB 3.0 - manual de funcionamento e garantia	249,00	12	2988,00	6,12
Cluster HPC e toda infraestrutura	Nós Computacionais Dell EMC R640 1U, cada Nó configurado com: - 40 Cores em 2 sockets Intel Xeon Gold 6148 de 2.4 GHz, - com -27 MB cachê, - 10.4 GT/s UPI; - 96 GB de memória DDR4 2,666 MHz ECC Reg. (12x 8 GB DIMM); - 2 HDD de 2.4TB SAS 12Gb/s 10K RPM 2.5"; - 1 porta iDRAC9 Express para gerenciamento remoto; - 2 portas 1 Gigabit Ethernet; - 2 portas 10 Gigabit Ethernet; - 1 porta Mellanox ConnectX-5 Infiniband EDR 100Gb/s QSFP+- Redundante de alta eficiência energética 750W Platinum	55.501,15	16	888.018,40	6, 15, 24, 28
Workstation	Workstation Blade HX-750v3. Máquina desenvolvida especialmente para trabalhos pesados em CAD, CAM, BIM, CFD,	50.000,00	8	400.000,00	2, 9, 13, 18

simulações e renderizações.
Intel® Xeon® Gold 5118 CPU
Mark: 16447 pontos
Nvidia® Quadro® P2000
G3D Mark: 8887 pontos

Acompanha:

-01 Workstation Blade HX-750v3

-01 Cabo de força

-01 Certificado de garantia

-01 Manual de instalação

Especificações Placa de vídeo:

- 1024 Núcleos de processamento paralelo CUDA e 128 bits
- 5GB de memória gráfica (GPU) GDDR5
- Consumo máximo de energia 75W
- Banda de memória de 140GB/s
- API gráficas: DirectX 12, OpenGL 4.5, Shader Model 5.0 e Vulkan 1.0
- API computacionais: Cuda, DirectCompute e OpenCL
- Barramento PCI Express (PCI-E) 3.0 16x
- Performance de precisão FP32: 3.0 TFLOPS
- 4 DisplayPort, suportando uma resolução máxima de 4096 x 2160 @ 60Hz (1 adaptador Display port – HDMI incluso)

Especificações Placa mãe:

Memória RAM:

- Tipo de memórias aceitas: DDR4 ECC RDIMM/LRDIMM 2133/2400/2666
- Número máximo de pentes: 16
- Número máximo de canais: 12
- Capacidade máxima de memória RAM: 2048GB

Especificações de I/O:

-Número de portas USB: 7
 -Número de portas SATA: 10*
 -Número de conexões M2 NVMe: 4
 -Possibilidade configuração RAID: SW RAID 0/1/10
 -Número de portas serial: 1
 -Numero de portas LAN: 3*
 -LAN integrada: 2x 10GbE (10GBase-T), 1x IPMI
 *O número de conectores na placa mãe é de 2 SATA, os outros 8 SATA são utilizáveis com o cabo Mini-SAS (SFF-8643) da Intel.
Tecnologias suportadas:
 Intel® Optane™: Suportado
 Intel® Virtualization Technology for Directed I/O (VT-d): Suportado
 Intel® Remote Management Module Support: Suportado
 Intel® Node Manager: Suportado
 Intel® Quick Resume Technology: Não suportado
 Intel® Quiet System Technology: Não suportado
 Intel® HD Audio Technology: Não suportado
 Intel® Rapid Storage Technology enterprise: Suportado
 Intel® Fast Memory Access: Suportado
 Intel® Flex Memory Access: Suportado
 Intel® I/O Acceleration Technology: Suportado
 Intel® Advanced Management Technology: Suportado
 Intel® Server Customization Technology: Suportado
 Intel® Build Assurance Technology: Suportado
 Intel® Efficient Power Technology: Suportado

	<p>Intel® Quiet Thermal Technology: Suportado</p> <p>Especificações gabinete:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Dimensão (LxAxP): 245 x 570 x 557 mm (ATX Mid Tower) – 5 Baías 5.25" – 7 Baías 3.5" – 8 Baía 2.5" – 9 Baías PCI – Tool-free, não necessita de ferramentas para manusear <p>Conexões:</p> <ul style="list-style-type: none"> – 4 USB 3.0 frontal (2 funcionais devido a limitação da placa mãe) – 1 Conector P2 3.5mm alto-falante/fone de ouvido – 1 Conector P2 3.5mm microfone <p>Especificações fonte de alimentação:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Fonte com potência contínua, saída constante de energia melhor distribuição em picos de curta duração – PFC Ativo – 80 Plus, eficiência energética de 80% – Full Range (90 a 240V) – Potência Real: 500w <p>Proteções:</p> <ul style="list-style-type: none"> – OVP (Over Voltage Protection) – UVP (Under Voltage Protection) – OCP (Over Current Protection) – OPP (Over Power Protection) – SCP (Short Circuit Protection) – OTP (Over Temperature Protection) 				
--	---	--	--	--	--

PIV (baixo custo) +Acessórios	Sistema PIV (Particle Image Velocimetry) Conjunto inicial de aprendizagem de um sistema PIV, constituído por: no mínimo, - 2 câmeras - Blackfly S Color 1.3 MP USB3 Vision - Módulo do Matlab – PIVLab - Treinamento.	28.840,00	1	28.840,00	2
TOTAL				1.422.263,39	

Total Universidade: R\$ 1.422.263,39

Total de Materiais Permanente e Equipamentos: R\$ 1.422.263,39

Observação: considerando a cotação do dólar a R\$ 4,00.

2.11. VIAGENS E DIÁRIAS

VIAGENS						
Localidade	Participantes	Etapa	Tipo do Transporte	Custo Unitário	Quantidade	Custo Total
				R\$		R\$
Nova York – Goiânia (ida e volta)	CWK	19	Aéreo	4.000,00	3	12.000,00
Uberlândia – Goiânia (ida e volta)	ASN, DK, RAPS	10, 11, 12, 13, 14, 19	Terrestre	300,00	12	3.600,00
Londrina – Goiânia (ida e volta)	ASB	13, 14	Aéreo	400,00	3	1.200,00
Recife – Goiânia (ida e volta)	MFSV	13, 14	Aéreo	1.000,00	3	3.000,00
Viagem para congresso internacional (ida e volta)	FPM, AAN, DK, JRGV, LQM, SKJ, JLOP, ASB, MFSV, RAPS, ASN, CWK, CLY, MGFN	6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18	Aéreo	4.000,00	8	32.000,00
Viagem para congresso nacional (ida e volta)	FPM, AAN, DK, JRGV, LQM, SKJ, JLOP, ASB, MFSV, RAPS, ASN, CWK, CLY, MGFN	6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18	Aéreo	1.000,00	16	16.000,00
Combustível para deslocamento UFG-FURNAS (Aparecida de Goiânia)	FPM, AAN, JRGV, LQM, SKJ, JLOP, MGFN	3-9	Terrestre Automóvel	4,60	3.840 Litros de gasolina	17.664,00
TOTAL						85.464,00

Observações:

- 1) As viagens para congressos nacionais e internacionais são exclusivamente para os membros da equipe apresentadores de trabalhos relacionados diretamente com o presente projeto para a difusão do conhecimento obtido.
- 2) As demais viagens são para deslocamentos de membros da equipe, para realizar atividades estritamente relacionadas com o projeto como, por exemplo, reuniões de equipe, realização de experimentos no Laboratório de Aerodinâmica de FURNAS em Aparecida de Goiânia e para os apresentadores dos cursos de capacitação e transferência de tecnologia.
- 3) O valor das viagens para congressos nacionais foi definido baseado no valor de uma viagem para Recife, observa-se que não é possível saber, a priori, onde os congressos acontecerão.
- 4) O valor das viagens para congressos internacionais foi definido baseado no valor de uma viagem para Nova York, observa-se que não é possível saber, a priori, onde os congressos acontecerão.
- 5) Considerando o preço da gasolina no valor de R\$ 4,60 na região da Grande Goiânia, abril 2018.
- 6) Destaca-se que os valores de viagens variam muito com relação as datas de ida e volta e aos horários de partida. Deve ficar claro que no uso desse recurso opta-se por uma otimização entre dias e horários com relação ao preço da passagem.

DIÁRIA						
Descrição	Participante	Etapa	Tipo de Gasto	Custo Unitário	Quantidade	Custo Total
				R\$		R\$
Diária nacional Goiânia-GO	DK, ASB, MFSV, RAPS, ASN, CWK, CLY	10, 11, 12, 13, 14, 19	Hospedagem	318,54	101	32.173,00
Diária nacional Recife-PE	FPM, AAN, LQM, DK	13, 14	Hospedagem	320,00	42	13.440,00
Diária nacional	FPM, AAN, DK, JRGV, LQM, SKJ, JLOP, ASB, MFSV, RAPS, MGFN	1 - 18	Hospedagem	320,00	63	20.160,00
Diária internacional	FPM, AAN, DK, JRGV, LQM, SKJ, JLOP, ASB, MFSV, RAPS, MGFN	4 - 18	Hospedagem	1480,00	14	20.720,00
TOTAL						86.493,00

Observações:

- 1) As diárias nacionais e internacionais são exclusivamente para os membros da equipe apresentadores de trabalhos relacionados diretamente com o presente projeto para a difusão do conhecimento obtido.
- 2) As demais diárias são para deslocamentos de membros da equipe, para realizar atividades estritamente relacionadas com o projeto como, por exemplo, reuniões de equipe, realização de experimentos no Laboratório de Aerodinâmica de FURNAS em Aparecida de Goiânia e para os apresentadores dos cursos de capacitação e transferência de tecnologia.
- 3) O valor das diárias foi definido baseado no praticado pelo CNPq para auxílios individuais de curta duração, vide site do CNPq. (http://www.cnpq.br/web/guest/view/-/journal_content/56_INSTANCE_0oED/10157/1318146?p_p_state=pop_up&_56_INSTANCE_0oED_page=1&_56_INSTANCE_0oED_viewMode=print) e no anexo D.
- 4) Quanto às diárias internacionais o valor de referência adotado foi o praticado pelo CNPq para viagens aos Estados Unidos da América e maioria dos países europeus (US\$ 370,00), uma vez que, a grande maioria de congressos de relevância em Energias Renováveis e Eólica acontecem nesses locais.
- 5) Considerando a cotação do dólar a R\$ 4,00.

Total Universidade: R\$ 171.957,00

Total de Viagens e Diárias: R\$ 171.957,00

2.12. OUTROS

Contratante	Tipo do Gasto	Descrição do Gasto	Custo	Sequencial da Etapa
			R\$	
FURNAS	Publicações	Publicações em eventos nacionais	18.000,00	Etapas 2-19
FURNAS	Publicações	Publicações em eventos internacionais	18.480,00	Etapas 2-19
FURNAS	Publicações	Publicação de livro	15.000,00	Etapas 2-19
FURNAS	Traduções de artigos	Tradução de artigos para periódicos internacionais	10.800,00	Etapas 2-19
FURNAS	3 Eventos de divulgação	Seminários, apresentações, mesas redondas, reuniões para apresentação das atividades do projeto	55.000,00	Etapas 2-19
TOTAL			R\$ 117.280,00	
FURNAS	Taxa de administração	Taxas de interveniência administrativa da Fundação	217.315,10	Etapas 2-19
FURNAS	Taxa de mobilização		217.315,10	Etapas 2-19
TOTAL			R\$ 551.910,20	

Total Universidade: R\$ 551.910,20

Total de OUTROS: R\$ 551.910,20

PLANO DE DISPÊNDIO

1. Identificação do Projeto

Sigla			
Nome	Desenvolvimento de processos numéricos de alta ordem de convergência e experimentais de baixo custo para o estudo de escoamento de ventos sobre terrenos: estimativa do potencial eólico		
Duração Prevista	36 meses	Órgão Gestor	UFG/FUNAPE
Elaborado por	Felipe Pamplona Mariano e equipe	Data Elaboração	09/04/2018

2. Plano de Dispendios - Geral

Descrição	Valor R\$
Materiais Permanentes / Equipamentos	1.422.263,39
Serviços de Terceiros / Consultorias	0,00
Recursos Humanos	2.196.897,24
Materiais de Consumo	3.274,20
Viagens e Diárias	171.957,00
Outros	551.910,20
Total	4.346.302,03

2.1 Materiais Permanentes / Equipamentos

Descrição	Quant.	Preço Unit. R\$	Preço Total R\$	Data Limite de Disponibilização para o Projeto
Desktop I5+monitor	12	3.955,61	47.467,32	mês 2
Desktop I7+monitor	4	5.339,09	21.356,36	mês 2
Notebook I5	4	4.185,07	16.740,28	mês 2
NoBreak	5	3.072,52	15.362,60	mês 2
Impressora Laser	1	1.490,43	1.490,43	mês 2
HD Externo (1TB)	12	249,00	2.988,00	meses 6, 12
Cluster HPC e toda infraestrutura	16	55.501,15	888.018,40	meses 6, 15, 24, 28
Workstation	8	50.000,00	400.000,00	meses 2, 9, 13, 18
PIV (baixo custo) + Acessórios	1	28.840,00	28.840,00	mês 2

2.2 Serviços de Terceiros / Consultorias

Descrição	Quant.	Preço Unit. R\$	Preço Total R\$	Data Limite de Disponibilização para o Projeto
	0	0,00	0,00	

2.3 Recursos Humanos

Função	Total de Horas	R\$ Por hora	Total R\$	Data Limite de Disponibilização para o Projeto
Coordenador	1.152	128,12	147.594,24	Meses 1-36
Pesquisador Bolsista / Doutor	870	35,86	31.198,20	Meses 7, 8, 19, 20, 31, 32
Pesquisador Bolsista / Pós-Doutorando 1	384	128,12	49.198,08	Meses 6, 7, 18, 19, 30, 31
Pesquisador Bolsista / Pós-Doutorando 2	1.080	136,66	147.592,80	Meses 1-36
Pesquisador Bolsista / Pós-Doutorando 3	2.880	51,25	147.600,00	Meses 1-36
Pesquisador Bolsista / Pós-Doutorando 4	9.216	128,12	1.180.753,92	Meses 1-36
Pesquisador Bolsista / Mestrando	21.600	10,00	216.000,00	Meses 1-24
Auxiliar Técnico	2.976	35,00	104.160,00	Meses 1-36
Auxiliar Técnico Bolsista	11.520	15,00	172.800,00	Meses 1-36

2.4 Materiais de Consumo

Descrição	Total	Data Limite de Disponibilização para o Projeto
Toner para impressora	2699,40	Meses 6, 12, 18, 24, 30, 34
Pen drive 32 GB	574,80	Meses 6, 12, 18, 24, 30, 34

2.5 Viagens e Diárias

Descrição	Total	Data Limite de Disponibilização para o Projeto
Viagens Nova York – Goiânia (ida e volta)	12.000,00	Meses 8, 18, 30
Viagens Uberlândia – Goiânia (ida e volta)	3.600,00	Meses 8, 18, 30
Viagens Londrina – Goiânia (ida e volta)	1.200,00	Meses 10, 18, 20, 30
Viagens Recife – Goiânia (ida e volta)	3.000,00	Meses 15, 22, 30
Viagens para congresso internacional (ida e volta)	32.000,00	Meses 7, 8, 10, 15, 17, 19, 27, 28, 29
Viagens para congresso nacional (ida e volta)	16.000,00	Meses 11, 12, 20, 22, 30, 31
Diária nacional Goiânia-GO	32.173,00	Meses 7, 8, 10, 15, 17, 18, 19, 20, 22, 27, 28, 29, 30, 31
Diária nacional Recife-PE	13.440,00	Meses 15, 22, 30
Diária nacional	20.160,00	Meses 7, 8, 10, 15, 17, 18, 19, 22, 27, 28, 29, 30, 31, 32
Diária internacional	20.720,00	Meses 7, 8, 15, 17, 18, 19, 27, 28, 29
Combustível FURNAS-UFG	17.664,00	Meses 1-36

2.6 Outros

Descrição	Total	Data Limite de Disponibilização para o Projeto
Publicações em eventos nacionais	18.000,00	Meses 10, 11, 12, 20, 21, 22, 30, 31, 32
Publicações em eventos internacionais	18.480,00	Meses 7, 8, 17, 18, 19, 27, 28, 29
Publicação de livro	15.000,00	Mês 33
Tradução de artigos para periódicos internacionais	10.800,00	Meses 12, 18, 24, 25, 30, 36
Eventos de divulgação	55.000,00	Meses 12, 24, 35
Taxas de interveniência administrativa	217.315,10	Mês 1
Taxas de mobilização	217.315,10	Mês 1

3. Aquisições

Os serviços, materiais, equipamentos, mão de obra e outros necessários para a execução deste projeto serão adquiridos conforme o plano consolidado de aquisições da Gestão de Projetos de P&D+I e podem sofrer alterações no decorrer do projeto.

2.13. CRONOGRAMA FÍSICO-FINANCEIRO

2.13.1. UNIVERSIDADE

Ano	Mês	Custos (R\$)							Valor da Parcela (R\$)
		RH	ST	MP	MC	VD	OU	Relatório ou produto entregue	
1	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	434.630,20	RT1	434.630,20
	2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
	3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
	4	246.593,44	0,00	181.256,99	0,00	1.962,68	0,00	RT2	429.813,11
	5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
	6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
	7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
	8	273.392,20	0,00	208.110,20	545,70	26.563,70	3.152,00	RT3	511.763,80
	9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
	10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
	11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
	12	248.313,44	0,00	155.494,00	545,70	11.414,30	26.304,00	RT4	442.071,44
2	13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
	14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
	15	184.945,08	0,00	347.016,00	0,00	16.368,52	4.728,00	RT5	553.057,60
	16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
	17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
	18	193.144,76	0,00	56.000,00	545,70	26.073,03	4.728,00	RT6	280.491,49
	19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
	20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
	21	203.544,16	0,00	0,00	0,00	18.846,36	4.728,00	RT7	227.118,52
	22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
	23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
	24	186.665,08	0,00	217.616,20	545,70	12.168,07	24.728,00	RT8	441.723,05
3	25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
	26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
	27	157.945,08	0,00	0,00	0,00	11.172,52	4.728,00	RT9	173.845,60
	28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
	29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
	30	166.144,76	0,00	256.770,00	545,70	37.165,09	4.728,00	RT10	465.353,55
	31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
	32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
	33	176.544,16	0,00	0,00	0,00	8.750,84	19.728,00	RT11	205.023,00
	34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
	35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
	36	159.665,08	0,00	0,00	545,70	1.471,89	19.728,00	RT12	181.410,67
TOTAL R\$		2.196.897,24	0,00	1.422.263,39	3.274,20	171.957,00	551.910,20		4.346.302,03

* RH: Recursos Humanos; ST: Serviços de Terceiros; MC: Materiais de Consumo; VD: Viagens e Diárias; OU: Outros; IT: Instrução de Trabalho; CC: Código Computacional; RT: Relatório Técnico.

3. REFERÊNCIAS UTILIZADAS NA PRESENTE PROPOSTA

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Relatório ANEEL 2007 / Agência Nacional de Energia Elétrica. – Brasília: ANEEL, 2008.

AMARANTE, O. A. C.; BROWER, M.; ZACK, J.; DE SÁ, A. L. “Atlas do Potencial Eólico Brasileiro”. Brasília, 2001.

BORGES, A. S. Desenvolvimento de Procedimentos de Modelagem de Interação Fluido-Estrutura Combinando a Teoria de Vigas de Cosserat e a Metodologia de Fronteira Imersa. Tese (Doutorado) — Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, Brasil, 2010.

CANUTO, C. et al. Spectral methods: evolution to complex geometries and applications to fluid dynamics. New York: Springer Verlag, 2007.

CANUTO, C. et al. Spectral Methods-Fundamentals in Single Domains. New York: Springer, 2006.

COIMBRA, P.; TIBÚRCIO, J. “Geografia: uma Análise do Espaço Geográfico”. 3 ed. Harbra. São Paulo. 2006.

de MELO, C.A; JANNUZZI, G.M.; BAJAY, S.V. “Nonconventional renewable energy governance in Brazil: Lessons to learn from the German experience”. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 61, pp. 222-234, 2016.

FADIGAS, E. Energia Eólica. 1ª Edição. São Paulo: Editora Manole Ltda., 2011. 356 p.

FORTUNA, A. de O. Técnicas Computacionais para Dinâmica dos Fluidos, conceito básicos e aplicações. São Paulo, SP: Universidade de São Paulo, 2000.

GOVARDHAN R.; WILLIAMSON, C.H.K. “Mean and Fluctuating Velocity Fields in the Wake of a Freely-Vibrating Cylinder”. Journal of Fluids and Structures. v. 15, pp. 489 -501. 2001.

HERBERT, G. A review of wind energy technologies, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Índia, v.11, nº 6, p 1117-1145, aug. 2007.

KNISELY, C.W. “Strouhal numbers of rectangular cylinders at incidence: A review and new data. Journal of Fluids and Structure. v.4, Isses 4. pp. 371-393. 1990.

KREITH, F. Krumdieck, S. Principles of Sustainable Energy Systems. 2ª Edição. Estados Unidos: Editora CRC, 2013. 790 p.

LU, X.Y. “A Numerical Study of Fow Past a Rotationally Oscillating Circular Cylinder”. Journal of Fluids and Structures. v.10, pp. 829 – 849. 1996.

MALISKA, C. R. Transferência de Calor e Mecânica dos Fluidos Computacional. Brasil: Livros Técnicos e Científicos Editoras S.A. - LTC, 1995.

MARIANO, F. P. Simulação de escoamentos não ao Periódicos Utilizando a Metodologia Pseudo-Espectral de Fourier Acoplado com o Método da Fronteira Imersa. Dissertação (Mestrado) — Faculdade de Engenharia Mecânica - FEMEC, Uberlândia, MG, Brazil, 2007.

MARIANO, F. P. Soluções Numéricas de Navier-Stokes Utilizando uma Hibridação das Metodologias Fronteira Imersa e Pseudospectral de Fourier. Tese (Doutorado) — Faculdade de Engenharia Mecânica - FEMEC, Uberlândia, MG, Brazil, 2011.

MARIANO, F. P.; MOREIRA, L. Q.; SILVEIRA-NETO, A. A new incompressible navier-stokes solver combining fourier pseudo-spectral and immersed boundary methods. Computer Modeling in Engineering Science, p. Vol.59, N ° 2, pp181–216, 2010.

MING Z.; CHENG L.; HONGWEI A. “Numerical investigation of vortex-induced vibration of a circular cylinder in transverse direction in oscillatory flow”. Ocean Engineering 41. pp. 39–52. 2012.

MITTAL, R.; IACCARINO, G. Immersed boundary methods. Annual Review of Fluid Mechanics, p. v.37, pages 239–261, 2005.

MOREIRA, L. Q. Simulação de Grandes Escalas de Jatós Periódicos Temporais Utilizando a Metodologia Pseudo-Espectral de Fourier. Dissertação (Mestrado) — Faculdade de Engenharia Mecânica - FEMEC, Uberlândia, MG, Brazil, 2007.

MOREIRA, L. Q. Modelagem Matemática de Jatós em Desenvolvimento Espacial Usando a Metodologia Pseudospectral de Fourier. Tese (Doutorado) — Faculdade de Engenharia Mecânica - FEMEC, Uberlândia, MG, Brasil, 2011.

Nascimento, A. A. MÉTODOS PSEUDOSPECTRAL DE FOURIER E FRONTEIRA IMERSA APLICADOS A ESCOAMENTOS SIMPLIFICADOS DE ENGENHARIA DE PERFURAÇÃO. Tese (Doutorado) — Faculdade de Engenharia Mecânica - FEMEC, Uberlândia, MG, Brasil, 2016.

NGUYEN, T.; KOIDE, M; YAMADA, S.; TAKAHASHI, T.; SHIRAKASHI, M. “Influence of mass and damping ratios on VIVs of a cylinder with a downstream counterpart in cruciform arrangement”. Journal of Fluids and Structures. v.28. pp 40–55. 2012.

NOMURA, T. “ALE finite element computations of fluid-structure interaction problems”. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. v.112. pp. 291-308. 1994.

NORBERG, C. “Flow around rectangular cylinders: Pressure forces and wake frequencies”. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. v.49. pp. 187-196. 1993.

PFISTER, C. History of Climate, International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences, Suíça, 2ª Ed. pp. 865-872, 2015.

SINGH, S.P.; MITTAL, S. “Vortex-induced oscillations at low Reynolds numbers: Hysteresis and vortex-shedding modes”. Journal of Fluids and Structures. v. 20. pp. 1085–1104. 2005.

VASCO, J. R. G. Impacto hidrodinâmico em superfície livre e geração de ondas: Simulações com técnicas Lagrangeanas. Tese (Doutorado) — Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP, Brasil, 2014

VIOLA, M.R.; de MELLO, C.R.; CHOU, S.C.; YNAGI, S.N.; GOMES, J.L. "Assessing climate change impacts on upper Grande river basin hydrology, Southeast Brazil", *Internacional Journal of Climatology*, Brasil, v.35, n. 6, p.1054-1068, 2015.

WANG, Z.; FAN, J.; LUO, K. Combined multi-direct forcing and immersed boundary method for simulating flows with moving particles. *International Journal of Multiphase Flow*, v. 34, p. 283–302, 2008.

Coordenador Técnico

Responsável Legal da Proponente

Responsável Legal da
Proponente/Fundação