



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 24-1 do Plano de Aquisição do STEP
Contratação da Consultoria 1**

**Subprojeto 24-1 – Previsão de Geração Solar Fotovoltaica de Curtíssimo e Curto
prazo.**

Julho/2023



***TERMO DE REFERÊNCIA - TDR do Subprojeto 24-1 do Plano de Aquisição do STEP
– Contratação da Consultoria 1***

Subprojeto 24-1 – Previsão de Geração Solar Fotovoltaica de Curtíssimo e Curto prazo.

1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A expansão da capacidade instalada de parques solares fotovoltaicos nos últimos anos, adicionada à projeção 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 dessa 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.

Nesse 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 em diferentes esferas: na socioeconômica, gerando empregos diretos e indiretos e economia ao consumidor; na ambiental, por ser um recurso renovável e de menor impacto em comparação à geração de outras fontes de energia, principalmente, originadas de combustíveis fósseis; na 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 elétrica.

Atualmente, a representatividade da geração solar fotovoltaica corresponde a 13% da matriz energética, somando os parques centralizados e distribuídos. Além disso, está previsto um crescimento significativo para os próximos anos. Como exemplo, a capacidade instalada de geração centralizada no final de 2019 era cerca de 2,5 GW e, atualmente, esse valor se



aproxima de 5 GW. Em termos de geração distribuída, a capacidade instalada excede 17 GW (dezembro/2022), com uma previsão de duplicar esse montante até 2025.

2 JUSTIFICATIVA

A previsão de geração solar fotovoltaica possui incertezas associadas a fatores meteorológicos, causando inevitáveis desvios, que trazem a necessidade de maior reserva de potência operativa para atender às variações de carga, e 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. Devido à importância da geração solar 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.

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 dessa fonte variável.

3 VISÃO GERAL DO SUBPROJETO 24 DO ONS

Esse projeto busca desenvolver um modelo de previsão de geração solar fotovoltaica, considerando o horizonte de curtíssimo prazo, de até sete dias à frente, com foco principal nas primeiras quarenta e oito horas, e o horizonte de curto prazo, que se estende até um mês à frente. Além disso, são esperados avanços para os processos que contemplem a análise e o tratamento de dados observados e previstos, metodologias de previsão de variáveis meteorológicas, e técnicas de exploração e utilização destes dados.

A estrutura da previsão de geração solar fotovoltaica será constituída de quatro módulos principais:

- (i) Base de dados;
- (ii) Previsão meteorológica;
- (iii) Correção da previsão de variáveis meteorológicas;
- (iv) Previsão de geração solar fotovoltaica.

A Figura 1 apresenta o diagrama esquemático de um modelo de previsão de geração solar fotovoltaica, que deve ser desenvolvido no ambiente da empresa contratada, seguindo especificações de arquitetura tecnológica compatíveis com as utilizadas pelo ONS.



Cada módulo deverá contemplar os resultados dos estudos realizados, treinamento, documentação e as informações necessárias para a execução. Toda a estrutura desenvolvida deverá estar hospedada em ambiente de nuvem, de modo a permitir um armazenamento centralizado e com segurança.

Cada módulo (I, II, III e IV) deverá ser construído para funcionar de forma independente. Os arquivos de entrada e/ou saída deverão ser padronizados de forma que possam ser utilizados para a execução dos demais módulos sem nenhuma dependência prévia. As setas na parte inferior da figura indicam que os resultados e as previsões geradas no módulo (II) poderão ser utilizados como dados de entrada tanto para o módulo (III), quanto diretamente pelo módulo (IV), permitindo que o usuário possa definir a sua estratégia para obtenção da previsão de geração solar.

O detalhamento das bases de dados, das funcionalidades de cada módulo e os dados a serem disponibilizados são apresentados a seguir.

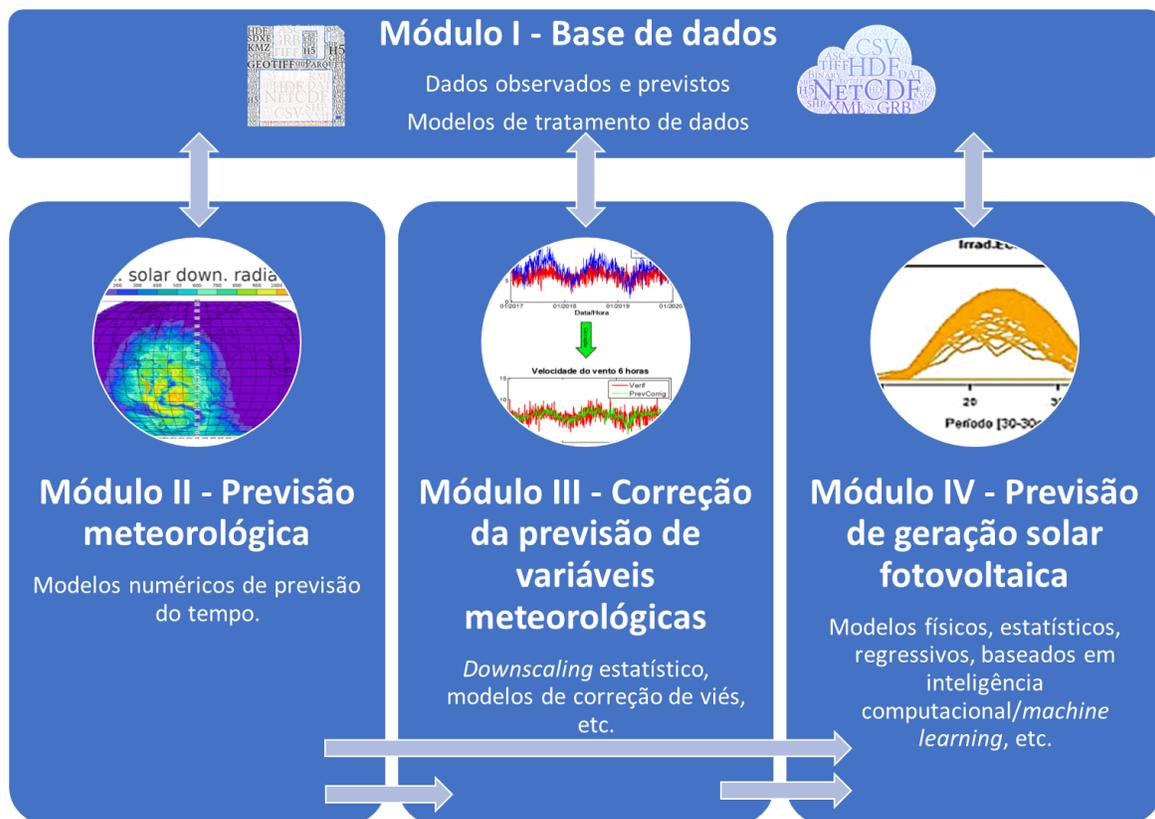


Figura 1 Diagrama esquemático do modelo de previsão de geração solar fotovoltaica



3.1 Base de Dados

Os quatro módulos (I, II, III e IV) que constituem a estrutura para a previsão de geração solar fotovoltaica consumirão e produzirão dados de diversas fontes, naturezas e resoluções e, quando considerada a previsão da geração na escala necessária para operacionalização no SIN, faz-se necessário uma arquitetura adequada para armazenamento e fornecimento dos dados.

Os dados que serão utilizados como insumo para os modelos poderão variar quanto à origem e ao formato de armazenamento. Dados de imagens devem ser armazenados em sistemas que permitam versionamento e extração de grupos de imagens com agilidade, de intervalos de tempo variáveis. Dados de séries temporais podem ser armazenados em bancos de dados otimizados para séries temporais ou, para atender questões de escalabilidade horizontal, em arquivos comprimidos em formatos otimizados para tabelas de dados, particionados segundo algum critério de agregação, como o *Apache Parquet*. Dados cadastrais de parques, tais como capacidades, número de painéis fotovoltaicos, localização, dentre outros, podem ser armazenados em bancos de dados relacionais.

As permissões de leitura e escrita de cada dado deverão ser configuráveis, e os acessos e alterações realizadas deverão ser registrados, de modo a tornar os processos realizados auditáveis, seguros e reproduzíveis em momentos futuros.

A fim de compor a base de dados para os estudos e os produtos previstos em cada módulo, o ONS disponibilizará os dados solarimétricos observados nos parques e a geração solar verificada.

Dada a variabilidade natural do recurso solar, será necessário complementar essa base com outras informações consideradas de referência e/ou relevantes, e que possibilitem a melhoria da qualidade dos dados observados, a avaliação, validação e correção das previsões numéricas de tempo e da previsão de geração solar fotovoltaica.

3.1.1 Dados das estações solarimétricas

As estações solarimétricas disponíveis são aquelas instaladas nos parques solares fotovoltaicos, cujas medidas de irradiância e de temperatura são fornecidas pelos agentes de geração através do Sistema de Supervisão e Controle (*Supervisory Control and Data Acquisition – SCADA*) do ONS com uma frequência de 4 segundos.



Por se tratar de um sistema de coleta e supervisão em tempo real, não é aplicado nenhum critério de consistência geográfica ou climatológica a estes dados. Diferentemente das estações meteorológicas, a exigência no que diz respeito aos critérios e requisitos da instalação, classe e tipos de sensores a serem utilizados para este fim é mínima ou inexistente.

Esses dados possuem natureza privada, por este motivo não estão disponíveis publicamente, e serão disponibilizados respeitando-se os termos de confidencialidade.

A incorporação de dados das redes públicas provenientes de estações meteorológicas e solarimétricas existentes no país, base de dados de irradiância geradas por instituições de referência, informações de satélite e de reanálise também são desejáveis.

A composição de uma base de dados com diferentes fontes visa auxiliar na análise e consistência dos dados, além de servir como referência para os estudos e desenvolvimentos deste projeto. A utilização destas informações deverá estar acompanhada de uma análise que comprove os benefícios de cada uma delas.

3.1.2 Modelos numéricos de previsão do tempo

Os modelos numéricos de previsão do tempo desenvolvidos pelo *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) e pelo *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF), respectivamente, o *Global Forecast System* (GFS) e o *Integrated Forecast System* (IFS) são empregados no processo de previsão de geração solar do ONS. A utilização deve-se ao reconhecido desempenho destes modelos e à garantia operacional destas instituições.

A Tabela 1 apresenta resumidamente as informações das rodadas e variáveis utilizadas nos processos do ONS.



Tabela 1 Modelos numéricos de previsão do tempo utilizados no ONS

Modelo e Instituição	Resolução		Horizonte de previsão e rodada	Variáveis
	Espacial	Temporal		
GFS/NCEP	0,25° (~ 25km)	1h	120h (00, 06, 12 e 18UTC)	componente u, v 100m nebulosidade total pressão ao nível médio do mar
		3h	144h - 360h (00, 06, 12 e 18UTC)	radiação onda curta temperatura 2m temperatura superfície umidade relativa
IFS/ECMWF	0,15° (~ 10km)	1h	90h (00, 06,12 e 18 UTC)	componente u, v 100m nebulosidade total precipitação pressão ao nível médio do mar radiação onda curta temperatura 2m umidade específica

Considerando a utilização dos GFS e do IFS em diversos processos no ONS, é necessário que a base de dados de previsão meteorológica seja formada pelo histórico destes modelos. Estes dados não serão disponibilizados pelo ONS, cabendo a aquisição à empresa contratada.

A incorporação de outros modelos de previsão numérica, com diferentes resoluções espaciais e temporais, na base de dados é desejável, e a sua aplicabilidade deve ser avaliada.

3.1.3 Dados de geração solar

Os dados de geração solar fotovoltaica, potência disponível (ou número de inversores disponíveis nos parques solares fotovoltaicos) são provenientes do SCADA, com frequência de 4 segundos. Além disso, o ONS dispõe dos dados de geração do Sistema de Medição e Faturamento da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), com discretizações de 5 minutos e 1 hora.

Nesse sentido, uma vez que há mais de uma fonte do dado observado de geração, será necessário o desenvolvimento de modelos para criação de séries temporais observadas únicas. Para isso, os modelos podem utilizar os diversos dados disponíveis, sejam eles das estações solarimétricas ou de geração solar fotovoltaica de mais de uma fonte.



3.2 Previsão Meteorológica

Neste módulo (módulo (II)), devem ser produzidos os arquivos contendo as previsões meteorológicas que serão utilizadas como dados de entrada para os módulos subsequentes. Este módulo deve gerar arquivos contendo as previsões de irradiância solar, assim como de outras variáveis meteorológicas julgadas como necessárias para aprimorar a previsão de geração solar fotovoltaica.

Um período histórico de previsões numéricas deve ser avaliado de modo que seja representativo para validar o uso das previsões, considerando ao menos a sazonalidade das variáveis meteorológicas. Sempre que possível e desejável que a validação das previsões seja feita por meio da comparação com os dados observados provenientes das estações solarimétricas e das redes de estações meteorológicas. Quando estas observações não estiverem disponíveis, podem ser utilizadas outras fontes de dados, desde que sejam validadas antes de serem adotadas como referência. A análise deve se basear em medidas estatísticas que permitam quantificar a qualidade das previsões de irradiância e outras variáveis meteorológicas consideradas para o processo de previsão de geração solar fotovoltaica.

3.3 Correção da previsão de variáveis meteorológicas

O módulo (III) é dedicado à avaliação de diferentes metodologias para correção da previsão de variáveis meteorológicas produzidas pelo módulo (II), e a implementação de um modelo com a(s) melhor(es) técnica(s) de correção da previsão, de modo a prover previsões das variáveis meteorológicas mais adequadas ao modelo de previsão de geração solar.

Modelos numéricos de previsão do tempo, em geral, apresentam erros de modelagem e numéricos. Estes erros estão associados a fatores intrínsecos ao processo de modelagem, desde a escala espacial do modelo, onde as características geofísicas de uma região são simplificadas para uma condição média, até as parametrizações físicas adotadas, onde valores empíricos obtidos para condições específicas são generalizados nas equações dos modelos. Tais erros podem apresentar uma componente aleatória e uma componente sistemática. A identificação e remoção da componente sistemática do erro das previsões numéricas do tempo é considerada um importante processo de pós-processamento das variáveis meteorológicas e contribui para um aumento da acurácia das previsões. Algumas das metodologias conhecidas na literatura para correção das previsões meteorológicas devem ser avaliadas no desenvolvimento deste projeto.



Isto posto, abordagens de *downscaling* estatístico devem ser testadas, ou seja, metodologias utilizadas para reduzir a escala espacial do modelo de previsão numérica a um nível local, buscando estabelecer uma relação entre os fenômenos atmosféricos e suas influências nas diferentes escalas espaço-temporais. Os métodos de correção e/ou adequação das previsões usando *downscaling* partem da premissa que uma variável local pode ser escrita em função das condições de contorno lateral, dos efeitos da topografia e da variabilidade natural desta variável. Assim, o *downscaling* estatístico irá estabelecer uma relação estatística entre a condição meteorológica local e a global.

Em complemento as abordagens de *downscaling* estatístico, espera-se aplicação de metodologias de correção de viés usando diferentes técnicas de regressão e/ou inteligência computacional. Destaca-se, no entanto, que atualmente a previsão de geração solar fotovoltaica realizada pelo ONS utiliza diretamente as previsões numéricas, sem qualquer forma de correção, sendo assim, é esperado que seja avaliada a necessidade ou não do bloco de correção da previsão de variáveis meteorológicas apresentado na Figura 1.

Ressalta-se, novamente, que todas as metodologias devem ser desenvolvidas modularmente, independentemente de modelos numéricos do tempo específicos, permitindo a fácil extensão para novas previsões.

3.4 Previsão de geração solar fotovoltaica

O quarto módulo (IV) é voltado para avaliação e desenvolvimento de metodologias de previsão de geração solar fotovoltaica para o curtíssimo e curto prazo. Este módulo deve produzir previsões de um dia até um mês à frente, visando atender processos da programação da operação e o planejamento de curto prazo. Atualmente, esta previsão é feita pelo ONS por meio de uma metodologia original, pautada em modelos da classe *Box&Jenkins* e, na estimação de hiperplanos para cada meia-hora do dia por agrupamento de parques fotovoltaicos. As previsões realizadas são pontuais, isto é, trajetos determinísticos de geração fotovoltaica para os próximos dias.

As metodologias propostas seguem as mesmas linhas gerais daquelas definidas para a correção de viés. As técnicas clássicas e de inteligência computacional devem ser abordadas, sejam estas de um arcabouço de séries temporais ou regressão. Ainda, é esperado que se explorem modelagens agrupando informações espaciais, seja através de modelos multivariados ou análises de agrupamento ou compactação. É desejável que sejam abordados modelos capazes de produzir incerteza acerca das previsões, seja diretamente ou através de técnicas para composição de intervalos de confiança e estimação de *quantis* de erro.



Na frente de variáveis explicativas, devem ser consideradas metodologias cujos insumos vão além daqueles já utilizados pelo ONS. Especificamente, devem ser abordados modelos tomando *ensembles* de previsão como variáveis explicativas, assim como previsões em grade cheia, sem interpolação preliminar para a coordenada do elemento de previsão (parque solar ou agrupamento de parques).

Ainda no tocante às variáveis explicativas, também é esperada a exploração de modelos estimados diretamente sobre as variáveis meteorológicas previstas brutas, isto é, sem passar por uma etapa preliminar de tratamento e remoção de viés. Por isto se objetiva identificar se modelos complexos são capazes de performar de forma equiparável ou superior àqueles, cujas variáveis explicativas são pós-processadas e que possuem, a princípio, maior qualidade.

4 OBJETIVO E ALCANCE

4.1 Objetivos do projeto

O objetivo do projeto é prover modelos de previsão de geração solar fotovoltaica com alta acurácia, utilizando variáveis meteorológicas, dados técnicos de parques e séries históricas de geração e demais variáveis medidas. Esses modelos deverão atender aos processos de planejamento nos horizontes de curtíssimo e curto prazo, bem como auxiliar a operação em tempo real. Conjuntamente se visa a criação de ferramentas para análise e diagnóstico dos dados e previsões geradas.

4.2 Alcances e objetivos específicos

As atividades previstas para o desenvolvimento deste projeto permitirão ao ONS construir uma base de dados padronizada, contendo previsões e observações de variáveis meteorológicas e de geração solar fotovoltaica. As ferramentas desenvolvidas têm o objetivo de auxiliar a consistência e o preenchimento de falhas de dados observados. Também serão avaliadas as previsões de variáveis meteorológicas feitas por diferentes modelos numéricos de previsão do tempo. Tais avaliações permitirão identificar os melhores modelos de previsão do tempo a serem aplicados no processo de previsão de geração solar. Além disso, as avaliações e adequações de metodologias para correção das previsões meteorológicas resultarão em ganhos substanciais para o ONS, considerando que as técnicas aqui empregadas poderão ser utilizadas por diferentes áreas da organização.

A literatura no tema de previsão de geração solar fotovoltaica e pós processamento de variáveis meteorológicas é extremamente extensa. Diversos novos modelos têm sido propostos, e podem trazer de fato maior qualidade aos resultados obtidos atualmente. Assim,



este projeto também busca analisar o estado da arte nesta área de pesquisa, avaliando a viabilidade das diversas metodologias existentes quando aplicadas aos dados brasileiros.

Apesar de o foco deste projeto ser a geração solar fotovoltaica, os produtos previstos fornecem benefícios além deste escopo. Os ganhos metodológicos obtidos com o projeto poderão ser aplicados aos processos de previsão de geração eólica, de vazão e de carga, dado que todos estes processos dependem de variáveis naturais e possuem estrutura similar no ONS. Estes desenvolvimentos fornecerão insumos para a formação de preços da energia e serão utilizados nos modelos de planejamento de mais longo prazo, de modo que os possíveis ganhos atravessam diversas esferas de atuação do ONS.

Para alcance dos objetivos específicos, os produtos provenientes deste projeto serão validados pela equipe técnica. Os detalhes das validações serão tratados mais adiante neste documento. O ONS preza pela transparência de seus processos junto aos agentes do setor elétrico. Dessa forma, entende-se que a sociedade poderá 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, podendo fazer uso, alterações e divulgações de todo ou parte dos produtos.

Levando em consideração esses aspectos, ressalta-se que, além do acompanhamento e gestão deste subprojeto, o ONS 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 ONS 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.

5 RESULTADOS E PRODUTOS ESPERADOS

5.1 Estrutura necessária para operacionalização do sistema de previsão de geração solar fotovoltaica

A operacionalização do sistema de previsão de geração solar fotovoltaica deverá compreender os desenvolvimentos metodológicos e a adequação da infraestrutura computacional vigente no ONS. Embora a implantação do sistema na rotina operacional do



ONS seja uma etapa posterior, que contemplará adequações de formatos de arquivos, divisão de serviços e dimensionamento de infraestrutura, é importante realizar o desenvolvimento deste sistema considerando o ambiente em que este será utilizado. Dessa forma, é esperado que as entregas que envolvam os modelos operacionais incluam um ambiente em que seja possível executar tais modelos, de modo a viabilizar suas validações.

5.2 Produtos esperados

O projeto está dividido em quatro macro etapas. Nos Quadros de 1 a 4, estão listados os produtos esperados para as etapas do projeto e suas respectivas fases.

Quadro 1 - Produtos da Etapa 1 do Subprojeto 24-1 – Contratação da Consultoria 1

Etapa 1	Produtos	Atividades
Fase única	Produto 1	Revisão bibliográfica dos requisitos e instrumentos de medição necessários à previsão de geração fotovoltaica
	Produto 2	Análise dos dados observados de parques solares fotovoltaicos e estações solarimétricas
	Produto 3	Metodologias para tratamento e composição de série de dados meteorológicos
	Produto 4	Metodologias para tratamento e composição dos dados dos parques
	Produto 5	Elaboração da base de dados

Quadro 2 - Produtos da Etapa 2 do Subprojeto 24-1 – Contratação da Consultoria 1

Etapa 2	Produtos	Atividades
Fase 1	Produto 6	Descrição dos modelos e variáveis a serem utilizadas
	Produto 7	Avaliação de uso de modelos meteorológicos não operacionais para o ONS
	Produto 8	Avaliação de desempenho das previsões meteorológicas e seleção das variáveis
Fase 2	Produto 9	Implementação dos modelos não operacionais
	Produto 10	Padronização dos arquivos e construção dos ambientes para validação operacional

Quadro 3 - Produtos da Etapa 3 do Subprojeto 24-1 – Contratação da Consultoria 1

Etapa 3	Produtos	Atividades
Fase 1	Produto 11	Avaliação e desenvolvimento de metodologias para correção das previsões numéricas
	Produto 12	Adequação das melhores metodologias e criação do protótipo de correção das previsões numéricas
Fase 2	Produto 13	Padronização dos formatos dos dados e construção dos ambientes para validação operacional
	Produto 14	Adaptação do protótipo de correção para execução em ambiente operacional e validação do funcionamento



Quadro 4 - Produtos da Etapa 4 do Subprojeto 24-1 – Contratação da Consultoria 1

Etapa 4		Produtos	Atividades
Fase 1	Produto 15	Avaliação e desenvolvimento de metodologias para previsão de geração fotovoltaica	
	Produto 16	Adequação das melhores metodologias e criação do protótipo do modelo para previsão de geração fotovoltaica	
Fase 2	Produto 17	Padronização dos formatos dos dados e construção dos ambientes para validação operacional	
	Produto 18	Adaptação do protótipo de previsão para execução em ambiente operacional e validação do funcionamento	

6 ESCOPO DO TRABALHO E LIMITES DO PROJETO

Este projeto está dividido em quatro etapas, sendo:

- (i) a primeira etapa relacionada à construção da base de dados e desenvolvimento de metodologias para tratamento e composição dos históricos necessários;
- (ii) a segunda focada na avaliação e implantação de modelos de previsão meteorológica, que será insumo principal para previsões no horizonte especificado nesse subprojeto;
- (iii) a terceira associada ao estudo e desenvolvimentos de metodologias para melhorar a acurácia das previsões obtidas pelos modelos numéricos de previsão do tempo, e posterior desenvolvimento de um modelo de correção de erros, adequado aos módulos deste projeto;
- (iv) a quarta e última etapa refere-se ao desenvolvimento do modelo de previsão de geração solar fotovoltaica para o planejamento de curtíssimo e curto prazo.

Os produtos que necessitem da utilização de histórico de dados observados nos parques solares serão fornecidos pelo ONS. Caso seja identificado a necessidade de utilização de dados de outras variáveis, verificadas ou previstas, essas variáveis deverão ser definidas durante o desenvolvimento do projeto. Adicionalmente, considerando o estado da arte da modelagem numérica da atmosfera, poderá ser proposto o uso de outros modelos numéricos de previsão do tempo, que o ONS ainda não disponha operacionalmente. No caso de a consultora ter que incorrer em custos operacionais ou de aquisição para utilização de histórico de dados ou de modelos de outras instituições, o custo-benefício envolvido deve ser apresentado para avaliação do ONS. Em caso dos modelos que serão rodados pelo ONS, toda implementação e operacionalização deverá ser contemplada no desenvolvimento deste



projeto, bem como a validação, comparando com os modelos e dados existentes no ONS, e respeitando a infraestrutura disponível para execução interna.

Há diversos produtos neste projeto baseados em implementação computacional de modelos matemáticos para previsão. Não obstante, alguns dos produtos de *software* deverão ser utilizados em cadeia pelo ONS, i.e., imputando as saídas de um programa ao seguinte na sequência. Todo o corpo de *software* desenvolvido para um determinado produto deve respeitar padrões de *design* comuns, ou seja, ter argumentos de entrada e objetos de saída padronizados. Dessa forma, os produtos que contenham entregas de códigos computacionais do projeto se tornam modulares, podendo ser alternados sem nenhum impedimento. Cabe ressaltar que todos os programas computacionais entregues devem ser acompanhados de seus respectivos manuais de usuário, documentação técnica, e deverão estar previstas reuniões de treinamento para sua execução, podendo ser do tipo virtual ou presencial a critério da consultora. Inicialmente, a equipe desenvolvedora deverá propor um cronograma de treinamentos, com possíveis reajustes em função da complexidade e/ou necessidade de esclarecimentos por parte da equipe técnica do ONS. Vale salientar que todos os códigos/programas/sistemas, assim como os documentos, devem ser minuciosamente testados e validados pela contratada antes das entregas nos marcos de cada produto, pois cada entrega passará por validação e aprovação da equipe técnica do ONS.

Adicionalmente, destaca-se que a arquitetura dos sistemas desenvolvidos deverá ser adequada à infraestrutura utilizada pelo ONS.

As previsões produzidas pelos modelos desenvolvidos neste projeto deverão, minimamente, contemplar o horizonte de curtíssimo e curto prazo, ou seja, até um mês à frente. Para atendimento aos processos do ONS, os resultados dos modelos devem estar disponíveis diariamente até as 9h do dia em que ele foi executado (dia “D”) com previsões até, no mínimo, o décimo dia à frente (D a D+10). Dessa forma, é necessária atenção com a otimização dos algoritmos entregues, evitando interrupções abruptas entre as previsões que venham a ser construídas com modelos diferentes. Previsões para o horizonte após o décimo dia poderão ser concluídas até as 12h do dia em que ela é executada (D). A discretização temporal final dos resultados dos modelos deverá ser semi-horária até o décimo dia, e horária até o final do horizonte. Destaca-se que será necessário que haja previsões individuais por parques, que serão agregadas posteriormente conforme as necessidades dos diversos processos do ONS.

Os itens a seguir descrevem detalhadamente os produtos de cada etapa, apresentados nos Quadros 1 a 4. Deverá ser apresentada uma proposta que atenda a demanda de todos os



produtos solicitados, descrevendo de forma clara, coerente e com o detalhamento adequado para que se possa compreender como cada produto será desenvolvido. As entregas que envolvem o desenvolvimento de códigos deverão apresentar manual de usuário contendo as instruções para instalação e execução de cada código, e os códigos devem estar devidamente comentados. Além disso, conforme mencionado anteriormente, os produtos que contemplem as versões finais dos modelos a serem executados pelo ONS, deverão incluir o treinamento adequado à equipe técnica do ONS.

Para os fins deste projeto, serão consideradas confidenciais todas as informações repassadas pelo ONS, bem como todos os produtos desenvolvidos neste projeto serão de propriedade exclusiva do ONS.

6.1 Etapa 1: Construção da base de dados para previsão de geração solar fotovoltaica

Esta etapa é composta de uma única fase, e por um conjunto de cinco produtos que permitirão obter uma base de dados confiável e robusta, refletindo no aperfeiçoamento da previsão de geração solar.

Inicialmente será necessário realizar uma revisão bibliográfica prévia dos sensores, tecnologias e dados utilizados na previsão de geração solar fotovoltaica, inclusive por outros operadores, para delimitação do tema, fundamentação teórica e, ainda, para justificar limites e contribuições ao projeto, ainda que nem todas as informações levantadas possam ser utilizadas integralmente neste projeto. Tais estudos poderão contribuir para possíveis evoluções nos Procedimentos de Rede do ONS.

Em relação aos dados, é necessário avaliar a qualidade dos dados provenientes dos parques solares e os de outras fontes, inclusive realizando comparações entre elas. Usualmente, esses conjuntos de dados não são imediatamente utilizados para se obter a série de dados consolidada, sendo necessário aplicar alguma técnica para regularizar os diferentes intervalos de tempo das medições disponíveis, ampliando ou reduzindo a amostragem temporal, e definindo uma metodologia para validação. Como último produto, destaca-se a construção da base de dados, que deverá contemplar toda a documentação relacionada à construção da base de dados para séries temporais, dados específicos, entre outras informações necessárias para este projeto

Os dados observados nos parques serão repassados à contratada respeitando o estabelecido em acordo de confidencialidade. A forma de disponibilização desse conjunto de dados e de outras grandezas será acordada entre ONS e consultora.



BANCO MUNDIAL
BIRD • AID | GRUPO BANCO MUNDIAL

As necessidades específicas a serem contempladas em cada um dos produtos desta etapa são apresentadas a seguir.

6.1.1 Produto 1: Revisão bibliográfica dos requisitos e instrumentos de medição necessários à previsão de geração fotovoltaica

Este produto tem o objetivo de prover uma revisão bibliográfica consolidada, apresentando de forma clara e objetiva o estado da arte dos sensores e tecnologias utilizadas no monitoramento das variáveis meteorológicas para fins de geração solar fotovoltaica, indicando os benefícios e impactos de cada um deles. Adicionalmente, deverá conter as práticas adotadas por outros operadores de rede pelo mundo que tenham significativa geração fotovoltaica.

Além disso, busca-se definir uma melhor infraestrutura de monitoramento, critérios e requisitos a serem exigidos dos parques solares fotovoltaicos, devendo apresentar no mínimo as seguintes informações:

- (i) especificação das informações cadastrais, localização, altura, orientação, tipo, classe e número de sensores dos parques solares e instrumentos meteorológicos, e informações complementares das características do entorno da estação (relevo, cobertura vegetal, construções e estradas);
- (ii) orientação para manutenção e calibração dos sensores e instrumentos, e definição da frequência de medição;
- (iii) identificar e descrever outras tecnologias ou informações, dentre elas *sky cameras*, imagens de satélite, perfil vertical da atmosfera etc., que possam ser utilizadas neste projeto para compor o banco de dados ou, futuramente, visando o desenvolvimento dos modelos de previsão de geração solar para o tempo real, curtíssimo e curto prazo. No caso das imagens de satélite, será necessário descrever e avaliar as alternativas de sistemas de aquisição e pós-processamento.

Para este produto deverá ser entregue um relatório contendo as análises solicitadas, estudos e recomendações para definição dos critérios e requisitos de medições. Além de descrever de forma clara e estruturada os procedimentos adotados para prover todas as informações requisitadas. Este relatório poderá ser utilizado como orientação para uma evolução nos procedimentos adotados pelo ONS junto aos agentes, bem como referência no desenvolvimento deste projeto no que diz respeito à definição das informações e ou variáveis a serem utilizadas como insumos para os modelos.



6.1.2 Produto 2: Análise dos dados observados de parques solares fotovoltaicos e estações solarimétricas

Este produto tem o objetivo de avaliar o comportamento e a qualidade do histórico de dados fornecidos, provenientes dos parques solares fotovoltaicos, devendo apresentar relatório contendo, no mínimo, as seguintes informações:

- (i) análise do histórico dos dados observados nas estações solarimétricas, considerando o percentual de falhas e de dados errôneos, com identificação dos erros de medidas e de instalação dos sensores e, quando possível, com a identificação da origem do erro, e aplicação de testes de qualidade;
- (ii) análise comparativa dos dados de irradiância observados nas estações solarimétricas com os disponíveis de outras bases consideradas relevantes, como exemplo da NREL (*National Renewable Energy Laboratory*), ou derivadas de modelos de assimilação de dados, e com os dados de geração solar dos parques.

Para este produto, deverão ser entregues a análise dos dados descrita e estruturada de forma clara, os procedimentos adotados para alcançar os objetivos requeridos deste produto, os códigos computacionais, devidamente comentados, desenvolvidos para atender as demandas deste produto, treinamento para a equipe técnica do ONS para uso dos códigos, bem como as fontes de dados, arquivos e informações utilizadas para compor as análises comparativas que deverão ser armazenados numa base de dados em um formato padronizado, a ser acordado com a equipe técnica do ONS.

6.1.3 Produto 3: Metodologias para tratamento e composição de série de dados meteorológicos

Este produto tem o objetivo desenvolver metodologias para tratamento dos dados meteorológicos que serão fundamentais, principalmente, para Etapa 2 desse subprojeto. Adicionalmente, será necessário apresentar uma avaliação das variáveis disponíveis em frequências adequadas para o desenvolvimento do projeto, considerando a validação das previsões meteorológicas, produzidas tanto pelo módulo (II) como os subsequentes.

Após o estabelecimento das variáveis meteorológicas e a frequência necessária, devem ser construídas as séries temporais de dados observados para compor a base de dados. Além dos dados disponibilizados pelo ONS, a contratada deve preencher a base de dados com outras observações consideradas essenciais.



A utilização de dados de órgãos públicos e/ou privados, dados em ponto de grade regularmente espaçados provenientes de observações de satélite e/ou derivados de modelos de assimilação de dados são desejáveis na composição da base de dados. Cabe destacar que qualquer base de dados que não corresponda a dados observados deverá ser validada através de comparações com dados *in-situ*, destacando possíveis potencialidades e fragilidades do tipo de dado.

Além disso, deverão ser desenvolvidos sistemas e/ou códigos computacionais aplicados ao preenchimento de falhas de dados observados. A contratada deverá elaborar um manual para execução dos códigos que venham a ser desenvolvidos, além de avaliar o desempenho das diferentes metodologias que possam ser aplicadas ao preenchimento de falhas. Adicionalmente, a contratada deverá fornecer treinamento adequado à equipe técnica do ONS, para instalação e execução dos códigos que venham a ser desenvolvidos.

Este produto deverá contemplar os itens a seguir:

- (i) revisão do estado da arte no assunto, o detalhamento da metodologia utilizada e análises de desempenho comparando as demais técnicas testadas.
- (ii) estudos que embasem a escolha das variáveis meteorológicas e frequência de medição da base de dados meteorológicos, bem como a seleção dos dados observados provenientes de outras redes, dados em ponto de grade selecionados para compor a base de dados, além da validação dos dados em ponto de grade definidos;
- (iii) metodologias selecionadas para tratamento de dados e preenchimento de falhas;
- (iv) o(s) código(s) do(s) sistema(s) de tratamento de dados e preenchimento de falhas, documentação e manual de execução.

Os dados observados, que serão usados como referência em todos os módulos do sistema principal deste projeto, deverão ser armazenados na base de dados em um formato padronizado, a ser acordado com a equipe técnica do ONS.

Destaca-se que é fundamental que a contratada tenha um conhecimento aprofundado sobre as diferentes fontes de dados disponíveis, e das principais metodologias de preenchimento de dados que serão aplicadas no desenvolvimento deste produto. Deverão ser apresentados de forma clara e detalhada todos os procedimentos que serão empregados para alcançar os objetivos propostos neste produto.



6.1.4 Produto 4: Metodologias para tratamento e composição dos dados dos parques

A fase inicial deste produto consiste na realização de uma extensa revisão da literatura sobre as metodologias que podem ser empregadas para o tratamento e preenchimento de dados observados nos parques solares. Em seguida, deverão ser aplicados/adaptados modelos existentes e/ou desenvolvidos para tratamento dos dados históricos que serão utilizados no desenvolvimento de todos os módulos principais do sistema de previsão de geração solar fotovoltaica, foco principal nas Etapas 3 e 4 desse subprojeto.

Os modelos/códigos desenvolvidos deverão ser capazes de identificar medidas inconsistentes e gerar séries temporais adequadas, possibilitando um uso adequado para, por exemplo, modelos de previsão regressivos. Além disso, deverão ser capazes de aplicar técnicas de preenchimento de falhas, gerando series temporais completas. Os dados consolidados serão importantes para futuros desenvolvimentos de modelos de previsão autorregressivos.

As informações de geração observada, disponibilidade de potência, irradiância e temperatura disponibilizadas pelo ONS ao serem utilizadas nos modelos de correção devem passar previamente por modelos de tratamento de dados. Para algumas dessas variáveis há redundância de informações, portanto, deverá ser desenvolvida uma metodologia de seleção ou combinação de dados para se ter uma única serie temporal observada de cada grandeza.

Deverá ocorrer durante o desenvolvimento desse produto algumas entregas parciais. Os códigos de cada modelo de tratamento implementado e testado, e um breve relatório contendo o detalhamento da metodologia utilizada e análises de desempenho deverão ser fornecidos.

Ao final do desenvolvimento deste produto deverão ser entregues:

- (i) o módulo do modelo de tratamento implementado, bem como um manual de execução, com adequado treinamento da equipe técnica do ONS para execução do modelo;
- (ii) relatório contendo uma revisão do estado da arte no assunto, o detalhamento da metodologia utilizada e análises de desempenho comparando as demais metodologias testadas.

6.1.5 Produto 5: Elaboração da base de dados

As informações com o histórico de dados verificados, agrupados por parques, serão utilizadas extensivamente no desenvolvimento dos demais produtos deste projeto. Dessa forma, é de grande importância que estes dados sejam facilmente acessados não só durante a execução



do projeto, mas também após a sua conclusão. Como a quantidade de informações tende a escalar com o tempo e com o número de medidores e parques existentes, é necessário que sejam feitas ponderações com o desempenho do sistema que armazena e provê os dados.

Este produto consiste na estruturação de um ambiente para armazenamento de dados, verificados e pós-processados pelas metodologias desenvolvidas nos produtos descritos anteriormente, que também seja capaz de fornecer os dados com uma performance que viabilize a execução das aplicações desenvolvidas nos demais produtos do projeto.

Além dos dados verificados, idealmente, este ambiente deve ser escalável para armazenar dados de modelos meteorológicos, que devem consistir nas mesmas grandezas, porém com diferentes resoluções espaciais e temporais. Deste modo, o restante do projeto poderá ser desenvolvido contando com rápido acesso aos dados para treinamento e validação dos modelos associados a cada produto.

O ambiente da base de dados deve ser construído fazendo uso dos recursos e da flexibilidade da tecnologia de nuvem pública, com as devidas restrições de acesso mediante autenticação e autorização para leitura e escrita de informações. A definição da tecnologia ocorrerá durante o desenvolvimento deste produto, de forma conjunta com a contratada, a fim de identificar o que melhor atenda às necessidades deste projeto alinhada à infraestrutura do ONS.

Ao final do desenvolvimento deste produto deverão ser entregues:

- (i) modelo de Dados descrevendo as principais entidades e seus relacionamentos;
- (ii) dicionário de dados;
- (iii) documentação com os padrões de variáveis;
- (iv) diagrama de Arquitetura;
- (v) scripts de criação da estrutura da base de dados, se houver;
- (vi) relatório contendo a descrição do ambiente desenvolvido, bem como os meios para acesso ao ambiente por parte do ONS;
- (vii) plano de testes/validação da base de dados para validar as funcionalidades e o desempenho para acesso aos dados de diversas formas.



Enfim, a base de dados deverá estar estruturada, de modo a receber os dados utilizados nesta etapa e todas as informações de todos os produtos desenvolvidos neste projeto. A validação deste produto, será feita pela equipe técnica do ONS, com base no plano de testes propostos pela consultora e os que julgar necessário, a fim de avaliar a eficiência da base de dados, bem como a existência de possíveis “bugs”. Caso a etapa de provisionamento da base de dados envolva etapas de automação de infraestrutura, devem ser fornecidos os meios para que a equipe técnica do ONS consiga reproduzir o que foi realizado.

6.2 Etapa 2: Desenvolvimento de metodologias e modelos de previsão Meteorológica

Nesta etapa, será desenvolvido o módulo (II) de previsão meteorológica para o modelo de previsão de geração solar fotovoltaica. Esta etapa possui duas fases. Na primeira fase, será feita uma descrição dos modelos e variáveis que serão empregados neste módulo, bem como será feita uma avaliação de previsões de modelos não operacionais para o ONS, mas que tenham potencial para superar as previsões disponíveis para o ONS atualmente.

A fase 2 desta etapa contempla a implementação operacional dos modelos escolhidos para prover a previsão meteorológica, bem como a estruturação dos arquivos de saída deste módulo e entrada para os módulos subsequentes. Assim, a consultora deverá fornecer todos os códigos necessários à operacionalização deste processo. A seguir, são descritos com maiores detalhes os produtos que deverão ser desenvolvidos nesta etapa.

6.2.1 Fase 1 – Avaliação das previsões

A Fase 1 desta etapa tem como principal objetivo avaliar as previsões de modelos numéricos de previsão do tempo que potencialmente serão utilizadas como dados de entrada para o modelo de previsão de geração solar fotovoltaica. Assim, deverão ser feitas avaliações do desempenho das previsões de todas as variáveis meteorológicas de interesse para o processo de previsão de geração solar, e.g., irradiância solar à superfície, temperatura etc.

As previsões geradas pelos modelos disponíveis operacionalmente para o ONS deverão, ser consideradas nesta fase (ver modelos na Tabela 1). Além destas, a consultora poderá propor o uso de diferentes modelos numéricos de previsão do tempo, e avaliar suas previsões, a fim de comparar o ganho que o ONS poderá obter usando tais previsões.

Ao final desta fase, a equipe técnica do ONS deverá ter à disposição uma série de relatórios que auxiliem na decisão do(s) melhor(es) modelo(s) de previsão numérica do tempo que poderá(ão) ser empregado(s) no processo de previsão de geração solar fotovoltaica. A seguir, serão discutidos cada um dos produtos a serem desenvolvidos nesta fase do projeto.



BANCO MUNDIAL
BIRD • AID | GRUPO BANCO MUNDIAL

6.2.1.1 Produto 6: Descrição dos modelos e variáveis a serem utilizadas

Este produto compreende a elaboração de um material de referência sobre os modelos numéricos de previsão do tempo e variáveis meteorológicas que o ONS dispõe atualmente e que são empregados no processo de previsão de geração solar.

Deve-se fazer uma revisão bibliográfica sobre todas as variáveis meteorológicas que possam ser utilizadas para previsão de geração solar, caracterizando o desempenho, potencialidades e desvantagens em se obter as previsões de tais variáveis com os modelos numéricos disponíveis para o ONS.

Ao final deste produto, deverá ser entregue um relatório contendo, além das discussões supracitadas, a metodologia empregada para o desenvolvimento deste estudo. Este relatório servirá como referência para necessidade de avaliação de uso de modelos adicionais àqueles que o ONS tem disponível.

6.2.1.2 Produto 7: Avaliação de uso de modelos meteorológicos não operacionais para o ONS

A revisão bibliográfica feita no decorrer do desenvolvimento do produto anterior deverá subsidiar este produto. A definição das variáveis meteorológicas exploradas para previsão de geração solar irá servir como referência para identificação de modelos numéricos de previsão do tempo que tenham um melhor desempenho no prognóstico de tais variáveis. Assim, este produto contempla a revisão bibliográfica de modelos não operacionais para o ONS, mas que tenham um potencial para produzir melhores previsões das variáveis de interesse.

Além da revisão sobre o desempenho de possíveis modelos a serem empregados, deverão ser estudados os benefícios que o uso de modelos adicionais pode trazer para o ONS, bem como ser elaborada uma estimativa de custos para o ONS produzir as previsões de geração a partir dos modelos sugeridos.

Também deverá ser obtido um histórico de previsões das variáveis meteorológicas previamente determinadas para as regiões de interesse do ONS, a fim de comparar o desempenho destas previsões com aquelas que o ONS dispõe. Neste ponto, é importante destacar que o horizonte temporal das previsões a serem utilizadas neste projeto varia desde um dia até um mês a frente. Portanto, diferentes modelos podem ser indicados ao uso, de acordo com o horizonte temporal da previsão. Além disso, para o caso de modelos regionais e/ou de mesoescala, estes poderão ser configurados com diferentes domínios, e executados com diferentes conjuntos de parametrizações de acordo com a região de interesse da previsão.



Neste caso, deve-se considerar a geração de um histórico de previsões contemplando todas as diferentes configurações do(s) modelo(s).

Assim, as entregas correspondentes a este produto são: (i) um relatório contendo a revisão bibliográfica requerida, abrangendo os diferentes horizontes de previsão e indicando a metodologia empregada à elaboração da revisão; (ii) arquivos estruturados contendo o histórico das previsões do(s) modelo(s) numérico(s) que será(ão) avaliado(s) no próximo produto. É importante destacar que o histórico das previsões obtidas deverá contemplar um período mais longo, a ser proposto pela consultora, mas que permita que seja feita uma avaliação do comportamento sazonal das previsões.

6.2.1.3 Produto 8: Avaliação de desempenho das previsões meteorológicas e seleção das variáveis

O principal objetivo deste produto é avaliar o desempenho dos modelos numéricos de previsão do tempo, tanto aqueles disponíveis de maneira operacional para o ONS, quanto os não operacionais propostos no Produto 7, e selecionar os melhores modelos e variáveis meteorológicas a serem utilizados para previsão de geração solar fotovoltaica (módulo (IV) principal deste projeto).

A avaliação do desempenho deverá ser feita usando índices estatísticos quantitativos e qualitativos. A escolha e adequação dos índices deverão ser devidamente justificadas no relatório referente a este produto, e serão objetos para avaliação das propostas a serem apresentadas.

Os arquivos de previsão e observação das variáveis meteorológicas que serão consideradas nesta avaliação (indicadas como resultado no Produto 6), deverão possuir a mesma estrutura, homogeneizando assim o processo de avaliação. Além disso, a contratada deverá avaliar previamente o potencial para remover possíveis vieses sistemáticos das variáveis neste produto, para evitar interpretações equivocadas e utilizar análises que avaliem o potencial final dessas previsões.

O(s) código(s) e/ou *software(s)* utilizados no desenvolvimento desta avaliação deverão ser disponibilizados ao ONS, permitindo que atualizações das avaliações de desempenho sejam feitas.

Assim, as entregas deste produto correspondem ao relatório contendo a avaliação das previsões e o(s) código(s) produzido(s) para manutenção e atualização das avaliações. Destaca-se que o método a ser empregado para avaliação das previsões é objeto para



avaliação das propostas a serem apresentadas. Portanto, cabe à consultora apresentar a metodologia de avaliação de maneira clara e com detalhamento adequado.

Adicionalmente, na avaliação de modelo(s) numérico(s) de previsão do tempo não operacionais pelo ONS, deve-se atingir resultados superiores aos modelos já operacionais no ONS. Uma vez que o foco desse produto é fornecer melhores insumos meteorológicos para o modelo de previsão de geração fotovoltaica.

Sendo assim, os resultados deste produto deverão direcionar o ONS quanto à implementação operacional ou não de novo(s) modelo(s) numérico(s) de previsão do tempo em sua cadeia de processos. Cabe destacar aqui que, caso a contratada não possua um histórico de previsões dos modelos operacionais que o ONS utiliza (ver Tabela 1), é responsabilidade da contratada obter este histórico para ao menos um ano, viabilizando a avaliação de desempenho dos modelos. Devido a restrições contratuais, não é permitido ao ONS disponibilizar suas previsões por ponto de grade.

6.2.2 Fase 2 – Implementação operacional das previsões meteorológicas

Após a avaliação do desempenho dos modelos numéricos de previsão do tempo, deverá ser estruturada a arquitetura para implementação e uso operacional das previsões. No caso dos modelos disponíveis para o ONS, devem-se desenvolver códigos para disponibilizar o arquivo de saída das previsões numéricas com a estrutura de entrada para os módulos subsequentes. Para o caso de identificação de ganhos potenciais com a inserção de novo(s) modelo(s), deve-se desenvolver um sistema operacional para obtenção das previsões, e suas saídas deverão ser estruturadas da mesma maneira que as saídas dos modelos já disponíveis operacionalmente.

Portanto, esta fase da Etapa 2 tem como objetivo estruturar as saídas do módulo (II) de previsão meteorológica, de maneira que os arquivos produzidos neste módulo sejam usados como dados de entrada para os dois módulos subsequentes deste projeto. Os produtos desta fase são melhor detalhados a seguir.

6.2.2.1 Produto 9: Implementação dos modelos não operacionais

A avaliação do desempenho de modelos numéricos de previsão do tempo adicionais ao que o ONS possui será um dos resultados do Produto 8. Caso seja diagnosticado um desempenho adequado de modelos não operacionais para o ONS, identificado em comum acordo pela equipe técnica do ONS e a consultora, esta última deverá implementar o modelo operacionalmente neste produto.



O modelo a ser implementado deverá ser configurado adequadamente para todas as regiões de interesse do ONS. Para o caso de modelos regionais e/ou de mesoescala que tenham sido configurados com diferentes domínios e/ou conjuntos de parametrizações, todas as configurações indicadas com um desempenho adequado, definido pelas avaliações feitas no Produto 8, deverão ser incorporadas na implementação do(s) modelo(s).

A operacionalização do modelo deverá respeitar as tecnologias disponíveis pelo ONS, sendo assim, o modelo deverá ser configurado para ser executado de maneira operacional em ambiente de nuvem pública, preferencialmente, da *Amazon Web Services* (AWS), realizando um adequado dimensionamento de infraestrutura.

Ao final do desenvolvimento deste produto, todos os códigos necessários para execução do modelo implementado deverão ser disponibilizados. Os códigos deverão ser devidamente comentados, a fim de facilitar treinamento da equipe técnica do ONS para sua execução. Também deverá ser disponibilizado um manual de usuário, com uma descrição detalhada de cada etapa do sistema desenvolvido, além das indicações completas para execução do modelo. Este sistema, implementado para execução do modelo, deverá gerar um arquivo de *log*, detalhando a execução de cada etapa do modelo, bem como indicando os erros de execução que possam vir a ocorrer.

A consultora deverá oferecer treinamento adequado à equipe técnica do ONS, a fim de garantir a manutenção da execução operacional do modelo. Para este produto a equipe técnica do ONS irá avaliar o detalhamento das informações fornecidas na proposta, com as indicações técnicas e adequação da implementação do modelo junto ao ONS.

6.2.2.2 Produto 10: Padronização dos arquivos e construção dos ambientes para validação operacional

Este produto contempla a padronização das fontes e dos formatos de dados que são consumidos e produzidos pelo modelo de previsão meteorológica desenvolvido, bem como a construção dos ambientes, em arquitetura de nuvem pública, para validação operacional.

Os dados de entrada que são necessários ao modelo, sejam eles estruturados ou não estruturados, relacionais ou não relacionais, devem ser padronizados, de modo a serem compatíveis com a base de dados construída na Etapa 1. Os dados de saída produzidos pelo modelo também devem ser compatíveis com as premissas adotadas para estruturação da base de dados, antecipando que os dados de saída podem ser utilizados como dados de entrada de outros modelos desenvolvidos em etapas posteriores.



Deverão ser entregues neste produto, além das implementações para padronização, o modelo de dados, desenho da arquitetura, dicionário de dados e documentação descrevendo a formatação dos arquivos.

6.3 Etapa 3: Desenvolvimento de metodologias e modelos para correção de erro das previsões numéricas de tempo

Esta etapa está separada em 2 fases, sendo uma fase para realização de estudos e testes de modelos para correção das variáveis numéricas. E uma fase mais focada na concepção de um modelo de correção adequadamente estruturado como um produto e sua implementação operacional.

6.3.1 Fase 1 – Estudos, exploração e análise de metodologias para correção

Esta fase tem o objetivo de explorar metodologias de pós-processamento e correção de viés em previsões numéricas do tempo de modo a produzir insumos de maior qualidade para o processo de previsão de geração solar fotovoltaica.

6.3.1.1 Produto 11: Avaliação e desenvolvimento de metodologias para correção das previsões numéricas

Este produto tem como objetivo a realização de avaliação e desenvolvimento de metodologias para correção das previsões numéricas de tempo, sendo necessário a implementação e comparação de diversas abordagens para pós-processamento dessas previsões com base nos dados observados disponíveis. Devem ser exploradas alternativas de modelagem clássica, computacional e híbridas, bem como métodos não paramétricos e metaheurísticas. Inicialmente, espera-se uma extensa revisão bibliográfica no tópico de pós-processamento de previsões numéricas do tempo, indicando qual o estado da arte e recentes inovações no campo.

Os modelos numéricos de previsão do tempo possuem saídas de suas previsões em intervalos intradiários, com resolução temporal variável (ver Tabela 1). Tais intervalos temporais, em geral, são diferentes daqueles necessários para execução dos processos do ONS, onde todos os dados observados disponíveis estão na resolução de 30 minutos. Portanto, caberá à contratada avaliar se técnicas de interpolação devem ser aplicadas de modo a preencher as previsões brutas, ou se será necessário o uso de modelos para transformar previsões mais esparsas em versões corrigidas na resolução adequada aos processos do ONS, alcançando assim um melhor desempenho.



Quanto aos modelos a serem desenvolvidos, há uma série de aspectos dos dados, considerados relevantes, que devem ser abordados. É desejável que se avaliem métodos cujos dados de entrada são as previsões em grade, tanto completas quanto seccionadas numa determinada região de interesse, que pode ser considerada por pontos de grade ao redor da coordenada de um elemento de previsão, por exemplo. Concomitantemente, metodologias multivariadas no espaço também devem ser testadas, compartilhando informações entre elementos próximos e, possivelmente, generalizando para coordenadas nas quais ainda não há séries verificadas.

Ainda neste quesito de uso de modelos multivariados, também é importante abordar o uso de modelos que considerem diversas grandezas meteorológicas como insumo. Esta etapa pode incluir até mesmo grandezas consideradas inicialmente como irrelevantes para o processo de previsão fotovoltaica, porém relevantes para representação dos processos físicos reais.

Destaca-se que a previsão realizada pelo ONS é pontual, isto é, considera-se apenas um trajeto de geração prevista por elemento de previsão. Neste produto, no entanto, também devem ser exploradas técnicas de pós-processamentos por *ensembles*, a partir das quais é possível extrair um *quantil* específico como previsão pontual das variáveis meteorológicas de interesse.

Finalmente, deve ser observado que os elementos de previsão supracitados também podem ser flexíveis. Assim, os modelos podem ser construídos usando uma base de parques fotovoltaicos, porém, análises de agrupamento e/ou extração de padrões, tanto de dados verificados quanto previstos, podem ser exploradas no tratamento de viés.

Adicionalmente, espera-se que os métodos de *downscaling* estatístico sejam devidamente avaliados e documentados nesse produto, auxiliando na decisão do melhor modelo/técnica para corrigir as previsões de variáveis meteorológicas.

Ao final deste produto, espera-se um relatório técnico detalhando, de forma aprofundada, os desenvolvimentos realizados, juntamente com todos os programas computacionais desenvolvidos. A entrega deve conter todo o detalhamento técnico dos modelos propostos, incluindo sua formulação matemática. Também deve ser apresentado o processo de parametrização e estimação dos diferentes modelos, indicando melhorias e modificações gerais com respeito à literatura. Por fim, este relatório deve conter uma análise de desempenho de todos os modelos em um conjunto representativo de parques, apontando a(s) melhor(es) abordagem(ns), possivelmente por região ou elemento de previsão. Nesse sentido, o ONS fornecerá os dados que possuir de todos os parques em operação comercial. Cabe à



contratada selecionar o conjunto de interesse, desde que esse conjunto tenha todas as características importantes para essa atividade, ou mesmo utilizar os dados de todos os parques disponíveis.

A análise de desempenho deve incluir comparações dos modelos propostos com a previsão numérica bruta, além de quaisquer outros *benchmarks* que a instituição julgar pertinentes. Em termos de métricas, minimamente devem ser abordadas análises de viés, incluindo testes estatísticos sobre a média nula do erro bruto de previsão. Por fim, cabe ressaltar que esta análise deve ser realizada tanto na série de desvios de previsão completa como por horizonte, bem como em todo o período de teste e em janelas sazonais.

Cabe destacar que para avaliar as propostas inerentes a este produto, além da clareza e do detalhamento dos procedimentos que serão empregados, a equipe técnica do ONS irá considerar a originalidade da proposta e as técnicas e métricas indicadas para validação do(s) melhor(es) modelo(s) a ser(em) adotado(s).

6.3.1.2 Produto 12: Adequação das melhores metodologias e criação do protótipo de correção das previsões numéricas

A partir da revisão e comparação geral realizada no produto anterior, devem ser selecionadas as metodologias consideradas mais adequadas para remoção de viés, possivelmente diferentes para cada usina ou grupo de parques. É esperado o refinamento do(s) arcabouço(s) selecionados de modo a extrair o máximo possível das informações disponíveis. Devem ser investigadas modificações nas parametrizações dos modelos e/ou treinamento, indo além daquilo encontrado na literatura, para cada caso considerado, tendo em vista abarcar as especificidades de cada comportamento apresentado nos dados observados. Caso mais de uma abordagem seja elencada para cada elemento de previsão, métodos de combinação das múltiplas correções devem ser propostos nesta etapa.

Como entrega deste produto se espera um protótipo do *software* para correção de viés, isto é, um programa completo e funcional incorporando a metodologia desenvolvida até este ponto. É esperado que este programa apresente performance comparável ao estado da arte na literatura. O protótipo deve ser acompanhado de um relatório executivo detalhando a metodologia implementada e de um manual de uso e operacionalização.

6.3.2 Fase 2 – Implementação operacional do modelo de correção

Esta fase tem o objetivo de implementar o protótipo desenvolvido anteriormente nesta etapa, que contém o melhor modelo, ou o *ensemble* dos melhores modelos de correção das previsões meteorológicas para a previsão de geração fotovoltaica, em uma rotina operacional.



6.3.2.1 Produto 13: Padronização dos formatos dos dados e construção dos ambientes para validação operacional

Este produto contempla a padronização das fontes e dos formatos de dados que são consumidos e produzidos pelo modelo de correção de viés desenvolvido, bem como a construção dos ambientes, em arquitetura de nuvem pública, para validação operacional.

Os dados de entrada que são necessários ao modelo, sejam eles estruturados ou não estruturados, relacionais ou não relacionais, devem ser padronizados, de modo a serem compatíveis com a base de dados construída na Etapa 1. Os dados de saída produzidos pelo modelo também devem ser compatíveis com as premissas adotadas para estruturação da base de dados, antecipando que os dados de saída podem ser utilizados como dados de entrada do último módulo do sistema de previsão de geração solar fotovoltaica, i.e., o módulo (IV) referente à previsão de geração.

Deverão ser entregues neste produto, além das implementações para padronização, toda documentação essencial para que os técnicos do ONS validem os ambientes.

6.3.2.2 Produto 14: Adaptação do protótipo de correção para execução em ambiente operacional e validação do funcionamento

Este produto consiste na adaptação do modelo desenvolvido na Fase 1 para funcionamento em ambiente operacional, nos moldes do que foi padronizado e convencionado no Produto 12. É esperado que o modelo seja capaz de passar por uma rodada de validação, que irá verificar se este apresenta os resultados que foram obtidos durante o seu desenvolvimento.

Na entrega final deste produto, é esperado que o modelo consiga realizar as suas correções num ambiente operacional, consumindo os dados das fontes adequadas, nos formatos especificados e produzindo seus dados de saída para o mesmo ambiente. Também é esperado que o tempo para execução do modelo não torne impeditiva a sua aplicação operacional, tendo em vista que será aplicado em escala quando funcionando no ambiente de produção. Caso o tempo de treinamento dos modelos acabem sendo elevados, em razão dos tipos de modelos, esses treinamentos deverão ser realizados em tempos diferentes ao processo operacional.

É de suma importância que a contratada valide o modelo final e forneça os códigos e toda documentação necessária para que o ONS consiga realizar sua própria validação do produto.



6.4 Etapa 4: Desenvolvimento do Modelo de Previsão Fotovoltaica para o planejamento de curtíssimo e curto prazo

Esta etapa está dividida em 2 fases, sendo que a fase 1 refere-se aos desenvolvimentos de modelos preditivos que melhor se enquadrem ao tema, bem como a criação de um primeiro protótipo do modelo de previsão de geração solar fotovoltaica para o curtíssimo e curto prazo. Na fase 2, serão desenvolvidas as atividades referentes à implantação e implementação operacional do modelo, com otimização e validação do produto desenvolvido.

Inicialmente, os modelos de previsão de geração serão desenvolvidos a partir de um conjunto de parques fotovoltaicos em operação comercial. 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.

6.4.1 Fase 1 – Estudos, exploração e análise de metodologias para previsão de geração fotovoltaica

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 solar fotovoltaica.

6.4.1.1 Produto 15: Avaliação e desenvolvimento de metodologias para previsão de geração fotovoltaica

Este produto é similar ao Produto 11, dado que ambos tratam do desenvolvimento de metodologias. De forma semelhante, espera-se a realização de extensa revisão bibliográfica a respeito do estado da arte em previsão de geração solar fotovoltaica e abordagem do problema através dos arcabouços gerais descritos Produto 11. Adicionalmente, por se tratar de geração, devem ser estudados métodos físicos de previsão, nos quais se estimam funções de produção de energia com base nas características físicas do processo, e metodologias híbridas combinando métodos físicos com estatísticos e de inteligência computacional.

As linhas gerais de modelagem a serem abordadas, descritas no Produto 11, também se aplicam a este produto, fazendo uma substituição da variável dependente para geração no lugar de séries naturais, com dois outros aspectos a serem abordados. Primeiramente, devem ser avaliados modelos tomando como insumo as previsões numéricas brutas (sem pós-processamento), ou seja, sem utilizar o módulo (III) de correção das variáveis meteorológicas apresentado na Figura 1. O intuito disso é depreender se as metodologias estudadas no Produto 11 são poderosas o suficiente ou se o processo de previsão pode pular a etapa de pós-processamento sem perda de qualidade ou ainda com melhoria de desempenho.



Em segundo lugar, é mencionado no Produto 11 a diferença de resoluções temporais entre previsões numéricas e as previsões de geração que o ONS emite. Devem ser avaliadas abordagens para solução dessa divergência, como interpolação das previsões brutas antes ou após a correção, nos modelos, cuja variável dependente corresponde à resolução de previsão alvo, deve-se tomar como insumo as previsões em sua frequência original. Nessa segunda opção, grande cautela deve ser tomada com a patamarização das semanas, visto que o número de horas em cada patamar de carga pode variar a cada semana do ano em função da presença ou não de feriados.

Novamente, assim como no produto de remoção de viés, é esperado um relatório técnico detalhando, de forma aprofundada, acompanhado de todas as implementações realizadas como entrega final deste produto. As mesmas avaliações e métricas de desempenho sugeridas valem também para a avaliação das previsões de geração, com adicional atenção à comparação entre modelos recebendo variáveis corrigidas e brutas. Também é importante comparar modelos cujas previsões nos horizontes mais longos são emitidas diretamente em patamares de carga com aqueles em maior frequência com posterior patamarização. Por fim, o modelo atualmente utilizado pelo ONS deve constar entre os *benchmarks* considerados.

6.4.1.2 Produto 16: Adequação das melhores metodologias e criação do protótipo do modelo para previsão de geração fotovoltaica

Tal qual o produto anterior é similar ao Produto 11, este é similar ao Produto 12. Aqui, devem ser selecionados subconjuntos dos modelos avaliados, possivelmente por elementos de previsão, e refinados para se adaptarem mais acuradamente a cada caso. Novamente, caso mais de um modelo seja selecionado por elemento, métodos de combinação devem ser propostos.

A primeira entrega é composta por um protótipo de *software* para produção das previsões de geração solar fotovoltaica acompanhado do relatório técnico descritivo e manual de execução. É esperado que este *software* seja comparável ao estado da arte encontrado na literatura e apresente desempenho significativamente superior àquele obtido pela atual modelagem empregada pelo ONS.

Após a primeira entrega do protótipo, deverá haver uma interação entre o ONS e a instituição contratada para que possíveis melhorias sejam identificadas e implementadas ao modelo de previsão. O ONS deverá realizar uma extensa avaliação, o que pode gerar necessidades de ajustes. Sendo assim, após todos os ajustes no protótipo pela contratada, deverá ser entregue o relatório técnico, manual de execução e protótipo atualizado, bem como uma apresentação das melhorias nos modelos adotados na construção desta versão. Por ser um produto focado



nos ajustes do protótipo, nesse produto deverá ocorrer uma interação ainda maior entre a contratada e o ONS, sendo assim, é preciso prever reuniões recorrentes para tais discussões.

6.4.2 Fase 2 – Implementação e operacionalização do modelo de previsão de geração fotovoltaica

Esta fase consiste na aplicação do primeiro protótipo. Deverá ser feita a adequação para escala operacional com otimização e validação para todos os parques solares fotovoltaicas em operação comercial. Nesta fase, deverá haver uma maior interação 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.

6.4.2.1 Produto 17: Padronização dos formatos dos dados e construção dos ambientes para validação operacional

Este produto contempla a padronização das fontes e dos formatos de dados que são consumidos e produzidos pelo modelo de previsão de geração fotovoltaica desenvolvido, bem como a construção dos ambientes, em arquitetura de nuvem pública, para validação operacional.

Os dados de entrada que são necessários ao modelo, sejam eles estruturados ou não estruturados, relacionais ou não relacionais, devem ser padronizados, de modo a serem compatíveis com a base de dados construída na Etapa 1. Os dados de saída produzidos pelo modelo também devem ser compatíveis com as premissas adotadas para estruturação da base de dados. O modelo desenvolvido e escolhido para validação em ambiente operacional pode, opcionalmente, utilizar dados de outros modelos também desenvolvidos no escopo do projeto, principalmente na Etapa 3, o que também deve ser previsto na entrega deste produto.

Como marco de finalização desse produto, espera-se a entrega de toda documentação necessária para que o ONS valide as implementações realizadas.

6.4.2.2 Produto 18: Adaptação do protótipo de previsão para execução em ambiente operacional e validação do funcionamento

Este produto consiste na adaptação do modelo desenvolvido na Fase 1 para funcionamento em ambiente operacional, nos moldes do que foi padronizado e convencionado no Produto 16. É esperado que o modelo seja capaz de passar por uma rodada de validação, que irá verificar se este apresenta os resultados que foram obtidos durante o seu desenvolvimento.

Na entrega final deste produto, é esperado que o modelo consiga realizar as suas previsões num ambiente operacional, consumindo os dados das fontes adequadas, nos formatos



especificados e produzindo seus dados de saída para o mesmo ambiente. Também é esperado que o tempo para execução do modelo não torne impeditiva a sua aplicação operacional, e caso dependa de tempos elevados para treinamento, esses deverão ser realizados em tempos diferentes da realização da previsão, pois será aplicado em escala quando funcionando no ambiente de produção.

Este é o produto final e alvo do subprojeto, sendo assim, a instituição contratada deverá entregar o produto com um tempo de antecedência que possibilite a interação com o ONS e acompanhamento da execução no ambiente do ONS por um período mínimo de 4 semanas. Caso se verifique a necessidade de correções, o período de 4 semanas será reiniciado após a conclusão dos ajustes pela contratada. Depois da operacionalização e de suas devidas correções, se houver, o ONS verificará a precisão das informações por um período mínimo, em comum acordo com a contratada. Adicionalmente, poderão ocorrer situações de falhas no processo não previstas anteriormente nesse período, necessitando de correções, caso as falhas estejam associadas ao desenvolvimento da contratada.

7 PRAZO DE EXECUÇÃO/CRONOGRAMA

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

Os prazos são definidos em meses corridos, e o período de alguns produtos parciais podem ser executados em paralelo. O período total do contrato contando todas as etapas deve ser de 20 meses.

Todos os produtos que exigem entregas de códigos deverão ser acompanhados de treinamentos para uso desses códigos.

Adicionalmente, deverão estar previstas reuniões regulares, semanais ou quinzenais, para discussões relacionadas ao andamento das atividades, ajustadas conforme às necessidades do projeto.

7.1 Etapa 1 – Construção da base de dados para previsão de geração solar fotovoltaica

A Etapa 1 trata da construção, estruturação e preenchimento da base de dados que será utilizada no processo de previsão de geração solar fotovoltaica. Esta etapa é composta de uma única fase e possui 5 produtos associados a ela. Os produtos envolvem o desenvolvimento de relatórios contendo uma ampla revisão bibliográfica sobre sensores, tecnologias e dados utilizados na previsão de geração solar fotovoltaica, assim como a



avaliação da qualidade de dados meteorológicos e de parques solares, utilizando metodologias de preenchimento de dados adequadas para construção da base de dados. A Tabela 2 ilustra o cronograma das atividades a serem desenvolvidas nesta primeira etapa do projeto. Para todos os produtos está sendo considerada a forma de pagamento em parcelas de acordo com a especificidade de cada produto. Destaca-se que é considerado um aumento gradativo para as parcelas de entregas de cada produto, i.e., os valores das últimas parcelas de cada produto serão sempre superiores aos valores das primeiras parcelas.

A quantidade de entregas está descrita na coluna “Entregas” da Tabela 2, 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. Por exemplo, para o Produto 1, deverá ser entregue um relatório parcial no meio do 3º mês (contendo todas as pesquisas dentro desses dois meses), e no final do 5º mês um relatório final (contendo tudo que foi realizado dentro dos 5 primeiros meses). Vale salientar que a entrega final deverá compor todas as entregas parciais, todavia, podem existir documentos separados, uma vez que não necessariamente todos os itens da pesquisa durante o desenvolvimento do produto precisam ser utilizados no final dele.

Tabela 2 Cronograma de atividades da ETAPA 1.

Produto Previsto				Duração	% do contrato
Produto	Tipo	Descrição	Entregas		
1	Relatório	Revisão bibliográfica dos requisitos e instrumentos de medição necessários a previsão de geração fotovoltaica	1 relatório ao final do 2º mês com a revisão bibliográfica + 1 relatório ao final do 5º mês contendo as análises e recomendações dos requisitos de medições	5 meses	5% em 2 parcelas
2	Relatório, análises e treinamento	Análise dos dados observados de parques solares fotovoltaicos e estações solarimétricas	1 relatório com as análises + códigos e manual + treinamento ao final do 2º mês	2 meses	1% em 1 parcela
3	Relatório, desenvolvimento e treinamento	Metodologias para tratamento e composição de série de dados meteorológicos	1 relatório com a revisão bibliográfica e avaliações iniciais ao final do 2º mês + código fonte e manual da aplicação da metodologia e treinamento para uso	5 meses	5% em 2 parcelas



			da metodologia e entendimento do código e relatório ao final do 5º mês		
4	Relatório, desenvolvimento e treinamento	Metodologias para tratamento e composição dos dados dos parques	1 relatório com a revisão bibliográfica e avaliações iniciais ao final do 2º mês + código fonte e manual da aplicação da metodologia e treinamento para uso da metodologia e entendimento do código, ao final do 4º mês e relatório final no 5º mês	5 meses	5% em 3 parcelas
5	Relatório e desenvolvimento	Elaboração da base de dados	Entrega parcial, ao final de 45 dias, do Relatório contendo a descrição do ambiente + documentação e implementação da base de dados até o final do 3º mês	3 meses	3% em 2 parcelas

7.2 Etapa 2 – Desenvolvimento de metodologias e modelos de previsão Meteorológica

Na Etapa 2, será desenvolvido o módulo de previsão meteorológica para o modelo de previsão de geração solar fotovoltaica. Esta etapa está dividida em duas fases. A Fase 1 trata da avaliação das previsões meteorológicas e Fase 2 contempla a implementação operacional das previsões meteorológicas. A Tabela 3 representa o cronograma das atividades necessárias para esta etapa.

Tabela 3 Cronograma de atividades da ETAPA 2

Produto Previsto					
Produto	Tipo	Descrição	Entregas	Duração	% do contrato
6	Relatório e avaliação	Descrição dos modelos e variáveis a serem utilizadas	Relatório com descritivo parcial, ao final do 2º mês + Relatório final até o final do 4º mês	4 meses	3% em 2 parcelas



7	Relatório e avaliação	Avaliação de uso de modelos meteorológicos não operacionais para o ONS	Relatório com revisão bibliográfica, ao final do 2º. mês + relatório com avaliação parcial dos modelos ao final do 5º mês + relatório final até o final do 7º mês	7 meses	8% em 3 parcelas
8	Relatório, desenvolvimento e treinamento	Avaliação de desempenho das previsões meteorológicas e seleção das variáveis	Descritivo parcial ao final do 1º mês + códigos e manual + treinamento + relatório final até o final do 3º mês	3 meses	2% em 2 parcelas
9	Relatório, desenvolvimento e treinamento	Implementação dos modelos não operacionais	Descritivo parcial ao final do 1º mês + códigos e manual + treinamento ao o final do 4º mês + relatório final até o final do 5º mês	5 meses	7% em 3 parcelas
10	Relatório e desenvolvimento	Padronização dos arquivos e construção dos ambientes para validação operacional	Relatório final	2 meses	2% em 1 parcela

7.3 Etapa 3 – Desenvolvimento de metodologias e modelos para correção de erro das previsões numéricas de tempo

A Etapa 3 aborda o módulo (III) do sistema de previsão de geração solar fotovoltaica. Neste módulo, deverão ser estudadas diversas metodologias e a elaboração de modelos para correção de erro das previsões numéricas de tempo. Esta etapa está dividida em duas fases. Na primeira fase, devem ser realizados estudos e testes de performance para definição do(s) modelo(s) mais adequado(s) para correção das previsões numéricas do tempo. Na segunda fase, a contratada deverá implementar de maneira operacional o modelo selecionado a partir dos estudos desenvolvidos na Fase 1. A Tabela 4 representa o cronograma das atividades necessárias desta etapa



Tabela 4 Cronograma de atividades da ETAPA 3

Produto Previsto				Duração	% do contrato
Produto	Tipo	Descrição	Entregas		
11	Relatório e desenvolvimento	Avaliação e desenvolvimento de metodologias para correção das previsões numéricas	Relatório com revisão bibliográfica ao final do 2º mês + relatório com avaliação das metodologias ao final do 4º mês + códigos e manual + treinamento e relatório final até o final 6º. mês	6 meses	8% em 3 parcelas
12	Relatório, desenvolvimento e treinamento	Adequação das melhores metodologias e criação do protótipo de correção das previsões numéricas	Relatório com descrição das metodologias em 45 dias + códigos e manual + treinamento e relatório final até o final do 4º mês	4 meses	5% em 2 parcelas
13	Relatório e desenvolvimento	Padronização dos formatos dos dados e construção dos ambientes para validação operacional	Relatório final	1 mês	1% em 1 parcela
14	Relatório, desenvolvimento e treinamento	Adaptação do protótipo de correção para execução em ambiente operacional e validação do funcionamento	Relatório parcial em 45 dias+ códigos e manual + treinamento e documentação final até o final do 2º. mês	2 meses	3% em 2 parcelas

7.4 Etapa 4 – Desenvolvimento do Modelo de Previsão Fotovoltaica para o planejamento de curtíssimo e curto prazo

A quarta e última etapa deste projeto é voltado para o desenvolvimento do módulo (IV) do sistema de previsão de geração solar fotovoltaica, cujo principal objetivo é desenvolver e implementar operacionalmente o modelo de previsão de geração solar. Esta etapa está dividida em 2 fases, sendo que a Fase 1 refere-se aos desenvolvimentos de modelos preditivos que melhor se enquadrem ao tema, bem como a criação de um primeiro protótipo do modelo de previsão de geração solar fotovoltaica para o curtíssimo e curto prazo. Na Fase 2, serão desenvolvidas as atividades referentes à implantação e implementação operacional do



modelo, com otimização e validação do produto desenvolvido. Na Tabela 5, são apresentadas as principais atividades e entregas desta etapa.

Tabela 5 Cronograma de atividades da ETAPA 4

Produto Previsto				Duração	% do contrato
Produto	Tipo	Descrição	Entregas		
15	Relatório e desenvolvimento	Avaliação e desenvolvimento de metodologias para previsão de geração fotovoltaica	Relatório com revisão bibliográfica ao final do 2º mês + relatório com avaliação das metodologias ao final do 4º mês + códigos fonte e manual + treinamento ao final do 7º mês e relatório final até o final do 8º mês	8 meses	14% em 4 parcelas
16	Relatório, desenvolvimento e treinamento	Adequação das melhores metodologias e criação do protótipo do modelo para previsão de geração fotovoltaica	Relatório com descrição das metodologias ao final do 2º mês + códigos fonte e manual + treinamento ao final do 5º mês e relatório final até o final do 6º mês	6 meses	14% em 3 parcelas
17	Relatório e desenvolvimento	Padronização dos formatos dos dados e construção dos ambientes para validação operacional	Relatório final	3 meses	3% em 1 parcela
18	Relatório, desenvolvimento e treinamento	Adaptação do protótipo de previsão para execução em ambiente operacional e validação do funcionamento	Relatório parcial em 45 dias + códigos e manual + treinamento até final do 3º mês e documentação final até o final do 4º mês	4 meses	11% em 3 parcelas

A Tabela 6 exibe os meses de início e término, aproximadamente, de cada atividade do cronograma do modelo de previsão de geração fotovoltaica para o planejamento de curtíssimo e curto prazo.



Tabela 6 Cronograma de atividades do modelo de previsão fotovoltaica para o planejamento de curtíssimo e curto prazo

Atividades		Meses																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Etapa 1	Produto 1	█	█	█	█	█															
	Produto 2	█	█																		
	Produto 3	█	█	█	█	█															
	Produto 4		█	█	█	█	█														
	Produto 5				█	█	█	█													
Etapa 2	Produto 6	█	█	█	█																
	Produto 7			█	█	█	█	█	█	█											
	Produto 8								█	█	█										
	Produto 9								█	█	█	█	█								
	Produto 10												█	█							
Etapa 3	Produto 11				█	█	█	█	█	█											
	Produto 12								█	█	█	█									
	Produto 13												█								
	Produto 14													█	█						
Etapa 4	Produto 15					█	█	█	█	█	█	█	█								
	Produto 16												█	█	█	█	█				
	Produto 17																█	█	█		
	Produto 18																		█	█	█

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 possui capacidade para contribuir nos temas abordados e poderá dar o suporte necessário para melhor andamento do projeto.



Os profissionais da equipe chave serão avaliados por meio das evidências apresentadas nos seus currículos. O conhecimento e a experiência exigidos para os cargos da equipe chave deverá ser evidenciados por meio de atuação profissional, artigos científicos, participação em projetos de pesquisas e de P&D, e patentes de programas. Vale salientar que as evidências apresentadas devem estar vinculadas aos serviços/assuntos objetos deste subprojeto.

8.1 Equipe Chave

Meteorologista/Físico (Especialista, PhD): O profissional deve ter nível superior em Física ou Meteorologia com pós-graduação, mestrado ou doutorado em áreas afins aos produtos deste projeto. Necessário ter experiência de no mínimo 10 anos em pesquisa e desenvolvimento e/ou atuação profissional relacionados ao escopo do projeto, além de inglês fluente. Adicionalmente, o profissional deve comprovar conhecimento e experiência em análise e tratamento de dados meteorológicos e solarimétricos, modelagem atmosférica, em técnicas de correções das previsões numéricas de variáveis meteorológicas e da geração solar fotovoltaica no Setor Elétrico Brasileiro (SEB). É desejável que o profissional possua conhecimentos em linguagem de programação *open-source* e experiência com inteligência computacional e/ou *machine learning*.

Engenheiro: O profissional deve ter formação superior em Engenharia Elétrica com mestrado e/ou doutorado em áreas afins aos produtos deste projeto. Necessário ter experiência de no mínimo 10 anos em pesquisa e desenvolvimento e/ou atuação profissional relacionados aos produtos deste projeto. O profissional deve comprovar conhecimento e experiência no Setor Elétrico Brasileiro - SEB, principalmente na geração de energia por fonte solar fotovoltaica. É desejável que o profissional tenha inglês fluente e que tenha conhecimento em linguagem de programação *open-source* e modelagem computacional.

Cientista da Computação: O profissional deve ter nível superior em Engenharia da Computação, Ciências da Computação ou Tecnologia da Informação, com pós-graduação, mestrado e/ou doutorado em áreas afins aos produtos deste projeto. Necessário ter experiência de no mínimo 10 anos em desenvolvimento e aplicação de técnicas de *machine learning*, linguagens de programação *open-source*, modelagem estatística voltadas para modelos de previsão e construção de ferramentas para tratamento de dados. Adicionalmente, deve possuir conhecimentos em armazenamento e estruturação de grandes volumes de dados e de operacionalização de sistemas em ambientes de nuvem pública.

Matemático/Estatístico: O profissional deve ter formação superior em Matemática ou Estatística, com pós-graduação, mestrado e/ou doutorado em áreas afins aos produtos deste



projeto. Necessário ter experiência mínima de 10 anos em pesquisa e desenvolvimento, e/ou atuação profissional relacionadas a modelos de previsão, modelos matemáticos e/ou estatísticos, e preenchimento e tratamento de dados, além de linguagens de programação *open-source*. Desejável ter conhecimento em otimização, *machine learning*, no SEB e fluência em inglês.

Gerente de Projeto: Profissional de nível superior completo, com pós graduação ou MBA em Gerenciamento de Projetos, experiência mínima de 10 anos em gerência de projetos alinhadas às boas práticas do PMBOK® 6 ou 7. Necessário ter fluência em inglês e português do Brasil, habilidade de liderança de equipes multidisciplinares, mediação de interesses e comunicação, conhecimento em ferramentas de gestão de projetos e metodologia ágil. Adicionalmente, conhecimentos relacionados aos temas desse subprojeto e/ou ao SEB, são desejáveis.

Coordenador Técnico: Profissional de formação superior em Engenharia, Meteorologia, Ciência da Computação, Matemática ou Física com mestrado e doutorado em áreas afins deste projeto. Necessário ter experiência mínima de 10 anos em pesquisa e desenvolvimento, e/ou atuação profissional relacionadas aos produtos deste projeto, além de atuação como coordenador de equipes multidisciplinares e acompanhamento de projetos. O profissional deve ter fluência em inglês e português do Brasil, e deve comprovar conhecimento e experiência no SEB.

8.2 Equipe de apoio

A equipe de apoio refere-se a uma equipe de profissionais fornecida pela consultora para executar parte dos serviços em conjunto com a equipe chave, conforme esse TdR. O dimensionamento da equipe de apoio deverá ser realizado pela consultora. Portanto, o dimensionamento da equipe de apoio deverá ser descrito na proposta técnica.

A equipe de apoio deverá ser multidisciplinar e composta por profissionais com formação completa em Meteorologia e/ou Física, Engenharia Elétrica ou Civil ou Ambiental, Ciência da Computação ou Engenharia da Computação ou Tecnologia da Informação, e em Matemática e/ou Estatística.

Por se tratar de uma equipe que irá trabalhar com os desenvolvimentos desse subprojeto, entende-se que a equipe de apoio deva possuir os conhecimentos compatíveis com os solicitados para a equipe chave. É de suma importância que a equipe de apoio, além de ser uma extensão profissional da equipe chave, detenha todos os conhecimentos complementares



à equipe chave necessários para os desenvolvimentos dos produtos deste subprojeto. A equipe de apoio deve atender alguns requisitos fundamentais, dentre eles experiência em: análise e tratamento de dados meteorológicos, solarimétricos e de geração solar fotovoltaica; modelagem numérica da atmosférica; técnicas de correções de previsões numéricas do tempo; modelos matemáticos e/ou estatísticos para previsão; inteligência computacional; e *machine learning*.

8.3 Características da equipe

É necessário que a equipe técnica seja formada por profissionais com conhecimento e experiência nos seguintes assuntos: Sistema Elétrico Brasileiro; inteligência computacional; inteligência artificial; métodos estatísticos multivariados; energia solar fotovoltaica; métodos e metodologias de preenchimento e tratamento de dados; modelos matemáticos de previsão; *machine learning*; modelos numéricos de previsão do tempo; armazenamento e estruturação de dados; e programação avançada em linguagens, tais como R, PHYTON, JULIA, entre outras linguagens voltadas para análise de dados e modelos de previsão.

É necessário que a formação geral seja respeitada e adequada para o exercício de cada cargo mencionado para a equipe chave e de apoio.

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 a equipe da consultora também seja composta por profissionais nos níveis júnior, pleno, sênior e especialista. Além disso, Caso a contratada identifique a necessidade de ter na equipe um profissional com perfil diferente dos descritos anteriormente, 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.

8.4 Perfil Requerido da Consultora

Para a realização desse subprojeto, a contratada deverá apresentar experiência mínima de 5 anos nos seguintes requisitos:



- (i) Experiência com estudos, desenvolvimento e aplicação de modelos de numéricos de previsão do tempo, análise de dados meteorológicos, e metodologias para previsão de variáveis meteorológicas;
- (ii) Experiência em soluções tecnológicas e serviços de consultoria técnica no setor de energia elétrica e fontes intermitentes, especialmente em geração solar fotovoltaica, com competência nacional e/ou internacional;
- (iii) Experiência em análise, tratamento e preenchimento de dados meteorológicos, solarimétricos e de geração solar fotovoltaica, além de experiência em armazenamento e estruturação de grandes volumes de dados;
- (iv) Experiências em estudos e desenvolvimentos de metodologias para previsão de geração de fontes intermitentes (especialmente solar fotovoltaica), incluindo conhecimentos comprovados de aplicações com técnicas de inteligência artificial e *machine learning*;
- (v) Experiência em gestão de projetos em temas relacionados a esse subprojeto.

Para comprovação dos requisitos anteriores mencionados, é necessário que a consultora apresente em sua proposta técnica somente os serviços mais recentes (últimos 10 anos) que tenham alguma associação aos requisitos e serviços solicitados nesse TdR. Vale salientar que os serviços apresentados devem ser apenas da consultora como empresa, e não dos especialistas que a compõem, seja trabalhando de forma privada ou por outras empresas.

9 FORMA DE APRESENTAÇÃO DOS PRODUTOS

Os produtos e resultados deverão ser entregues em idioma português, em via digital, de acordo com o formato a seguir:

- (i) Textos: MS Word® versão 2013 ou posterior, com entrega do arquivo em formato “.doc”/ “.docx”;
- (ii) Planilhas, Gráficos e Tabelas: MS Excel® versão 2013 ou posterior;
- (iii) Figuras em geral: JPG, PNG, TIFF, 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. Um arquivo de *template* será fornecido a contratada em formato “.doc”/ “.docx”;
- (vi) Eventuais planilhas eletrônicas ou outros documentos desenvolvidos 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, contendo, inclusive, instruções de instalação e execução.

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, essa necessidade deverá ser informada e conversada previamente.

Os produtos provenientes deste projeto serão de propriedade exclusiva do ONS, e poderão, em momento oportuno, ser disponibilizados para a sociedade.

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 na seção 7 deste documento. As formas de pagamento, assim como os prazos de entrega, validação, revisão pela contratada 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 etapas descritas na seção 7, 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.

A consultora deverá prever a execução de reuniões virtuais durante toda a execução do projeto. Além disso, é esperado ao menos uma visita de uma semana *in loco* no ONS, para ajustes e treinamento do modelo final de previsão desenvolvido. No entanto, essa é a especificação mínima, ficando a cargo da contratada apontar necessidades de reuniões de trabalho presenciais no ONS, que deverão ocorrer em comum acordo. Neste caso o ONS providenciará o ambiente físico apropriado para possibilitar tais reuniões agendadas entre as partes em seus escritórios do Rio de Janeiro.

13 NECESSIDADE DE TREINAMENTO

Na seção 6, são descritos o escopo do trabalho e os limites do projeto, incluindo os treinamentos previstos para cada etapa/fase, o que é reforçado na seção 7.

14 QUADRO AMBIENTAL E SOCIAL DO BANCO MUNDIAL

Todas as atividades apoiadas pelo projeto, incluindo estudos para proposição de políticas e regulamentos, deverão ser analisadas 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).

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 2.

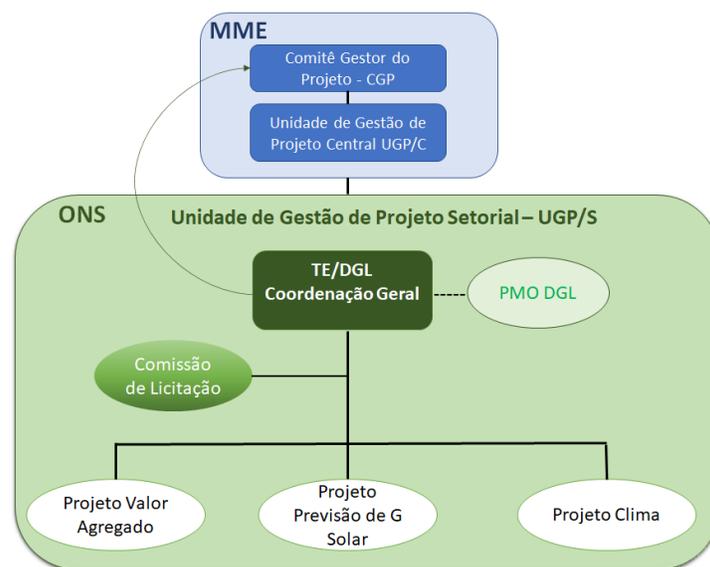


Figura 2 Estrutura funcional da Unidade de Gestão de Projeto Setorial do ONS – UGP/S



Tabela 7 Formação da UGP/S do ONS

UGP/S	Gerências
Coordenação Geral	Gerência Executiva de Transformação Estratégica
Escritório de Projetos DGL	Gerência Executiva de Transformação Estratégica
Comissão de Licitação	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
Projeto Solar 1(*)	Gerência de Metodologias e Modelos Energéticos

(*) Projeto Solar 1 é o nome curto do Subprojeto 24 no ONS

16 LISTA DE DESPESAS REEMBOLSÁVEIS

Despesas reembolsáveis correspondentes a despesas de viagens e diárias poderão ser aplicadas aos produtos que justifiquem a presença no ONS, como implementação dos modelos no ambiente do ONS caso não seja possível remotamente, treinamentos da equipe técnica do ONS etc.

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.*



BANCO MUNDIAL
BIRD • AID | GRUPO BANCO MUNDIAL

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: