



**MODELO DE TERMO DE REFERÊNCIA DE PESSOA JURÍDICA - SBQC**

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME  
OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO - ONS**

**PROJETO META**

Projeto de Assistência Técnica dos Setores de Energia e Mineral

**BANCO MUNDIAL**

**BANCO INTERNACIONAL PARA A RECONSTRUÇÃO E DESENVOLVIMENTO –  
BIRD**

**Empréstimo: 9074 - BR**

**Termo de Referência do Subprojeto 24 do Plano de Aquisição do STEP - Consultoria**

**Subprojeto 24 -Previsão de Geração de Fonte Solar: Estudo de variáveis influentes e desenvolvimento de modelo de previsão.**

**Setembro/2022**



***TERMO DE REFERÊNCIA - TDR do Subprojeto 24 do Plano de Aquisição do STEP -  
Consultoria***

**Subprojeto 24 -Previsão de Geração de Fonte Solar: Estudo de variáveis influentes e desenvolvimento de modelo de previsão.**

***1 CONTEXTUALIZAÇÃO***

A expansão da capacidade instalada de usinas solares fotovoltaicas nos últimos anos, adicionada à previsão de alto crescimento desta fonte, especificamente, nas regiões Nordeste, Sul e Sudeste do Brasil, impuseram ao Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) a necessidade de aperfeiçoar os insumos dos estudos energéticos e elétricos visando uma melhor representação desta fonte de geração que possui alta variabilidade. Face a essa grande inserção faz-se necessário a alocação de um montante adequado de reserva de potência operativa.

Neste sentido, é de suma importância que a previsão de geração por fonte solar fotovoltaica, seja feita com suficiente precisão para o planejamento de curtíssimo e curto prazo da Operação eletroenergética, bem como para a Operação em Tempo Real do Sistema Interligado Nacional (SIN).

A fonte solar fotovoltaica possui diversos benefícios conhecidos para o Brasil, nas diversas esferas: socioeconômica, gerando empregos diretos e indiretos e economia ao consumidor; ambiental, por ser um recurso renovável e de menor impacto em comparação à geração de outras fontes de energia, principalmente, originadas de combustíveis fósseis; estratégica, dado que uma alta quantidade de radiação solar atinge a superfície em quase todo o território brasileiro, possibilitando a implementação da geração mais próxima da carga, o que aumenta a segurança energética.

Atualmente, a representatividade da geração solar fotovoltaica ainda é discreta no país, representando 2,5% da matriz energética. Todavia, é certo que haverá um crescimento significativo. Para exemplificar, a capacidade instalada, de geração centralizada, no final de 2019 era cerca de 2,5 GW e atualmente, este valor se aproxima de 5 GW. Quanto à capacidade instalada de geração distribuída, o montante é superior a 14 GW (março/2022) com uma previsão de dobrar esse montante até 2025.



A previsão de geração solar fotovoltaica leva em consideração variáveis meteorológicas e negligencia as restrições no sistema de transmissão. Essa questão somente é tratada durante a Programação Diária, que realiza cortes no montante previsto de modo a considerar as restrições elétricas. Na operação em Tempo Real, para atender ao balanço carga x geração, também pode ser necessário solicitar aos agentes reduções na geração solar fotovoltaica (*curtailment*), o que resulta em pagamento de *constrained-off*.

Atualmente, esse custo é repassado aos consumidores, assim como o custo de se alocar um valor de reserva de potência mais expressivo para fazer frente à variabilidade da fonte fotovoltaica. Nesse sentido, faz-se necessário aprofundar debates que tenham como objetivo a transferência da responsabilidade de gerenciar a intermitência de fontes renováveis aos geradores dessa energia.

Os leilões de energia, vem se mostrando uma das melhores alternativas para promover uma maior inserção da geração renovável e estão se tornando mais sofisticados com o passar dos anos. Em países desenvolvidos ou mesmo em desenvolvimento, já foram realizados leilões que exigiam uma garantia de suprimento (energia firme) por parte dos geradores, independentemente das condições climáticas (Maurer, Doyle, Hyman, Loretta, & Torres, 2020). Esse tipo de leilão tende a encorajar a utilização de baterias para armazenar o excedente de energia em momentos de baixa demanda e/ou de restrições elétricas de modo a utilizá-lo para atender à ponta, o que consiste em uma forma de transferir o risco da intermitência ao gerador. Outro ponto para incentivar a utilização dos sistemas de armazenamento consiste em discutir a remuneração aos serviços múltiplos fornecidos ao sistema pelas baterias, como por exemplo, reserva de potência, regulação de frequência e controle de tensão. Todas essas questões podem fazer parte dos debates envolvendo a reforma do Sistema Elétrico Brasileiro – SEB.

## **2 JUSTIFICATIVA**

A crescente inserção das fontes renováveis variáveis acarreta desafios ao planejamento da expansão, operação e comercialização de energia. Devido a importância da geração fotovoltaica, aliada a seu potencial de crescimento na matriz energética brasileira, a acurácia da previsão de geração desta fonte é extremamente importante para o planejamento e a operação do sistema.

A produção fotovoltaica possui incertezas associadas a fatores meteorológicos, causando inevitáveis desvios de previsão, o que traz necessidade de maior reserva de potência operativa para atender as variações de carga, e mesmo a necessidade de redespacho hidrotérmico em



casos de desvios significativos. Tais circunstâncias, aumentam o custo de operação, gerando mais encargos que refletem em um custo maior ao consumidor.

Sendo assim, é importante que o ONS disponha de modelos e ferramentas capazes de auxiliar no planejamento e na operação do SIN com uma maior previsibilidade e assertividade da previsão de geração dessas fontes variáveis.

### **3 VISÃO GERAL DO SUBPROJETO 24 DO ONS**

O subprojeto 24 tem como objetivo prover avanços na modelagem computacional para previsão de geração solar fotovoltaica, considerando o horizonte de tempo real (minutos até 24 horas à frente), curtíssimo prazo (até 7 dias à frente com foco principal até 48 horas à frente) e de curto prazo (até 1 mês à frente). Adicionalmente, são esperados avanços na análise de dados observados e previstos, metodologias de previsão de variáveis meteorológicas, técnicas de exploração e utilização destes dados.

Inicialmente, se faz necessária a análise de séries temporais relacionadas à geração solar fotovoltaica. Para compor dados históricos relativos à estas séries poderão ser considerados dados verificados/observados aquisitados pelo Sistema de Supervisão e Controle do ONS, bem como dados de geração solar fotovoltaica verificada provenientes de outras fontes de informação.

Destaca-se que, atualmente, há redundância de informação observada de geração solar fotovoltaica. A primeira fonte de informação é proveniente do sistema de supervisão e controle em tempo real do Operador, com discretização de 4 em 4 segundos, enquanto a segunda é enviada pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), proveniente do Sistema de Medição para Faturamento com discretização em intervalos 5 minutos e de 1 hora.

Considerando estas informações, os dados devem ser combinados de forma a obter séries que representem os agrupamentos utilizados nos modelos de previsão solar fotovoltaica para o curto e curtíssimo prazo e o Tempo Real. Mesmo com redundância de históricos, nem sempre é possível obter os dados medidos para todos os intervalos de tempo, sendo necessário o desenvolvimento de metodologias para o preenchimento destas lacunas, bem como a correção de dados e reconstrução das informações de geração verificada.

No que tange ao desenvolvimento de modelos de previsão de geração solar fotovoltaica deverão ser utilizadas as variáveis meteorológicas previstas (irradiação, temperatura, cobertura de nuvens, vento, umidade etc.) provenientes dos modelos numéricos de previsão



de tempo existentes. As previsões destas variáveis meteorológicas deverão ser analisadas, permitindo a avaliação do emprego de diferentes algoritmos para sua correção e/ou aprimoramento da previsão. Em seguida, estas informações deverão ser formatadas de modo que possam ser utilizadas para a previsão de geração solar fotovoltaica em todos os horizontes temporais supracitados. Assim, a previsão de geração solar fotovoltaica deverá ser feita por diferentes modelos computacionais, de acordo com a discretização e horizonte temporal considerados. Adicionalmente, se faz necessário o desenvolvimento de modelos e ferramentas/sistemas para a leitura e processamento de imagens de satélite e câmeras em superfície, que possibilitem associar a radiação que chega à superfície com a densidade das nuvens.

Os algoritmos de tratamento e adequação das variáveis meteorológicas deverão ser desenvolvidos separadamente dos modelos de previsão de geração fotovoltaica. Desta forma, mantém-se uma modularização, que permitirá o uso de diversas fontes e modelos numéricos de previsão do tempo para previsão de geração fotovoltaica. Caso, no decorrer do desenvolvimento do projeto, seja identificada a necessidade de criação de um modelo específico para variáveis meteorológicas, este também deverá estar separado do modelo de previsão de geração fotovoltaica, mantendo uma independência da origem das previsões de variáveis meteorológicas em relação ao modelo de previsão de geração solar fotovoltaica.

O modelo de previsão de geração para o tempo real, essencialmente, deverá considerar imagens de satélites e/ou de câmeras em terra (quando disponível), entre outras variáveis. Para isto, deverá ser desenvolvida uma ferramenta capaz de converter as imagens utilizadas em dados numéricos com discretização de tempo real/curtíssimo prazo, a ser definida em conjunto com o Operador, para que sejam utilizadas como dados de entrada do modelo de previsão de geração.

Caso seja utilizado mais de um modelo de previsão de geração ou mais de um modelo de previsão numérica do tempo, as previsões de geração fotovoltaica resultantes, originárias de cada modelo ou fonte, deverão ser combinadas, de forma a obter uma previsão única de qualidade superior às previsões individuais.

Destaca-se que a previsão para o planejamento de curtíssimo e curto prazo e a previsão para o tempo real têm propósitos relativamente diferentes, sendo assim, é proposto que ao longo do projeto sejam adotadas direções distintas para o desenvolvimento dos modelos computacionais e suas respectivas ferramentas/sistemas de suporte.



Para alcance dos objetivos, os produtos provenientes deste projeto serão validados pela equipe técnica do Operador. Os detalhes das validações serão tratados mais adiante neste documento. O Operador preza pela transparência de seus processos junto aos agentes do setor. Desta forma, entende-se que a sociedade deverá ter acesso aos registros e documentos detalhados das tecnologias, modelos matemáticos utilizados e/ou desenvolvidos e os algoritmos dos modelos de previsão, em código aberto e documentado. Sendo assim, após a finalização do projeto, o ONS será detentor dos direitos sobre os produtos entregues.

Levando em consideração estes aspectos, ressalta-se que, além do acompanhamento e gestão deste subprojeto, o Operador tem interesse que a equipe técnica participe de todas as fases de especificação e desenvolvimento, mantendo a troca de informações, conhecimentos técnicos, experiências, com o objetivo de absorver as tecnologias estudadas e adotadas neste projeto, considerando a possibilidade de expandir o uso dessas tecnologias para outras áreas do ONS. Todos os modelos e ferramentas testados e analisados, mesmo que não apresentem bons resultados para este projeto, deverão ser documentados de forma sucinta para atender os interesses e objetivos do Operador no sentido de ganhar conhecimento, dado que seu uso pode ser interessante para outras áreas de previsão dentro do ONS, como as previsões de geração eólica, carga, vazão etc.

#### **4 OBJETIVO E ALCANCE**

O objetivo do projeto é prover modelos de previsão de geração solar fotovoltaica com alta acurácia, utilizando variáveis meteorológicas e outras consideradas relevantes, para atender os processos de planejamento nos horizontes de curtíssimo e curto prazo, bem como a operação em tempo real, além de metodologias e ferramentas de tratamento e análise de dados.

Os produtos previstos fornecem benefícios adicionais, como ganhos metodológicos aplicáveis aos processos de previsão de geração eólica, de vazão e de carga, insumos para a formação de preços da energia, e para a utilização nos modelos de planejamento de mais longo prazo.

#### **5 RESULTADOS E PRODUTOS ESPERADOS**

Nos **Quadro 1** e **Quadro 2** estão listados os produtos esperados como resultados para as etapas 1 e 2, e suas respectivas fases. No item 6 deste documento é apresentada uma descrição detalhada do que representa cada etapa, fases, além de uma apresentação mais abrangente das atividades necessárias para o desenvolvimento de cada produto.



### Quadro 1 - Produtos da Etapa 1, fases 1,2 e 3 do Subprojeto 24 do ONS.

Fase	Produto	Atividades
1.	<b>Produto 1</b>	Relatório com análise das variáveis e requisitos e instrumentos de medição
	<b>Produto 2</b>	Desenvolvimento de modelos de previsão e relatórios com descrição dos modelos matemáticos
	<b>Produto 3</b>	Relatório com descrição dos modelos matemáticos propostos para a previsão de geração fotovoltaica
	<b>Produto 4</b>	Protótipo da 1ª versão do Modelo de Previsão de Geração Fotovoltaica (curtíssimo e curto prazo) e Manual
	<b>Produto 5</b>	Relatório com ajustes de parâmetros conforme necessidade do modelo
	<b>Produto 6</b>	Relatório de desempenho e sensibilidade do modelo de previsão
	<b>Produto 7</b>	Documentação e apresentação dos modelos matemáticos e código fonte dos algoritmos do modelo
2.	<b>Produto 8</b>	Código da cadeia de processamento, tratamento de falhas, fluxo do processo e manual de execução atualizado
	<b>Produto 9</b>	Histórico consolidado e validado de uma usina, do conjunto de 10 usinas
	<b>Produto 10</b>	Validação do processo de execução do modelo para uma usina, no ambiente do ONS
	<b>Produto 11</b>	Histórico consolidado e validado das 10 usinas
	<b>Produto 12</b>	Validação do processo de execução do modelo para as 10 usinas, no ambiente do ONS
	<b>Produto 13</b>	Operacionalização do processo de execução do Protótipo do Modelo de Previsão de Geração Fotovoltaica (curtíssimo e curto prazo) no ambiente do ONS, para as 10 usinas selecionadas
3.	<b>Produto 14</b>	Avaliação e aprimoramento dos algoritmos de previsão
	<b>Produto 15</b>	Protótipo da 1ª versão da ferramenta de correção de cobertura de nuvens
	<b>Produto 16</b>	Relatório de comparação, avaliação da previsão e lista de variáveis meteorológica
	<b>Produto 17</b>	Entrega da versão final do Modelo de Previsão de Geração Fotovoltaica (curtíssimo e curto prazo)
	<b>Produto 18</b>	Operacionalização do Modelo de Previsão de Geração Fotovoltaica (curtíssimo e curto prazo)
	<b>Produto 19</b>	Relatório com avaliação dos desafios, responsabilidades e soluções de gestão relacionadas a intermitência das fontes renováveis



## Quadro 2 - Produtos da Etapa 2, fases 1,2, 3 e 4 do Subprojeto 24 do ONS.

Fase	Produto	Atividades
1.	<b>Produto 20</b>	Sistema de aquisição e controle de qualidade de imagens de satélites e/ou sensores
	<b>Produto 21</b>	Modelo de estudo, identificação e vetorização dos campos de nuvens
2.	<b>Produto 22</b>	Sistema de detecção de deslocamento de nuvens (pixels)
	<b>Produto 23</b>	Avaliação de condições meteorológicas e da aplicabilidade de um modelo de transferência radiativa em condições de múltiplo espalhamento na presença de nuvens
	<b>Produto 24</b>	Modelo de previsão de irradiação solar na superfície
3.	<b>Produto 25</b>	Evolução dos algoritmos do modelo do planejamento de curtíssimo e curto prazo (Etapa 1) para obter dados de produção em tempo real
	<b>Produto 26</b>	Relatório com avaliação de desempenho e custo x benefício dos insumos usados para evolução destes modelos
	<b>Produto 27</b>	Primeira versão do Modelo de Previsão de Geração Fotovoltaica para o Tempo Real: documentação e resultados
4.	<b>Produto 28</b>	Documentação do Modelo de Previsão de Geração Fotovoltaica para o Tempo Real no ambiente do ONS
	<b>Produto 29</b>	Validação do processo de previsão para o tempo real e entrega da documentação e código fonte do modelo
	<b>Produto 30</b>	Operacionalização do processo de execução do Modelo de Previsão de Geração Fotovoltaica para o Tempo Real no ambiente do ONS e Manual do Usuário



## **6 ESCOPO DO TRABALHO E LIMITES DO PROJETO**

Este projeto está dividido em duas etapas, onde: (i) a primeira etapa refere-se ao desenvolvimento do modelo de previsão de geração fotovoltaica para o planejamento de curtíssimo e curto prazo; (ii) a segunda etapa é o desenvolvimento de um modelo de previsão para o tempo real e/ou a evolução/adaptação do modelo da etapa 1.

Para os produtos que necessitam utilização de dados históricos, o ONS fornecerá à instituição contratada os dados que possui de, inicialmente, no mínimo 10 usinas supervisionadas pelo Operador.

Os itens a seguir descrevem detalhadamente os produtos de cada etapa, apresentados nos **Quadro 1** e **Quadro 2**.

### **6.1 Etapa 1: Desenvolvimento do Modelo de Previsão Fotovoltaica para o planejamento de curtíssimo e curto prazo**

Esta etapa está dividida em 3 fases, sendo que na fase 1 serão escolhidos os modelos preditivos, que melhor se enquadrem ao tema, além de serem desenvolvidas metodologias e sistemas para o tratamento de dados, bem como a criação de um primeiro protótipo do modelo de previsão de geração solar fotovoltaica para o curtíssimo e curto prazo. A fase 2 refere-se à aplicação do primeiro protótipo, com a adequação para escalas temporais e espaciais compatíveis, e implementação operacional com otimização e validação para as usinas solares fotovoltaicas selecionadas. Na fase 3 serão traçadas as atividades referentes à implantação do produto desenvolvido.

Inicialmente, os modelos de previsão de geração serão desenvolvidos a partir de um conjunto de dados de no mínimo 10 (dez) usinas fotovoltaicas. A forma de disponibilização deste conjunto de dados e de outras grandezas será acordada com a Contratada, sendo necessário o estabelecimento de acordo de confidencialidade.

#### **6.1.1 Fase 1 – Prova de Conceito e desenvolvimento de previsores**

Esta fase tem o objetivo de verificar as diversas possibilidades em relação aos modelos matemáticos e computacionais existentes, conceitos, variáveis e teorias que possuem potencial para a previsão de geração de fontes renováveis, sendo esperados 7 produtos ao final desta fase.



### **6.1.1.1 Produto 1: Relatório com análise das variáveis e requisitos e instrumentos de medição**

Este produto tem por objetivo obter um levantamento das informações necessárias para melhorar os requisitos mínimos de instrumentos de medição, variáveis e critérios para aquisição dos dados, com foco principal nas necessidades dos modelos de previsão de geração de fotovoltaica e também para a geração eólica, alvo também no segundo produto. Assim, melhorar o processo de supervisão dos dados em tempo real e, conseqüentemente, prover um insumo de melhor qualidade para modelo de previsão de geração fotovoltaica.

Os dados de geração, temperatura do ar, irradiação e número de inversores são adquiridos pelo Operador através do Sistema de Supervisão e Controle com frequência de 4 segundos. No entanto não existe uma especificação mínima necessária em relação a localização e altura dos instrumentos meteorológicos, tipo e número de sensores, o que reflete na qualidade dos dados.

Tendo em vista a melhoria na qualidade dos dados enviados para o ONS, deve-se considerar a necessidade da especificação dos requisitos de medição, bem como para instalação de outros instrumentos de medição que forneçam uma melhor informação para uso nas previsões.

Algumas necessidades levantadas pela equipe técnica do Operador para subsidiar a construção desta fase:

- I. Identificar as variáveis necessárias para obter uma melhor previsão de geração fotovoltaica, a localização e altura dos instrumentos no parque, os requisitos de medição, frequência de coleta e os instrumentos necessários para fornecer uma medição de qualidade destas variáveis, indicando os equipamentos padrões a serem utilizados na medição de cada variável. Caso seja proposta a instalação de outros sensores nos parques fotovoltaicos, deve-se especificar qual a distância mínima entre eles.
- II. Especificar e avaliar custo-benefício de quais os equipamentos devem ser utilizados para capturar imagens do céu para avaliar a cobertura de nuvens, justificando a necessidade, e a relação custo/benefício desses equipamentos. Adicionalmente, definir e detalhar a necessidade de outras formas de aquisição de dados de nebulosidade.



- III. Caso o parque possua a tecnologia de rastreamento (*tracking*), deve-se especificar como essa informação será considerada no modelo. Seja na forma de aquisição de dados e representação nos modelos.
- IV. Especificar quais os tipos de satélites e canais são mais adequados, informando o histórico de dados de nebulosidade e/ou radiação disponíveis, bem como resolução espacial e temporal.
- V. Especificar como serão utilizadas as imagens de satélites nos modelos de curtíssimo, curto e médio prazo, descrever/avaliar as alternativas desses processos de aquisição das imagens de satélites no ONS e seu pós-processamento.
- VI. Especificar se os dados de satélites conseguem capturar o perfil vertical da atmosfera com relativa qualidade, no que diz respeito profundidade ótica das nuvens, bem como a sua representatividade espacial.
- VII. Especificar o ganho associado a incorporação de dados observados por satélite na previsão ou se essas informações seriam utilizadas para corrigir e melhorar a nebulosidade dos modelos, através da criação de um histórico de nebulosidade. A UCSD (*University of California San Diego*), por exemplo, utiliza imagens de satélite para previsão de até seis horas à frente. Estudos realizados pelo *Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE*, por outro lado, mostraram que o ganho com a inclusão desta informação não é tão relevante..
- VIII. Realizar análises e comparações da precisão de diferentes modelos numéricos de previsão do tempo (NWP - *Numerical Weather prediction*) para todas as variáveis com potencialidade de uso nos produtos desse projeto, como exemplo da irradiação, temperatura, cobertura de nuvens, vento, umidade etc. Propõe-se análises utilizando os modelos GFS (*Global Forecast System*), WRF (*Weather Research and Forecasting*) e IFS (*Integrated Forecast System*) do centro Europeu ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*), podendo ser considerados outros modelos numéricos, caso seja pertinente. O projeto deverá obter os históricos desses modelos juntamente as agencias detentoras dos mesmos.

Deverá estar descrito no relatório o estudo detalhado das variáveis de previsão e cobertura de nuvens, descrevendo os impactos nos resultados do modelo de previsão de geração fotovoltaica e nas calibrações iniciais.



### **6.1.1.2 Produto 2: Desenvolvimento de modelos de previsão e relatórios com descrição dos modelos matemáticos**

Este produto consiste no desenvolvimento e entrega de metodologias e modelos matemáticos para previsão de geração de forma mais genérica, aplicáveis as fontes renováveis, como eólica, fotovoltaica etc., através de seus respectivos códigos e relatórios. Em se tratando especificamente da previsão fotovoltaica, tem-se o escopo do Produto 3. Existem diversos modelos que podem ser explorados, a saber: modelos físicos, que utilizam previsões numéricas do tempo e relacionam essa previsão com a geração através de uma função de produtividade; modelos estatísticos, que utilizam dados históricos de modo a relacionar a disponibilidade do recurso meteorológico com a geração eólica/solar fotovoltaica (usualmente, utilizam análises de séries temporais e técnicas de inteligência artificial); e modelos híbridos, que combinam características de modelos físicos e estatísticos, i.e., fazem uso de análises de séries temporais, incluindo previsões numéricas do tempo como insumo.

As metodologias de todos os modelos deverão ser descritas e seus desempenhos comparados. Nas etapas futuras desse projeto, as metodologias de melhor desempenho para previsão fotovoltaica serão adaptadas em posteriores produtos. As melhores metodologias para previsão eólica, por exemplo, poderão ser aproveitadas pelo modelo de previsão do ONS, porém não faz parte do escopo desse projeto a realização dessa adaptação, no entanto, os modelos deverão ser criados já pensando nessa finalidade. O prazo de entrega do relatório será definido no decorrer do projeto e dependerá do número de modelos e metodologias explorados.

Os códigos a serem desenvolvidos deverão seguir um mesmo padrão de entrada e saída de dados. A modularização do processo também deverá ser a mesma para todos os modelos de geração, isto é, se houver um módulo destinado ao tratamento de dados no protótipo de um modelo, esse módulo também deverá constar nos códigos de todos os outros modelos apresentados. O manual de execução dos códigos deverá ser disponibilizado pela instituição contratada.

Os indicativos de temas que devem ser abordados nesse produto:

#### **I. Utilização de informação distribucional dos ensembles.**

Além de previsões determinísticas acuradas, é cada vez mais necessário obter informações acerca da incerteza correspondente à essa previsão. Modelos de previsão numérica do tempo podem ser usados para gerar previsões probabilísticas a partir de ensembles. No entanto, atualmente esta informação distribucional não é levada em consideração nos processos de



previsão do ONS. É desejável um modelo capaz de absorver a informação completa deste ensemble, que retorne também uma previsão distribucional (Möller, 2018), (Grönquist, 2021), (Tateo, 2019) e (Robertson, Shrestha, & Wang, 2016).

## II. Identificação/correção de sistemas meteorológicos

Em geral, os modelos de previsão numérica do tempo têm dificuldade em prever a evolução dos sistemas meteorológicos de mesoescala, tais como nuvens convectivas, impactando negativamente na previsão de geração e incorrendo em erros severos para a operação. É desejável um modelo que possa determinar, dispendo de um histórico desses sistemas previamente classificado, a probabilidade de ocorrência destes eventos nos dias de previsão, utilizando quaisquer variáveis explicativas que estejam disponíveis durante o processo operacional de previsão de geração.

## III. Incorporação de variáveis climáticas na previsão.

Indicadores climáticos de grande escala, como índice de Niño oceânico (ONI) e temperaturas do oceano, são modelados em escalas temporais muito mais amplas que a diária, aquela na qual se realiza a previsão de geração fotovoltaica. É interessante avaliar como as variáveis meteorológicas, como nebulosidade e vento, variam em função da condição climática determinada por estes índices, e como incorporar estes efeitos no processo de previsão de geração de energia fotovoltaica e eólica. Considerando a diferença de escala temporal, modelos com chaveamento markoviano (Ailliot, 2021), (Hering, 2015) e (Kang, 2014) ou estruturas hierárquicas (Gilbert, 2019), (Croonenbroeck, 2015) e (Fawcett, 2006) são opções atrativas: o primeiro por poder indicar estados latentes explicáveis, mas não necessariamente correspondentes às variáveis climáticas; o segundo por desvencilhar efeitos de diferentes escalas em diferentes níveis de modelagem. Ainda é possível incorporar estas informações na forma de variáveis *dummies* com mesmo valor médio mensal repetido ao longo dos dias, embora essa opção seja considerada menos interessante.

## IV. Correção de viés e modelagem espaço-temporal.

Apesar das previsões numéricas de tempo serem realizadas de maneira “multivariada” espacialmente, no sentido de que estes modelos simulam e preveem múltiplos pontos no espaço conjuntamente, a correção de viés atualmente realizada pelo Operador é univariada para cada usina. É possível que neste processo alguma informação da interação entre regiões esteja sendo perdida. Não obstante, é também verossímil que modelos numéricos não sejam capazes de capturar toda a dependência espacial. Combinando estes fatores, buscam-se ferramentas/sistemas que sejam capazes de corrigir a variável explicativa de modo



multivariado ou realizar a previsão multivariada diretamente (Tastu, 2011), sem passo intermediário de correção. Métodos baseados em cópulas (Zhang, 2013) e (Arrieta-Prieto, 2022) podem ser uma alternativa viável, dado que se espera relativa esparsidade na dependência entre usinas. Métodos clássicos para modelagem de séries multivariadas como VARMA – Vector ARMA (Hering, 2015), (Browell, 2018) e *State Space* (Kang, 2014) também podem ser úteis. Considerando a alta dimensionalidade, é possível que abordagens de clusterização ou encolhimento (LASSO, *Elastic Net* etc.) sejam úteis ou até mesmo indispensáveis. Finalmente, ainda em função da alta dimensão e volume de dados, métodos de redes (Huang, 2022) podem se provar mais computacionalmente eficientes e capazes de melhor performance.

#### V. Abordagens de aumento do conjunto de dados para previsão.

Para aplicações reais, técnicas de *Deep Learning* necessitam de uma grande quantidade de dados para treinamento, o que muitas vezes pode ir de encontro à realidade operativa, em que um aumento do sensoriamento e da aquisição de dados é desproporcionalmente custoso, em particular para a realidade do ONS, que gerencia dados de todas as instalações do país. Uma abordagem para melhorar o desempenho de técnicas de aprendizagem é por meio de abordagens de aumento do conjunto de dados (do inglês *Data Augmentation*). Ao realizar uma transformação do conjunto de dados, algumas outras abordagens podem ser facilitadas, como a mistura entre variáveis observadas (exógenas) e previstas por modelos numéricos de previsão do tempo e também possíveis remoções de vieses existentes nos dados (Chen, Birkelund, & Zhang, 2021). Desta forma, é proposto investigar técnicas de aumento do conjunto de dados para uso em Redes Neurais Recorrentes, em particular LSTM - *Long Short Term Memory*.

#### VI. Adoção de múltiplos modelos preditivos.

A previsão da geração proveniente de fontes alternativas de energia se mostra como um desafio, com diversas abordagens já apresentadas, mas até o momento sem um vencedor unânime em todas as situações. Neste contexto, pode ser considerado o uso de diversos modelos preditivos simultaneamente. Os modelos são treinados com algum agrupamento espacial e os dados de entrada e saída da validação são utilizados em uma posterior etapa de processamento para a seleção do melhor modelo para previsão de cada intervalo de amostras futuras (Wang, 2021). Atualmente, o modelo empregado pelo ONS para a previsão de geração eólica (WEOL) realiza a combinação de diversas previsões de modelos numéricos de previsão do tempo, que são aplicadas em um mesmo modelo de regressão. A proposta vai no sentido de expandir o espaço de decisão para além das fontes de dados, englobando também modelos de diferentes naturezas, que podem entregar desempenhos melhores em



determinados momentos do dia, para determinadas regiões. Detalhando modelos que podem ser implementados e testados:

a) Decomposição da série com VMD (*Variational Modal Decomposition*) ou Wavelet;

Para tornar mais robusta a previsão dos valores futuros em uma série temporal, um dos recursos possíveis é a obtenção de componentes que definem a série, realizando a previsão sobre estas componentes. Desta forma, os valores previstos da série temporal são recuperados a partir dos valores previstos de cada componente. Neste caso, são aplicados modelos preditivos que não possuem interpretação física, e sim estatísticas como ARMA ou RNN.

b) Redes Neurais LSTM;

Diferentemente dos modelos autorregressivos, que tem fatores constantes das contribuições de uma amostra defasada no tempo para uma amostra futura, redes neurais recorrentes, em particular a LSTM realizam a previsão considerando taxas de manutenção dos valores recentes e taxas de esquecimento dos valores passados. Apesar do treinamento das LSTM ser mais demorado em relação a redes neurais convencionais MLP, a aplicação dos modelos é rápida e tem sido largamente utilizada na previsão de curto prazo da geração de fontes renováveis.

c) Redes Neurais Convolucionais (CNN);

Amplamente aplicadas no processamento de imagem, as CNN realizam processamentos de dados considerados “próximos” de alguma forma, para extração de padrões e inferências. Este tipo de rede geralmente é construído possuindo uma grande quantidade de camadas, que permite que sejam extraídos padrões muitas vezes não aparentes através de uma mera visualização dos dados. Durante seu processo de treinamento, são aprendidos pesos para a construção dos *kernels*, unidades de ponderação para dados próximos, para resumir um conjunto de dados próximos em um único valor. No contexto de previsão de séries temporais, as CNN tem sido utilizada com *kernels* unidimensionais, para identificar padrões em uma janela temporal de dados, e assim inferir os próximos valores da série.

d) *Extreme Learning Machine* (ELM);

São redes neurais especializadas em tarefas que não necessitem da extração de características profundas dos dados, casos em que são usadas redes neurais profundas, de múltiplas camadas. As redes ELM são modelos *feedforward* e possuem apenas uma camada. Seu algoritmo de treinamento é mais eficiente, permitindo que sejam treinadas diversas redes para



processar apenas uma categoria dos dados, contribuindo para a operacionalização de sua aplicação.

- e) Metaheurísticas como GA, GWO e DA aplicadas à otimização de modelos paramétricos;

Muitos dos modelos preditivos são baseados em parâmetros, que são estimados de alguma forma com base em dados históricos verificados ou no erro de previsões anteriores. As técnicas de estimação muitas vezes são determinísticas, sendo frequentemente melhoradas com recursos como *data augmentation* ou outros pré-processamentos dos dados de entrada. Uma abordagem alternativa que vem sendo amplamente estudada é a utilização de técnicas de otimização biologicamente inspiradas, como Algoritmos Genéticos (GA), Otimização por Lobo Cinzento (GWO) e do Algoritmo de Libélula (DA) na estimação dos parâmetros dos modelos, contribuindo para calibrações possivelmente melhores que as previamente obtidas.

- f) Modelos híbridos;

Em geral, os modelos de previsão utilizam mais de uma técnica matemática/computacional. Pode destacar alguns exemplos: (i) decomposição da série com VMD + Redes LSTM (Jiandong, 2021); (ii) decomposição com VMD + ELM otimizada com GWO (Hao & Tian, 2019); (iii) decomposição com VMD + CNN com convolução temporal (Yildiz, Acikgoz, Korkmaz, & Budak, 2021); (iv) decomposição com transformada Wavelet + ELM robusta a *outliers* (Liu & Duan, 2021).

Por ser um produto genérico de metodologias aplicáveis a outras fontes de geração, caso seja necessário a utilização de outros dados, que não sejam apenas dados associados a previsão solar fotovoltaica, o ONS combinará com a Contratada a forma viável de se fazer a disponibilização.

Minimamente esse produto deverá abordar os temas e modelos indicados. No entanto, a contratada pode indicar outros temas e modelos relevantes que julgar pertinente. Esse produto deverá ser entregue em códigos e relatórios parciais trimestrais de desenvolvimento.

### **6.1.1.3 Produto 3: Relatório com descrição dos modelos matemáticos propostos para a previsão de geração fotovoltaica**

Este produto será uma delimitação do Produto 2. Os modelos desenvolvidos no Produto 2 devem ser adaptados à previsão de geração fotovoltaica. A revisão desse produto poderá ocorrer sempre que houver desenvolvimentos, de melhor desempenho, do Produto 2, sendo



necessário a padronização/modularização dos algoritmos desenvolvidos para produtos posteriores.

O Produto 3 deverá prover um estudo com a indicação das possíveis metodologias, modelos matemáticos existentes, conceitos e teorias que possuem potencial para serem utilizados na previsão de geração solar fotovoltaica. Embora o produto base seja um relatório, para sua elaboração deverão ser realizados análises avançadas, bem como a implementação e testes de modelos adaptados à previsão fotovoltaica. Este produto não deverá ser um relatório baseado apenas em revisões bibliográficas.

Para subsidiar este estudo, seguem alguns pontos e questões levantados pela equipe técnica do ONS:

- I. Identificar as metodologias de tratamentos de dados, para correção de geração e das variáveis de irradiância, temperatura, umidade, entre outras.
- II. No modelo de previsão de geração eólica do ONS, observa-se uma relação entre vento e geração similar a uma curva logística. Para geração fotovoltaica, pode ser constatado que a geração se relaciona quase linearmente com as variáveis influentes. Entretanto, num modelo multivariado, faz-se necessário especificar qual seria a função de transferência a ser ajustada. Poderia ser um hiperplano?
- III. Caso se decida por utilizar um modelo paramétrico, especificar qual forma de ajuste seria melhor para representar adequadamente os dados.
- IV. Sabe-se que as plantas solares têm características distintas, tais como implementação ou não de rastreamento em ambos os eixos ou posicionamento combinado de dois painéis de forma a maximizar a captação de radiação em diversas condições. Especificar se há a necessidade de inserção dessas características nos modelos de previsão de geração através de medições de ângulo dos rastreados ou se os efeitos dos rastreadores poderiam ser estimados com os próprios dados observados de geração e irradiância.
- V. Especificar se existe algum comportamento característico da geração fotovoltaica a ser observado e modelado com sazonalidade anual ou plurianual.
- VI. As variáveis e modelos mais representativos nos processos de previsão variam com horizonte, região etc. Especificar se existe algum processo de definição das variáveis



a serem utilizadas no modelo, bem como detalhar a escolha dos modelos e/ou técnicas mais adequados considerando esta variação.

- VII. Detalhar a existência e/ou predominância de alguma variável observada, de satélites, de *Sky Câmera* ou dos modelos meteorológicos que represente melhor a geração fotovoltaica nos modelos de curtíssimo, curto, médio e longo prazo.
- VIII. Especificar os dados a serem utilizados na calibração dos modelos, dados observados, previsões meteorológicas ou ambos.
- IX. Especificar quais os dados necessários para modelar as condições de céu claro.
- X. Especificar quais os dados dos modelos numéricos a serem utilizados, dados de cobertura de nuvens, em camada baixa, média e alta, bem como propor uma forma de correlacionar ou corrigir os dados de cobertura de nuvens prevista com as informações de satélite.
- XI. Os modelos numéricos de previsão do tempo fornecem a radiação total. Especificar se é necessária a modelagem em separado da radiação direta e difusa, detalhando os modelos de separação nestas duas componentes.
- XII. Especificar a possibilidade de modelar os efeitos da poluição atmosférica e do material particulado na radiação incidente, indicando o ganho na utilização destas informações.
- XIII. Especificar qualquer outra informação não mencionada, mas que foi identificada como relevante ao projeto.
- XIV. Após a revisão bibliográfica e implementação de alguns modelos de previsão, será necessário ajustar os parâmetros e aprimorar os algoritmos de forma a realizar uma boa previsão para um determinado conjunto de usinas, e assim, quantificar desempenho e sensibilidade do previsor para um período de teste a ser definido.

#### ***6.1.1.4 Produto 4: Protótipo da 1ª versão do Modelo de Previsão de Geração Fotovoltaica (curtíssimo e curto prazo) e Manual***

Este produto deverá prover algoritmos de previsão considerando a estrutura de dados do ONS, bem como conclusões dos estudos feitos nos Produto 2 e 3. O modelo utilizado no planejamento de curtíssimo e curto prazo necessita, minimamente, de previsões para o dia seguinte (D+1) e mais trinta e cinco dias à frente (D+2 a D+35), com discretização semi-



horárias. Para atendimento aos processos do ONS, os resultados dos modelos devem estar disponíveis diariamente até as 9h do dia (D) para atender no c mínimo até o sétimo dia à frente (D+1 a D+7). Para o horizonte maior (D+8 a D+35), por conta de tempo de processamento, pode ser concluída até as 12h do dia (D).

Os modelos desenvolvidos deverão fornecer previsões de geração fotovoltaica por usinas individualizadas. Entretanto, é possível que a resolução espacial para as previsões possa ser alterada, no entanto, em agrupamentos máximos correspondente aos barramentos elétricos em que as usinas estão conectadas. Tais agrupamentos devem apresentar um desempenho superior a consideração de usinas individualizadas. Entretanto, caso seja adotado algum agrupamento maior que o nível usina, será necessário desenvolver mecanismos de separação da previsão por usina individualizada.

Os dados históricos de geração e de outras variáveis observadas aquisitadas pelo sistema de supervisão e controle do Operador, poderão ser utilizados como insumos para o modelo de previsão. Em se tratando das grandezas previstas pelos modelos numéricos de previsão do tempo, que também serão utilizadas como insumo, serão definidas no decorrer do desenvolvimento do projeto, a depender do custo x benefício para o Operador, dado que já existem contratos vigentes para aquisição da previsão de algumas variáveis meteorológicas.

Ao final do desenvolvimento da primeira versão do modelo deverá ser produzida uma documentação detalhada e deverá ser feita uma apresentação para o ONS. Em seguida, serão definidos em conjunto a forma de construção da cadeia de processamento, tratamento de falhas e validação dos resultados com dados históricos das usinas utilizadas.

**Apresentação, documentação e manual de execução:** Juntamente com o protótipo, a instituição contratada deverá fornecer o manual contendo a descrição do funcionamento e estrutura para operar e executar o protótipo.

Deverá estar previsto a disponibilização de reuniões de treinamento para o uso do protótipo. Ao menos um treinamento será necessário, podendo haver a necessidade de novas reuniões para esclarecimentos. O número de treinamentos necessários ficará dependente da complexidade do protótipo, a ser definido pelo ONS e pela instituição contratada do projeto. Os treinamentos serão ofertados para a equipe técnica do ONS.



#### **6.1.1.5 Produto 5: Relatório com ajustes de parâmetros e variáveis conforme necessidade do modelo**

Deverá ser entregue um relatório contendo todos os parâmetros e variáveis meteorológicas utilizados como insumo e configuração para a execução do modelo, sinalizando os que apresentaram um melhor desempenho nos resultados. Também deverão estar descritas a forma como foram consideradas e as técnicas para a seleção dos parâmetros e as metodologias utilizadas para o tratamento destas variáveis como preparação para serem utilizadas como insumo do modelo de previsão.

#### **6.1.1.6 Produto 6: Relatório de desempenho e sensibilidade do modelo de previsão**

Deverá ser entregue um relatório com as análises detalhadas de desempenho e sensibilidade dos resultados do modelo para as usinas utilizadas. As análises devem contemplar os desempenhos das grandezas meteorológicas previstas e corrigidas, bem como das previsões de geração do modelo proposto. O período histórico de análise deve ser representativo o suficiente para que as conclusões sejam válidas, possuindo no mínimo um ano de histórico.

#### **6.1.1.7 Produto 7: Documentação e apresentação dos modelos matemáticos e código fonte dos algoritmos do modelo**

Após a entrega do protótipo e análises de desempenho, e avaliação e representação das considerações do ONS, deverá ser entregue a documentação detalhada do modelo de previsão, o código fonte dos algoritmos na linguagem em que o protótipo foi desenvolvido, bem como uma apresentação dos modelos matemáticos adotados na construção desta versão.

### **6.1.2 Fase 2 – Aplicação do protótipo com adequação para escalas temporais e espaciais**

Esta fase consiste na aplicação do primeiro protótipo, com a adequação para escalas temporais e espaciais compatíveis. Em seguida, deverá ser feita a adequação para escala operacional com otimização e validação para as usinas solares fotovoltaicas selecionadas. Nesta fase deverá haver uma maior iteração entre o ONS e a instituição contratada, pois trata-se das adequações necessárias para que o protótipo entre em funcionamento de forma operacional no ONS.

#### **6.1.2.1 Produto 8: Código da cadeia de processamento, tratamento de falhas, fluxo do processo e manual de execução atualizado**

Este produto consiste no mapeamento e criação do processo para execução do modelo, considerando as rotinas de tratamento dos dados para eliminação de falhas, o fluxo de execução das rotinas, a disponibilização dos resultados, o manual de execução e o código fonte que aciona a execução de todo o processo.



Ao final do desenvolvimento da primeira versão do modelo, deverá ser produzida uma documentação detalhada e deverá ser feita uma apresentação para o ONS. Em seguida, serão definidos em conjunto a forma de construção da cadeia de processamento, tratamento de falhas e validação com dados históricos de pelo menos uma das usinas.

#### ***6.1.2.2 Produto 9: Histórico consolidado e validado de uma usina, do conjunto de 10 usinas***

Neste produto deverá ser avaliado as técnicas de tratamento de dados aplicado ao histórico de uma das usinas fotovoltaicas. Com entrega da consolidação do histórico dos dados desta usina, destacando todo o processo de consistência, metodologias e técnicas usadas.

#### ***6.1.2.3 Produto 10: Validação do processo de execução do modelo para uma usina, no ambiente do ONS***

Validação do processo de execução do modelo de previsão considerando os dados de pelo menos uma das usinas selecionadas, com os dados históricos consolidados e dados de cadastro consistentes. Caso seja identificada alguma inconsistência no processo, este deverá ser revisto e ajustado conforme a necessidade do ONS.

#### ***6.1.2.4 Produto 11: Histórico consolidado e validado das 10 usinas***

Entrega da consolidação do histórico dos dados das dez usinas selecionadas anteriormente.

Este produto é uma generalização do Produto 9. O principal objetivo da entrega desse produto é a possível correção de problemas que possam ser identificados após a entrega do Produto 9.

#### ***6.1.2.5 Produto 12: Validação do processo de execução do modelo para as 10 usinas, no ambiente do ONS***

Validação do processo de execução do modelo de previsão considerando os dados das 10 usinas selecionadas anteriormente, com os dados históricos consolidados e dados de cadastro consistentes. Caso seja identificada alguma inconsistência no processo, este deverá ser revisto e ajustado conforme a necessidade do ONS. Este produto é uma generalização do Produto 10.

#### ***6.1.2.6 Produto 13: Operacionalização do processo de execução do Protótipo do Modelo de Previsão de Geração Fotovoltaica (curtíssimo e curto prazo) no ambiente do ONS, para as 10 usinas selecionadas***

Este processo deverá ser operacionalizado no ambiente do ONS, considerando a estrutura existente, para execução diária. Serão adotadas, no mínimo, as dez usinas selecionadas



anteriormente. A instituição contratada deverá acompanhar a execução no ambiente do ONS por um período mínimo de 02 (duas) semanas. O processo de operacionalização do modelo de previsão de geração deverá ser feito *in loco* no Operador, contando com a participação da equipe técnica do ONS que recebeu os treinamentos ofertados para conclusão do Produto 4.

Após a operacionalização do primeiro protótipo, deverá haver uma interação entre o ONS e a instituição contratada para que possíveis melhorias sejam identificadas e implementadas ao modelo de previsão, com o objetivo de otimizar e melhorar a robustez do processo, e no processo de disponibilização dos resultados.

### ***6.1.3 Fase 3 – Implantação do Modelo de Previsão de Geração Fotovoltaica para o planejamento de curtíssimo e curto prazo***

Nesta fase serão inseridas gradualmente as demais usinas supervisionadas pelo ONS para que sejam feitas as devidas análises dos resultados do modelo e a avaliação do processo de execução. O objetivo é identificar possíveis melhorias no modelo e no processo como um todo, desde a consolidação dos dados de entrada e dados históricos até o resultado do modelo. Desta forma, ao final deverá ser produzida uma versão final que contemple todos os aprimoramentos verificados no decorrer do desenvolvimento e validação do processo, culminando no produto desta etapa do projeto.

Sendo assim, ao final desta fase a execução do processo deverá ser implantada no ambiente de homologação e a instituição contratada deverá realizar junto à equipe do ONS o acompanhamento da execução do processo e os respectivos resultados do modelo

#### ***6.1.3.1 Produto 14: Avaliação e aprimoramento dos algoritmos de previsão***

Durante a inclusão das usinas a instituição contratada verificará junto a equipe técnica do ONS, as possibilidades de melhorias e aprimoramentos nos algoritmos de previsão. Nesta fase deverão ser tratadas todas as necessidades de melhorias apontadas pela equipe técnica do ONS e da Contratada. Adicionalmente, está previsto nesse produto a incorporação de todos os modelos (identificados como melhores) do Produto 2, adequando o Produto 4.

#### ***6.1.3.2 Produto 15: Protótipo da 1ª versão da ferramenta de correção de cobertura de nuvens***

A previsão de geração fotovoltaica em tempo real, de minutos a poucas horas à frente, em geral, é realizada baseando-se nos movimentos de nuvens. Desta forma, o ONS necessita de ferramentas/sistemas capazes de realizar a coleta de imagens de satélite e/ou de câmeras em terra, processar essas imagens e transformá-las em dados numéricos com discretização de tempo real que sejam escritos em arquivos, com formatos específicos, para que sejam



utilizados como insumos para os modelos de previsão de geração. É preciso ressaltar, no entanto, que esse produto não se relaciona as previsões de tempo real, para qual o foco será abordado em outro produto.

O objetivo principal deste produto é realizar estudos para avaliar se as imagens de cobertura de nuvem possuem informações preditivas também para as previsões de curtíssimo prazo, principalmente nas previsões para o dia seguinte D+1.

Sendo assim, o produto deverá conter um sistema simples em código aberto para: (i) coleta e tratamento de imagens de nuvens, provenientes tanto de observações de satélite quanto de superfície; (ii) realizar estudos de identificação de nuvem.

Adicionalmente, esse produto deverá analisar os dados de cobertura de nuvens de diferentes modelos numéricos de previsão do tempo. O produto deverá compor: avaliação do histórico de previsão da variável cobertura de nuvens nos diferentes horizontes de previsão; avaliação de dados de imagens de satélite e/ou consideração nos modelos de curtíssimo e curto prazo; desenvolvimento de uma ferramenta para correção da cobertura de nuvens dos modelos numéricos utilizando as informações dos dois itens acima para uso nas previsões de curtíssimo e curto prazo; entrega do código que executa a correção de cobertura de nuvens e de outros códigos necessários, devendo esse ser separado do código de previsão de geração fotovoltaica.

### **6.1.3.3 Produto 16: Relatório de comparação, avaliação da previsão e lista de variáveis meteorológicas**

A instituição contratada deverá entregar um relatório de comparação e avaliação da previsão de todas as variáveis necessárias ao modelo de previsão fotovoltaica. Espera-se nesse produto uma evolução das análises mais genéricas realizadas no Produto 1. Dessa forma o produto deve conter:

- I. Comparação do desempenho dos diferentes modelos de previsão numérica do tempo globais (GFS, IFS/ECMWF, BAM etc.) e regionais (WRF, Eta, RAMS etc.);
- II. Avaliação da precisão da previsão entre os modelos e o modelo combinado;
- III. Relação das variáveis meteorológicas com melhor custo x benefício para o modelo de previsão de geração fotovoltaica.



#### **6.1.3.4 Produto 17: Entrega da versão final do Modelo de Previsão de Geração Fotovoltaica (curtíssimo e curto prazo)**

Após as entregas e considerações dos produtos anteriores, a instituição contratada deverá entregar a versão final do Modelo de Previsão de Geração Fotovoltaica para o planejamento de curtíssimo e curto prazo contendo:

- I. Código fonte do Modelo na linguagem em que foi desenvolvido;
- II. Documentação da metodologia e técnicas de tratamentos de dados e demais;
- III. Tecnologias utilizadas no desenvolvimento do modelo;
- IV. Manual de operação do modelo contendo descrição dos arquivos de entrada e saída;
- V. Descrição do processo de execução e fluxo de dados do processo;
- VI. Apresentação do Modelo de Previsão de Geração Fotovoltaica para o planejamento de curtíssimo e curto prazo, que é o objetivo desta etapa.

Os códigos e documentos desse produto serão utilizados para entrega do modelo à sociedade.

#### **6.1.3.5 Produto 18: Operacionalização do Modelo de Previsão de Geração Fotovoltaica (curtíssimo e curto prazo)**

Este produto consiste na operacionalização versão final do modelo de previsão no ambiente corporativo, considerando todas as usinas supervisionadas pelo ONS. Após a entrega, o ONS verificará a precisão das informações por um período mínimo de 180 dias. Esse período pode ser definido pelo ONS para garantir que contenha meses de maior variabilidade na geração fotovoltaica, ou seja, meses com maior dificuldade preditiva. Adicionalmente, poderá ocorrer situações de falhas no processo não prevista anteriormente, necessitando de correções, caso seja associada ao desenvolvimento da Contratada.

#### **6.1.3.6 Produto 19: Relatório com avaliação dos desafios, responsabilidades e soluções de gestão relacionadas a intermitência das fontes renováveis**

Também é produto deste projeto a entrega de um relatório discutindo o desafio de gerenciar a intermitência das fontes renováveis, que, atualmente, é de responsabilidade do Operador. O relatório deverá apresentar soluções encontradas por outros operadores do mundo, incluindo formas de transferir essa responsabilidade para os geradores.

É sabido que a forma atual de contratação de energia não dá qualquer incentivo ao gerenciamento da intermitência pelo produtor, seja pela instalação de baterias, seja pela



combinação de diferentes fontes de energia no mesmo bid. Uma forma de incentivo é a contratação das renováveis através de leilões que exijam uma garantia de suprimento por parte do gerador, independentemente das condições climáticas.

Outra questão que deve ser abordada no relatório é a alocação de reserva operativa para suprir variações intradiárias na geração solar fotovoltaica, especialmente no período de fim de tarde, em que se observa queda na produção fotovoltaica e que a carga do sistema tende a aumentar. Adicionalmente, o crescimento expressivo da geração solar fotovoltaica distribuída deve intensificar os debates acerca do gerenciamento da intermitência dessa fonte.

É importante avaliar como os operadores representam as previsões das fontes renováveis nos modelos de planejamento de curtíssimo, curto, médio e longo prazo. Pontuando aspectos da previsão e propondo as soluções necessárias, principalmente para o horizonte de médio/longo prazo que não é foco principal desse trabalho.

## **6.2 Etapa 2: Desenvolvimento do modelo de previsão fotovoltaica para o Tempo Real**

Esta etapa consiste no desenvolvimento do Modelo de Previsão de Geração Fotovoltaica para o Tempo Real e está dividida em 04 (quatro) fases. A fase 1 refere-se ao desenvolvimento do sistema de coleta e controle de qualidade de imagens de satélite, e câmeras em terra, quando disponíveis. Na fase 2 serão construídos os algoritmos para previsão de movimentos de nuvens (*cloud motion vector – CMV*), um dos principais produtos desta etapa. Na fase 3 será desenvolvido modelo de previsão para Tempo Real, propriamente dito. E na fase 4 será tratada a operacionalização do modelo de previsão no ambiente do ONS.

É desejável que o sistema e os modelos sejam implementados conforme arquitetura do ONS. Desta forma, a otimização do modelo de *cloud motion vector* se dará de forma natural e facilitada para as áreas de previsão.

Assim como na etapa anterior, deverá ser entregue a documentação detalhada, com nota(s) técnica(s), códigos e manual de execução, quando se aplicam, para todos os produtos desta etapa, bem como a descrição da arquitetura da cadeia de processamento do sistema e do modelo de acordo com o ambiente do ONS.

Ao final desta etapa, a instituição contratada deverá fazer uma apresentação do modelo final e execução do código no sistema do ONS e deverá acompanhar este processo por um período mínimo de 2 semanas. Como na etapa anterior, os treinamentos deverão ser mapeados em parceria ONS e instituição contratada.



Os itens a seguir descrevem detalhadamente os produtos de cada fase desta etapa.

### ***6.2.1 Fase 1 – Sistema para aquisição de imagens de satélite e/ou sensores, interpretação numérica e identificação automática de nuvens***

A previsão de geração fotovoltaica de tempo real, de minutos a poucas horas à frente, em geral, é realizada baseando-se nos movimentos de nuvens. Desta forma, o ONS necessita de sistemas capazes de realizar a coleta de imagens de satélite e/ou de câmeras em terra, processar essas imagens de satélites e transformá-las em dados numéricos com discretização de tempo real que sejam escritos em arquivos, com formatos específicos, para que sejam utilizados como insumos para os modelos de previsão de geração fotovoltaica.

Nesta fase deverá ser desenvolvido um sistema (em código aberto) de coleta e controle de qualidade de imagens de satélite e/ou sensores de irradiância. Tais imagens serão utilizadas como insumo para os estudos de identificação de nuvem e vetorização dos campos de nuvens.

A seguir é apresentada uma descrição mais detalhada dos produtos a serem entregues nesta fase.

#### ***6.2.1.1 Produto 20: Sistema de aquisição e controle de qualidade de imagens de satélites e/ou sensores***

A instituição contratada deverá avaliar a possibilidade de contratar e/ou desenvolver um sistema para coletar imagens de satélite e/ou observações feitas por câmeras em superfície ou outros sensores aptos a identificar a presença/ausência de nuvens de maneira contínua. Tais observações deverão ser processadas e avaliadas de maneira que sejam obtidos insumos para os estudos de identificação de nuvens. Adicionalmente, propriedades físicas e óticas da nebulosidade deverão ser extraídas, permitindo sua posterior aplicação à modelos de transferência radiativa, bem como avaliação da característica da nebulosidade e sua relação com a geração de energia fotovoltaica. O sistema deverá ser desenvolvido em código aberto em linguagem de programação definida em conjunto com o Operador, assim como arquitetura e base de dados necessárias. Deverá ser entregue o código fonte e a documentação detalhada do sistema proposto.

#### ***6.2.1.2 Produto 21: Modelo de estudo, identificação e vetorização dos campos de nuvens***

Com base nos resultados do Produto 20, a instituição contratada deverá desenvolver um modelo/metodologia capaz de possibilitar o estudo e a identificação de nuvens conforme suas características, com o objetivo de analisar impacto na geração e previsão fotovoltaica. A instituição contratada deverá desenvolver um sistema para vetorização dos campos de nuvens, ou seja, uma ferramenta capaz de converter as imagens coletadas para o formato



vetorial. A determinação desses vetores, que mais tarde serão utilizados nos algoritmos de movimento de nuvens, é feita através da análise de imagens subsequentes. Para este produto, a entrega poderá ser realizada via relatório. Os algoritmos que vierem a ser desenvolvidos poderão ser entregues nos produtos posteriores.

### **6.2.2 Fase 2 – Desenvolvimento do modelo *cloud motion vector***

Nesta fase está previsto o desenvolvimento do principal algoritmo do previsor de Tempo Real, denominado *cloud motion vector*.

#### **6.2.2.1 Produto 22: Sistema de detecção de deslocamento de nuvens (*pixels*)**

O resultado da vetorização dos campos de nuvens é utilizado na Fase 2 para extrapolar o padrão de nuvem futuro a partir do mapa de nebulosidade atual. Para a seleção do vetor que melhor representa o movimento da nuvem, usualmente, são utilizados critérios de *block matching*. Neste produto, além do código do modelo, deverá ser entregue relatório descrevendo sua metodologia. As previsões de deslocamento de nuvens deverão considerar imagens de satélite, a fim de possibilitar a reprodução desta metodologia para todas as usinas fotovoltaicas. No entanto, em casos que se tenha disponível a observação de nebulosidade através de câmeras em superfície, tais observações devem ser usadas para validar o sistema baseado em observações de satélite.

#### **6.2.2.2 Produto 23: Avaliação de condições meteorológicas e da aplicabilidade de um modelo de transferência radiativa em condições de múltiplo espalhamento na presença de nuvens**

A mudança repentina na intensidade e/ou na direção do vento devido aos sistemas de mesoescala (como brisa marítima-terrestre, brisa vale-montanha) ou o avanço dos sistemas meteorológicos de escala sinótica podem alterar significativamente a cobertura de nuvens. Estas mudanças nem sempre são previstas corretamente pelos modelos numéricos de previsão de tempo.

Este produto deve ser capaz de prever estas mudanças continuamente a partir das previsões numéricas e da variação dos dados meteorológicos observados e de satélite, informando a trajetória e intensificação/enfraquecimento dos sistemas meteorológicos para um horizonte de 24h.

Adicionalmente, os resultados desta previsão deverão ser utilizados em conjunto com o algoritmo CMV em uma aplicação direta para solucionar a equação de transferência radiativa em condição de múltiplo espalhamento na presença de nuvens. A partir da identificação das nuvens e da previsão de seu deslocamento, resultantes dos produtos anteriores, é possível



calcular a quantidade de energia solar que atinge a superfície. As características óticas, microfísicas e macrofísicas das nuvens deverão ser derivadas das observações de satélite e/ou de resultados de um modelo de previsão numérica do tempo, e um modelo de transferência radiativa deverá ser empregado, podendo considerar diferentes metodologias e/ou parametrizações, como o método *2-streams*. O produto final inclui a avaliação da empregabilidade de modelos de transferência radiativa para obtenção da energia solar que chega à superfície, além de um sistema que detecta as variações dos sistemas meteorológicos na região. Também se faz necessária a disponibilização de relatório com a descrição da metodologia empregada.

#### **6.2.2.3 Produto 24: Modelo de previsão de irradiação solar na superfície**

Este produto consiste no desenvolvimento de um modelo para prever a irradiação solar considerando os efeitos da nebulosidade. O modelo deve combinar as informações de nebulosidade, fornecidas no escopo do Produto 22, com previsões de irradiações considerando um céu limpo. Variáveis meteorológicas, como vento, umidade, temperatura, cobertura de nuvens etc., obtidas a partir de modelos de previsão numérica do tempo, como o modelo WRF, podem ser usadas como suporte ao cálculo de atenuação da radiação solar que atinge a superfície. O modelo criado também pode ser baseado em técnicas de aprendizagem de máquina e/ou inteligência computacional, que são capazes de concatenar todas as informações disponíveis. Adicionalmente, dados de vento obtidos a partir da modelagem numérica do tempo deverão ser usados para avaliação do impacto da nebulosidade, bem como seus desempenhos nos modelos de previsão de geração eólica.

Finalmente, a instituição contratada deverá entregar um relatório descrevendo a metodologia empregada para o desenvolvimento do modelo, além dos resultados e avaliações obtidos.

#### **6.2.3 Fase 3 – Desenvolvimento do Modelo de Previsão de Geração Fotovoltaica para o Tempo Real**

O modelo de previsão de geração para operação em tempo real deverá prover previsões para até vinte e quatro horas à frente, podendo ou não estar acoplado ao modelo de previsão para o planejamento de curtíssimo e curto prazo. Em caso de acoplamento com o modelo de curtíssimo prazo, para uso na operação em Tempo Real, é desejável que o modelo faça uma divisão em dois horizontes distintos para vinte e quatro horas à frente.

A discretização temporal das previsões pode se iniciar com poucos minutos, mas deve terminar em 30 minutos. Desta forma, a operação para as horas seguintes contaria com previsões que capturam os efeitos das rampas na geração fotovoltaica, enquanto para horários



mais distantes a resolução temporal mais espaçada teria como vantagem não necessitar manipular arquivos muitos grandes. Durante o desenvolvimento deste produto tais definições podem ser flexibilizadas, caso seja comprovado que as vantagens dessa abordagem não sejam significativas ou não atendam o objetivo do produto.

A seguir a descrição dos produtos a serem entregues nesta fase.

#### ***6.2.3.1 Produto 25: Evolução dos algoritmos do modelo do planejamento de curtíssimo e curto prazo (Etapa 1) para obter dados de produção em tempo real***

Para este produto a instituição contratada deverá avaliar na construção de um modelo de previsão para o tempo real tendo como ponto de partida o modelo de previsão de geração fotovoltaica para o planejamento de curtíssimo e curto prazo. Sendo assim, espera-se que seja desenvolvido um modelo que produza previsões de tempo real a partir das previsões do planejamento de curtíssimo e curto prazo: 1ª previsões por minuto até 10 minutos à frente; 2ª previsão para poucas horas à frente, discretizados em intervalos de dez minutos ou menos; e 3ª a partir de uma determinada hora à frente, as previsões seguintes passam a ser de trinta em trinta minutos, considerando a geração observada da última meia hora. As discretizações e momento de transição de cada discretização podem ser alteradas, uma vez comprovado seus benefícios.

Ressalta-se que a validação deste produto se dará no ambiente do ONS, considerando todas as usinas fotovoltaicas supervisionadas pelo ONS, já que os dados históricos foram consolidados na etapa 1.

Além disso, deverá ser avaliado o uso dos índices de cobertura de nuvem e características das nuvens, o desempenho e a relação custo x benefício desse e de outros insumos considerados para este modelo.

Para este produto deverão ser entregues o código fonte na linguagem em que foi desenvolvido, a descrição do fluxo e processo de execução no ambiente do ONS, a metodologia e modelos utilizados, devidamente documentados, e o manual do usuário com a descrição dos dados de entrada, processo e saída. Deverão ser previstos treinamentos técnicos suficientes para a reprodução do modelo no ONS.

#### ***6.2.3.2 Produto 26: Relatório com avaliação de desempenho e custo x benefício dos insumos usados para evolução destes modelos***

Este produto consiste na disponibilização de um relatório contendo:



- I. Avaliação de desempenho das previsões obtidas com os modelos desenvolvidos;
- II. Pode ser que para algumas variáveis consideradas importantes, as previsões precisem ser compradas pelo ONS para o processo operacional das previsões, tais como a do *European Centre for Medium-Range Forecasts* (ECMWF). Nestes casos, deverão ser avaliados a relação custo x benefício da utilização de diferentes variáveis meteorológicas, incluindo índices de cobertura de nuvens, bem como radiação solar na superfície e vento.

#### **6.2.3.3 Produto 27: Primeira versão do Modelo de Previsão de Geração Fotovoltaica para o Tempo Real: documentação e resultados**

A instituição contratada deverá entregar a versão final do Modelo de Previsão de Geração Fotovoltaica para o Tempo Real contendo:

- I. Código fonte do modelo;
- II. Documentação da metodologia;
- III. Manual de execução do modelo, incluindo descrição dos arquivos de entrada e saída;
- IV. Apresentação do Modelo de Previsão de Geração Fotovoltaica para o Tempo Real.

Os códigos e a respectiva documentação serão disponibilizados para toda sociedade.

#### **6.2.4 Fase 4– Operacionalização do Modelo de Previsão de Geração Fotovoltaica para o Tempo Real no ambiente do ONS**

Nesta fase, o protótipo do modelo de previsão de geração deverá se tornar operacional de modo a considerar todas as usinas fotovoltaicas supervisionadas pelo ONS. O Operador irá monitorar o desempenho das previsões por um período mínimo de 180 dias, sendo que parte desse período deve englobar meses do ano de maior variabilidade na produção de energia fotovoltaica.

##### **6.2.4.1 Produto 28: Documentação do Modelo de Previsão de Geração Fotovoltaica para o Tempo Real no ambiente do ONS**

A empresa contratada deverá construir o processo operacional das previsões junto aos sistemas do ONS, respeitando algumas especificações básicas para permitir a manutenção do processo pelo ONS. Sendo assim, o produto deverá descrever o fluxo do processo sendo devidamente documentada e entregue ao ONS no prazo acordado



#### **6.2.4.2 Produto 29: Validação do processo de previsão para o tempo real e entrega da documentação e código fonte do modelo**

Validação do processo de previsão para o tempo real considerando os dados de dez usinas fotovoltaicas pré-selecionadas. Em caso de inconsistência no processo, o modelo deverá ser revisto e ajustado. Após as interações entre o ONS e a instituição contratada, a versão final do código, bem como a documentação geral (relatório, manual) do modelo deverão ser entregues.

#### **6.2.4.3 Produto 30: Operacionalização do processo de execução do Modelo de Previsão de Geração Fotovoltaica para o Tempo Real no ambiente do ONS e Manual do usuário**

O processo deverá ser operacionalizado no ambiente do ONS para execuções a cada meia-hora considerando a estrutura existente e um número mínimo de dez usinas fotovoltaicas. A instituição contratada deverá acompanhar a execução no ambiente do ONS por um período mínimo de 02 (duas) semanas. A instituição responsável deverá ainda disponibilizar um manual de execução do modelo para os usuários. Assim como é requerido para o Produto 13, o processo de operacionalização deste modelo de previsão de geração também deverá ser feito *in loco* no Operador, contando com a participação da equipe técnica do ONS que deverá receber o treinamento necessário.

## **7 PRAZO DE EXECUÇÃO/CRONOGRAMA**

Dado que o projeto de previsão solar fotovoltaica será dividido em duas etapas, o cronograma a seguir tratará de forma independente cada uma delas.

Os prazos são definidos em dias corridos e o período de alguns produtos parciais podem ser executados em paralelo. O período total do contrato contando as duas etapas deve ser de 24 meses.

### **7.1 Etapa 1 – Desenvolvimento do modelo de previsão fotovoltaica para o planejamento de curtíssimo e curto prazo**

A etapa 1, que se refere ao modelo de previsão de geração solar fotovoltaica para o planejamento de curtíssimo e curto prazo, está dividida em 3 fases. Uma fase para prova de conceito, com o objetivo de verificar as possibilidades, os modelos matemáticos existentes, conceitos e teorias que possuem potencial para a previsão de geração solar fotovoltaica. Nesta fase será escolhido um ou mais modelos preditivos, que melhor se enquadrem ao tema, bem como a criação de um primeiro protótipo. A Tabela 1 ilustra o cronograma das atividades a serem desenvolvidas nesta primeira fase do projeto. Para todos os produtos está sendo



considerada a forma de pagamento em parcelas, de acordo com a especificidade de cada produto. A quantidade de entregas está descrita na coluna “Entregas” da Tabela 1, sendo que cada entrega deverá ocorrer ao final do prazo a ela destinado, calculado pela razão do tempo total do produto pela quantidade de entregas. A exemplo, para Produto 1 deverá ser entregue um relatório parcial no final do 2º mês (contendo todos os desenvolvimentos e pesquisas dentro desses dois meses), outro relatório parcial no final do 4º mês (contendo apenas os desenvolvimentos e pesquisas dentro desses dois meses), e no 6º mês um relatório final (contendo tudo que foi realizado dentro dos 6 primeiros meses). Vale salientar que a entrega final deverá compor todas as entregas parciais, todavia, podem existir documentos separados, uma vez que nem todos os itens da pesquisa durante o desenvolvimento do produto podem ser utilizados no final dele.

**Tabela 1 Cronograma de atividades (ETAPA 1 – Fase 1 Prova de conceito).**

Produto Previsto				Duração	% do valor do contrato
Produto	Tipo	Descrição	Entregas		
1	Análise e relatório	Relatório com análise das variáveis e requisitos e instrumentos de medição	2 relatórios parciais + Relatório final	6 meses	5% em 3 parcelas
2	Estudos e desenvolvimento	Desenvolvimento de modelos de previsão e relatórios com descrição dos modelos matemáticos	Códigos e relatórios trimestrais de desenvolvimento	18 meses	18% em 6 parcelas
3	Relatório	Relatório com descrição dos modelos matemáticos propostos para a previsão de geração fotovoltaica	Relatório parcial + Relatório final	5 meses	5% em 2 parcelas
4	Desenvolvimento e entrega de código	Protótipo da 1ª versão do Modelo de Previsão de Geração Fotovoltaica (curtíssimo e curto prazo) e Manual	Relatórios mensais contendo o status do desenvolvimento e/ou códigos, com documentação detalhada e manual de execução + Apresentações de desenvolvimento + Treinamento ao final	5 meses	5% em 5 parcelas



Produto Previsto				Duração	% do valor do contrato
Produto	Tipo	Descrição	Entregas		
5	Relatório	Relatório com ajustes de parâmetros conforme necessidade do modelo	Relatório final	2 meses	2% em 1 parcela
6	Relatório	Relatório de desempenho e sensibilidade do modelo de previsão	Relatório final	1 mês	1% em 1 parcela
7	Código, documentação e apresentação do modelo	Documentação e apresentação dos modelos matemáticos e código fonte dos algoritmos do modelo	Código fonte de todos os algoritmos desenvolvidos, com documentação detalhada + Apresentação dos modelos adotados.	2 meses	2% em 1 parcela

A fase 2 da etapa 1 do projeto refere-se à aplicação do primeiro protótipo, com a adequação para escalas temporais e espaciais compatíveis. Posteriormente, deverá ser feita uma adequação para escala operacional com otimização e validação para as usinas solares fotovoltaicas selecionadas. Na Tabela 2 são descritas as principais atividades desta fase do projeto.

**Tabela 2 Cronograma de atividades (ETAPA 1 – Fase 2 Escalas, otimização e validação do previsor)**

Produto Previsto				Duração	% do valor do contrato
Produto	Tipo	Descrição	Entregas		
8	Código	Código da cadeia de processamento, tratamento de falhas, fluxo do processo e manual de execução atualizado	1 relatório parcial + código fonte para execução de todo o processo, com documentação detalhada e manual de execução + Apresentações de desenvolvimento ao final	2 meses	2% em 2 parcelas



Produto Previsto				Duração	% do valor do contrato
Produto	Tipo	Descrição	Entregas		
9	Validação	Histórico consolidado e validado de uma usina, do conjunto de 10 usinas	Histórico dos dados consolidados, com relatório contendo a descrição das técnicas e metodologias usadas.	1 mês	1% em 1 parcela
10	Validação	Validação do processo de execução do modelo para uma usina, no ambiente do ONS	Relatório final	2 meses	2% em 1 parcela
11	Validação	Histórico consolidado e validado das 10 usinas	Histórico dos dados consolidados.	2 meses	2% em 1 parcela
12	Validação	Validação do processo de execução do modelo para as 10 usinas, no ambiente do ONS	Relatório final	1 mês	1% em 1 parcela
13	Operacionalização do protótipo	Operacionalização do processo de execução do Protótipo do Modelo de Previsão de Geração Fotovoltaica (curtíssimo e curto prazo) no ambiente do ONS, para as 10 usinas selecionadas	Instalação, execução e operacionalização do modelo no ONS + Treinamento + Suporte	1 mês	1% em 1 parcela

Na fase 3, última fase da etapa 1 do projeto, serão traçadas as atividades referentes à implantação do produto desenvolvido. A Tabela 3 ilustra as principais atividades desta fase.



**Tabela 3 Cronograma de atividades (ETAPA 1 – Fase 3 Aplicação do modelo de previsão ao sistema do ONS)**

Produto Previsto				Duração	% do valor do contrato
Produto	Tipo	Descrição	Entregas		
14	Estudos e desenvolvimento	Avaliação e aprimoramento dos algoritmos de previsão	2 relatórios parciais + Relatório final + códigos quando necessário	6 meses	5% em 3 parcelas
15	Desenvolvimento	Protótipo da 1ª versão da ferramenta de correção de cobertura de nuvens	1 relatório parcial + códigos, com documentação detalhada e manual de execução + Relatório final	2 meses	2% em 2 parcelas
16	Relatório	Relatório de comparação, avaliação da previsão e lista de variáveis meteorológica	Relatório final	1 mês	1% em 1 parcela
17	Entrega de códigos	Entrega da versão final do Modelo de Previsão de Geração Fotovoltaica (curtíssimo e curto prazo)	Código fonte do modelo, com documentação detalhada e manual de execução + Apresentação final	1 mês	1% em 1 parcela
18	Operacionalização do modelo	Operacionalização do Modelo de Previsão de Geração Fotovoltaica (curtíssimo e curto prazo)	Instalação, execução e operacionalização do modelo no ONS + Suporte	6 meses	2% em 2 parcelas
19	Relatório	Relatório com avaliação dos desafios, responsabilidades e soluções de gestão relacionadas a intermitência das fontes renováveis	Relatório parcial + Relatório final	6 meses	6% em 2 parcelas

**7.2 Etapa 2 – Desenvolvimento do modelo de previsão fotovoltaica para o Tempo Real**



A etapa 2, é desenvolvimento do modelo de previsão de geração fotovoltaica para o Tempo Real foi dividido em quatro fases. A Tabela 4 representa o cronograma das atividades necessárias na primeira fase desta etapa, que trata da construção do sistema, coleta de informações, tratamento e processamento de imagens de satélite.

**Tabela 4 Cronograma de atividades (ETAPA 2 – Fase 1 Desenvolvimento do sistema de coleta e controle de qualidade de imagens de satélite)**

Produto Previsto				Duração	% do valor do contrato
Produto	Tipo	Descrição	Entregas		
20	Desenvolvimento	Sistema de aquisição e controle de qualidade de imagens de satélites e/ou sensores	Código fonte do sistema, com documentação detalhada e manual de execução + Apresentação final	3 meses	3% em 1 parcela
21	Estudo e desenvolvimento	Modelo de estudo, identificação e vetorização dos campos de nuvens	Relatório final	3 meses	3% em 1 parcela

A fase 2 é a mais importante da etapa 2. Nesta fase será construído o principal algoritmo do previsor de Tempo Real, denominado *cloud motion vector*. A Tabela 5 detalha as principais atividades desta fase.

**Tabela 5 Cronograma de atividades (ETAPA 2 – Fase 2 Desenvolvimento do algoritmo de *cloud motion vector*)**

Produto Previsto				Duração	% do valor do contrato
Produto	Tipo	Descrição	Entregas		
22	Desenvolvimento	Sistema de detecção de deslocamento de nuvens (pixels)	Código fonte do sistema, com documentação detalhada e manual de execução + Relatório parcial + Relatório final	5 meses	5% em 2 parcelas
23	Desenvolvimento	Avaliação de condições meteorológicas e da aplicabilidade de um modelo de transferência	Código(s) fonte do(s) sistema(s)/modelo(s) desenvolvido(s), com documentação detalhada e manual de execução + 2 relatórios	6 meses	6% em 3 parcelas



Produto Previsto				Duração	% do valor do contrato
Produto	Tipo	Descrição	Entregas		
		radiativa em condições de múltiplo espalhamento na presença de nuvens	parciais + Relatório final		
24	Desenvolvimento	Modelo de previsão de irradiação solar na superfície	Código fonte do modelo desenvolvido, com documentação detalhada e manual de execução + Relatório parcial + Relatório final	6 meses	6% em 2 parcelas

Na fase 3 da etapa 2 deverá ser realizado o desenvolvimento do modelo de previsão para Tempo Real, a partir do modelo usado no planejamento de curtíssimo e curto prazo, dos estudos anteriores e do algoritmo *cloud motion vector*. A Tabela 6 especifica as principais atividades que devem ser desenvolvidas.



**Tabela 6 Cronograma de atividades (ETAPA 2 – Fase 3 Elaboração do modelo de previsão para Tempo Real)**

Produto Previsto				Duração	% do valor do contrato
Produto	Tipo	Descrição	Entregas		
25	Desenvolvimento	Evolução dos algoritmos do modelo do planejamento de curtíssimo e curto prazo (Etapa 1) para obter dados de geração em tempo real	Relatório parcial + código fonte, com documentação detalhada e manual de execução + Treinamento	3 meses	3% em 2 parcelas
26	Relatório	Relatório com avaliação de desempenho e custo x benefício dos insumos usados para evolução destes modelos	Relatório final	2 meses	2% em 1 parcela
27	Desenvolvimento	Primeira versão do Modelo de Previsão de Geração Fotovoltaica para o Tempo Real: documentação e resultado	Relatório parcial + código fonte do modelo, com documentação detalhada e manual de execução + Apresentação final	3 meses	3% em 2 parcelas

A fase 4 da Etapa 2 é explicada na Tabela 7. Nesta fase o modelo será implantado operacionalmente ao sistema do ONS, sendo validado e operacionalizado.

**Tabela 7 Cronograma de atividades (ETAPA 2 – Fase 4 Aplicação do modelo de previsão ao sistema do ONS)**

Produto Previsto				Duração	% do valor do contrato
Produto	Tipo	Descrição	Entregas		
28	Relatório	Documentação do Modelo de Previsão de Geração Fotovoltaica para o Tempo Real no ambiente do ONS	Relatório final	2 meses	2% em 1 parcela







	Atividades	Meses									
		15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	Produto 21			■	■	■					
Fase 2	Produto 22			■	■	■	■	■			
	Produto 23			■	■	■	■	■	■		
	Produto 24			■	■	■	■	■	■		
Fase 3	Produto 25					■	■	■			
	Produto 26							■	■		
	Produto 27							■	■	■	
Fase 4	Produto 28									■	■
	Produto 29									■	■
	Produto 30									■	■

## 8 *QUALIFICAÇÃO E ESPECIFICAÇÃO DA EQUIPE*

A instituição contratada deverá ter uma equipe multidisciplinar, ou seja, constituída por perfis técnicos que estejam de acordo com as características e necessidades deste projeto. De forma geral a instituição deverá ter no quadro de profissionais um gerente de projetos e os profissionais essenciais para atender ao objetivo deste TdR.

A equipe técnica do ONS deverá participar ativamente do projeto, e poderá apoiar o desenvolvimento, uma vez que já possui algum conhecimento nos temas abordados e poderá dar o suporte necessário para melhor andamento do projeto.



## 8.1 Equipe Chave

**Meteorologista / Físico (Especialista, PhD):** Nível superior em Física ou Meteorologia com pós-graduação, mestrado ou doutorado em áreas afins aos produtos deste projeto. Com experiência de no mínimo 10 anos em pesquisa, estudos e desenvolvimentos relacionados ao escopo do projeto, inglês fluente.

**Engenheiro:** Nível superior em Engenharia Elétrica, Engenharia Civil, com mestrado e/ou doutorado em áreas afins aos produtos deste projeto. Com experiência de no mínimo 10 anos em pesquisa, estudos e desenvolvimentos relacionados ao setor de energia elétrica, geração de energia por fontes intermitentes, geração solar fotovoltaica. Desejável inglês fluente.

**Cientista da Computação:** Nível superior em Engenharia da Computação, Ciências da Computação, Tecnologia da Informação ou Matemática, com pós-graduação, mestrado e/ou doutorado em áreas afins aos produtos deste projeto. Com experiência de no mínimo 8 anos em técnicas de *machine learning*, inteligência artificial, redes neurais, linguagens de programação voltadas para modelos de previsão, construção de ferramentas para tratamento de dados, processos, estudos e desenvolvimento de programas relacionados ao escopo do projeto.

**Matemático/ Estatístico:** Nível superior em Matemática ou Estatística, com pós-graduação, mestrado e/ou doutorado em áreas afins aos produtos deste projeto. Com experiência mínima de 8 anos em desenvolvimento, estudos, pesquisas relacionadas à modelos de previsão, matemáticos e/ou estatísticos, tratamento de dados. Desejável conhecimento em otimização, técnicas de *machine learning*, redes neurais e fluência em inglês.

**Gerente de Projeto:** Profissional de nível superior, mestrado e/ou doutorado na área de TI, Engenharia, Administração ou áreas afins, com experiência mínima de 10 anos em gerência de projetos alinhadas às boas práticas do PMBOK® 6 ou 7. Necessário fluência em inglês e português do Brasil, habilidade de liderança de equipes multidisciplinares, mediação de interesses e comunicação. Desejável algum conhecimento relacionado ao setor de energia elétrica.

**Coordenador Técnico:** Nível superior em Engenharia, Meteorologia, Ciência da Computação, Matemática ou Física com pós-graduação em áreas afins deste projeto. Experiência mínima de 5 anos em pesquisas relacionadas aos produtos deste projeto, bem como do setor energético. Atuação como coordenador de equipes multidisciplinares e acompanhamento de projetos. Necessário fluência em inglês e português do Brasil.



## 8.2 *Características da equipe*

É desejável que a equipe técnica seja formada por profissionais com conhecimentos e experiência nos seguintes assuntos: processamento de imagens, inteligência computacional, inteligência artificial, métodos estatísticos multivariados, energia solar fotovoltaica, métodos e metodologias de tratamento de dados, modelos de previsão, programação avançada em linguagens, tais como: R, PHYTON, JULIA, entre outras linguagens voltadas para análise de dados e modelos de previsão, *machine learning*, inteligência artificial, modelos numéricos de previsão do tempo e em modelos de fenômenos atmosféricos, além de modelagem matemática para previsão.

A equipe deverá ser capaz de desenvolver e implementar modelos de previsão de séries temporais existentes para avaliar desempenho e propor novos métodos; inteligência artificial, modelos de *machine learning*, modelagem computacional e criação de fluxo de processos de forma a atender o escopo deste projeto.

Espera-se que também componham a equipe da consultora profissionais nos níveis júnior, pleno, sênior e especialista. Além disso, se a contratada identificar a necessidade de um profissional com perfil diferente do descrito, caberá a ela a definição e quantificação do perfil deste profissional. Adicionalmente, a quantidade de profissionais que deverão compor a equipe chave, será definida pela contratada, conforme a necessidade do projeto.

## 8.3 *Perfil Requerido da Consultora*

Para a realização dos projetos, a contratada deverá comprovar:

- I. Experiência mínima de 5 anos em trabalhos relacionados ao setor de energia elétrica e fontes intermitentes, principalmente geração fotovoltaica;
- II. Experiência com o desenvolvimento e aplicação de modelos de numéricos de previsão do tempo, soluções tecnológicas e serviços de consultoria técnica no setor de energia elétrica;
- III. Experiência em estudos e desenvolvimentos de metodologias para previsão de variáveis meteorológicas e previsão de geração solar fotovoltaica;
- IV. Experiência em análise de dados meteorológicos;
- V. Experiências em técnicas de inteligência artificial e *machine learning*;



- VI. Experiência em tecnologias de processamento de imagens, e dados satélites;
- VII. Experiência em gestão de projetos;
- VIII. Conhecimento em modelos de previsão que envolva variáveis meteorológicas, competência nacional e/ou internacional em energia fotovoltaica.

## **9 FORMA DE APRESENTAÇÃO DOS PRODUTOS**

Os produtos deverão ser entregues em idioma português, na forma de relatórios, em via eletrônica, de acordo com o formato a seguir:

- I. Textos: MS Word® versão 2013 ou posterior, com entrega do .doc;
- II. Planilhas, Gráficos e Tabelas: MS Excel® versão 2013 ou posterior;
- III. Figuras em geral: JPG, GIF ou BMP;
- IV. Apresentações: MS PowerPoint® versão 2013 ou posterior;
- V. Os produtos em forma de Relatórios devem apresentar as devidas logomarcas, a serem inseridas na seguinte ordem: ONS, Projeto META, Banco Mundial e MME/Governo Federal;
- VI. Eventuais planilhas eletrônicas desenvolvidas devem ser entregues desbloqueadas e sem restrição de edição;
- VII. Programas computacionais, modelos matemáticos, modelos de previsão desenvolvidos ou avaliados para compor este projeto deverão ser entregues com o código fonte documentado, notas técnicas e manual do usuário.

Inicialmente, as ferramentas computacionais utilizadas neste trabalho devem ser aquelas atualmente utilizadas pelo ONS. Caso seja identificado a necessidade do uso de alguma ferramenta que requeiram a aquisição de licença por parte do ONS, deverá ser informado e conversado previamente.

Os produtos provenientes deste projeto serão de propriedade do ONS, e poderão, em momento oportuno, ser disponibilizados para o setor elétrico.



Nos produtos/relatórios, além das citadas logomarcas, deverão ser registradas as seguintes informações: Pesquisa/Produto/Trabalho executado com recursos provenientes do Acordo de Empréstimo nº 9074-BR, formalizado entre a República Federativa do Brasil e o Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento – BIRD, em 21 de julho de 2021.

## ***10 FORMAS DE PAGAMENTO***

A estimativa de porcentagem do valor total do Contrato para cada produto consta no Item 8 deste documento. As formas de pagamento, assim como os prazos de entrega e aprovação dos produtos, estarão vinculadas à Minuta de Contrato, instrumento que é parte integrante do Instrumento Convocatório de Licitação.

## ***11 SUPERVISÃO***

O início do trabalho objeto deste TdR, bem como a apresentação dos produtos previstos, deverá ser precedidos de reunião com a equipe técnica do ONS para orientação geral do processo e acompanhamento da consultoria.

Dado que o ONS, participará ativamente das etapas de desenvolvimento do projeto, o ideal é que a construção seja feita seguindo as fases descritas no item 8, com entregas intermediárias dos produtos descritos em cada fase. O ONS terá até 15 (quinze) dias após a data de entrega de cada produto, para validá-lo. Após a validação, o aceite formal será emitido pela equipe técnica designada pelo ONS.

## ***12 INSUMOS E ELEMENTOS DISPONÍVEIS***

O ONS disponibilizará à instituição contratada as informações necessárias para o desenvolvimento do projeto, entretanto deverão ser redigidos acordos de confidencialidade quanto aos dados que serão utilizados. Ressalta-se que nem todos os dados necessários ao projeto poderão ser obtidos no ONS, portanto cabe à contratada, elencar as fontes para a obtenção destes dados.

O ONS providenciará, sempre que necessário, o ambiente físico apropriado para possibilitar reuniões de trabalho agendadas entre as partes em seus escritórios de Brasília ou Rio de Janeiro, ou virtualmente, caso se mantenha a condição de afastamento por conta da COVID-19.



### **13 NECESSIDADE DE TREINAMENTO**

No item 7 que descreve o escopo do trabalho e os limites do projeto, já estão descritos os treinamentos para cada etapa/fase.

### **14 QUADRO AMBIENTAL E SOCIAL DO BANCO MUNDIAL**

Todas as atividades apoiadas pelo projeto, incluindo estudos para proposição de políticas e regulamentos deverão ser analisados em acordo com as Normas Ambientais e Sociais do Banco Mundial, que estabelecem as diretrizes para identificação, avaliação, mitigação e gestão de potenciais riscos e impactos associados a projetos financiados pelo Banco.

A adoção das Normas Ambientais e Sociais visa a apoiar os mutuários na adoção de melhores práticas internacionais, relacionadas com a sustentabilidade ambiental e social, cumprindo suas obrigações ambientais e sociais, nacionais e internacionais, bem como aumentar a não discriminação, transparência, participação, prestação de contas, governança e aprimoramento dos resultados de desenvolvimento sustentável dos projetos por meio do engajamento contínuo das partes interessadas. Além do Quadro Ambiental e Social do Banco Mundial, serão observadas as Diretrizes de Saúde, Segurança e Meio Ambiente (IFC-EHSGs) do Grupo Banco Mundial, incluindo as diretrizes específicas para os setores mineral, elétrico e de petróleo e gás.

A elaboração do trabalho deve considerar o Quadro Ambiental e Social (*Environmental and Social Framework*) do Banco Mundial, que entrou em vigor desde 1º de outubro de 2018, avaliando os potenciais impactos sociais e ambientais dos subprojetos, quando necessário. No Subprojeto 24 em questão, a norma mais relevante é a Norma Ambiental e Social 2 - Condições de Trabalho e Mão de Obra da equipe que executará os estudos.

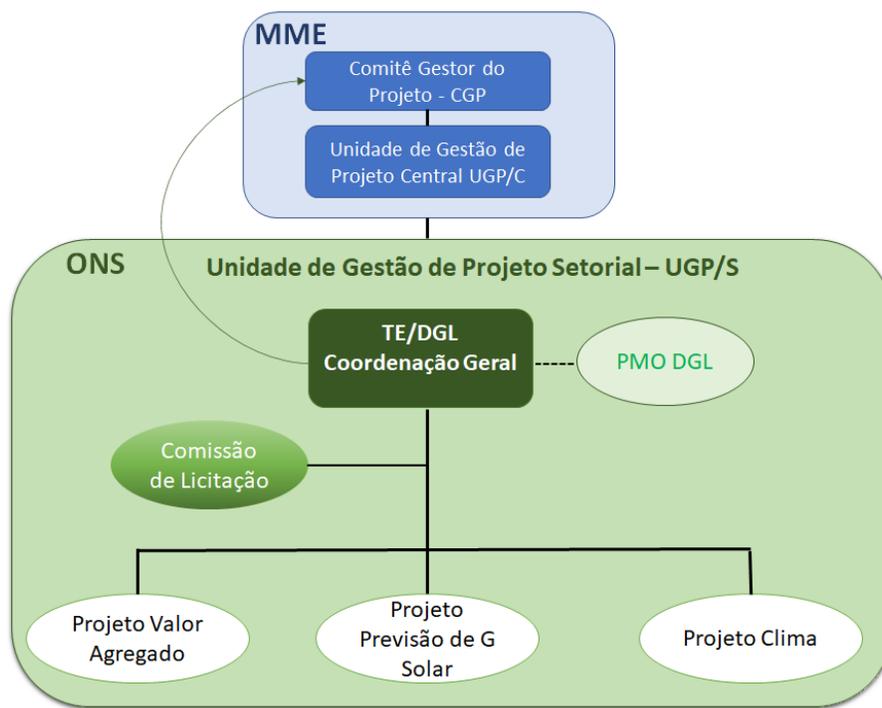
### **15 ARRANJOS INSTITUCIONAIS E ORGANIZACIONAIS**

A gestão do Subprojeto 24 será executada por estruturas organizacionais vinculadas ao Ministério de Minas e Energia (MME) e ao Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), conforme determinado pelo Manual Operativo do Projeto – MOP, que pode ser consultado na página do sítio do MME [www.mme.gov.br](http://www.mme.gov.br).

No MME, a gestão caberá ao Comitê Gestor do Projeto (CGP) e à Unidade de Gestão de Projeto Central (UGP/C).



No ONS, a gestão caberá à Unidade de Gestão de Projeto Setorial (UGP/S), conforme esquematicamente apresentada na Figura 1.



**Figura 1 Estrutura funcional da Unidade de Gestão de Projeto Setorial do ONS – UGP/S**

**Tabela 10 Formação da UGP/S do ONS**

UGP/S	Gerências
<b>Coordenação Geral</b>	Gerência Executiva de Transformação Estratégica
<b>Escritório de Projetos DGL</b>	Gerência Executiva de Transformação Estratégica
<b>Comissão de Licitação</b>	Gerência Executiva Financeira
	Gerência Executiva Jurídica
	Gerência de Recursos Hídricos e Meteorologia
	Gerência de Metodologias e Modelos Energéticos
	Gerência Executiva de Apuração, Análise e Custos da Operação



	Gerência Executiva de Suprimentos
<b>Projeto Solar<sup>(*)</sup></b>	Gerência de Metodologias e Modelos Energéticos

(\*) Projeto Solar é o nome curto do Subprojeto 24 dentro do ONS

## **16 LISTA DE DESPESAS REEMBOLSÁVEIS**

Despesas reembolsáveis são aplicadas aos produtos 13 e 30, correspondendo a despesas de viagens e diárias para implementação dos modelos no ambiente do ONS, bem como treinamento da equipe técnica do Operador.

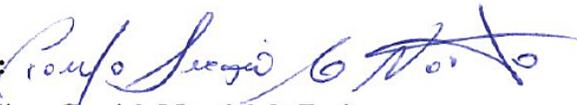
## **17 VEDAÇÃO LEGAL**

É vedada a contratação, a qualquer título, de servidores ativos da Administração Pública Federal, Estadual, do Distrito Federal ou Municipal, direta ou indireta, bem como de empregados de suas subsidiárias e controladas, no âmbito dos projetos de cooperação técnica internacional. *Art. 7º do Dec. 5.151 de 22.07.2004.*

## **18 RESPONSÁVEIS TÉCNICOS**

**Nome:** Paulo Sergio De Castro Nascimento

**Órgão:** Gerência de Metodologias e Modelos Energéticos - Diretoria de Planejamento da Operação

**Assinatura:** 

**Nome:** William Cossich Marcial de Farias

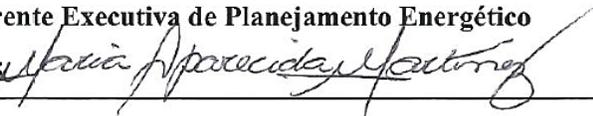
**Órgão:** Gerência de Metodologias e Modelos Energéticos - Diretoria de Planejamento da Operação

**Assinatura:** 

## **19 APROVAÇÃO**

**Nome:** Maria Aparecida Martinez

**Cargo:** Gerente Executiva de Planejamento Energético

**Assinatura:** 



## 20 REFERÊNCIAS

- Ailliot, P. &. (2021). Markov-switching autoregressive models for wind time series. *Environmental Modelling & Software*.
- Arrieta-Prieto, M. &. (2022). Spatio-temporal probabilistic forecasting of wind power for multiple farms: A copula-based hybrid model.
- Browell, J. D. (2018). Improved very short-term spatio-temporal wind forecasting using atmospheric regimes.
- Chen, H., Birkelund, Y., & Zhang, Q. (2021). Data-augmented sequential deep learning for wind power forecasting. *Energy Conversion and Management*, v. 248, p. 114790.
- Croonenbroeck, C. &. (2015). Censored spatial wind power prediction with random effects.
- Fawcett, L. &. (2006). A hierarchical model for extreme wind speeds.
- Gilbert, C. B. (2019). Leveraging turbine-level data for improved probabilistic wind power forecasting.
- Grönquist, P. Y.-N. (2021). Deep learning for post-processing ensemble weather forecasts. *Philosophical Transactions of the Royal Society*.
- Hao, Y., & Tian, C. (2019). A novel two-stage forecasting model based on error factor and ensemble method for multi-step wind power forecasting. *Applied Energy*, v. 238, ed. 107941.
- Hering, A. S. (2015). A Markov-switching vector autoregressive stochastic wind generator for multiple spatial and temporal scales.
- Huang, Y. Z. (2022). Spatio-temporal wind speed prediction based on Clayton Copula function with deep learning fusion.
- Jiandong, D. e. (2021). Short-term wind power forecasting using the hybrid model of improved variational mode decomposition and Correntropy Long Short -term memory neural network. *Energy*, v. 214, ed. 118980, 1 dez. 2021.
- Kang, K. H. (2014). Estimation of state-space models with endogenous Markov regime-switching parameters.
- Liu, H., & Duan, Z. (2021). Corrected multi-resolution ensemble model for wind power forecasting with real-time decomposition and Bivariate Kernel density estimation. *Energy Conversion and Management*, v. 113, ed. 107941.



- Maurer, L., Doyle, P., Hyman, E., Loretta, B., & Torres, P. (2020). *Creating a Level Playing Field for Battery Energy Storage Systems Through Policies, Regulations, and Renewable Energy Auctions*.
- Möller, A. S. (2018). Vine copula based post-processing of ensemble forecasts for temperature.
- Robertson, D., Shrestha, D. L., & Wang, Q. (2016). Post-Processing Ensemble Precipitation Forecasts Using Geometric Model Combination.
- Tastu, J. P. (2011). Spatio-temporal analysis and modeling of short-term wind power forecast errors.
- Tateo, A. M. (2019). A statistical method based on the ensemble probability density function for the prediction of “Wind Days”.
- Wang, J. e. (2021). A regional pretraining-classification-selection forecasting system for wind power point forecasting and interval forecasting. *Applied Soft Computing*, v. 113, ed. 107941.
- Yildiz, C., Acikgoz, H., Korkmaz, D., & Budak, U. (2021). An improved residual-based convolutional neural network for very short-term wind power forecasting. *Energy Conversion and Management*, v. 228, p. 113731.
- Zhang, N. K. (2013). Modelling and simulating the spatio-temporal correlations of clustered wind power using copula.