



CEI SOLAR

FONTE

FINATEC
FUNDAÇÃO DE EMPREENDIMENTOS
CIENTÍFICOS E TECNOLÓGICOS



**Projeto P&D 0394-
1311/2011 Chamada 013**

P&D ANEEL

RELATÓRIO FINAL



Sumário

1 OBJETIVO DO DOCUMENTO	4
2 CONTRIBUIÇÃO AO ESTADO DA ARTE	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
3 INFORMAÇÕES BÁSICAS DO PROJETO	5
4 EMPRESAS E INSTITUIÇÕES PARTICIPANTES	5
5 INTRODUÇÃO E HISTÓRICO DO PROJETO	7
6 DETALHAMENTO DO PROJETO	12
6.1 ORIGINALIDADE	12
6.2 APLICABILIDADE	15
6.3 RELEVÂNCIA.....	17
6.3.1 Capacitação Profissional	17
6.3.2 Capacitação Tecnológica	19
6.3.3 Apoio à Infra-Estrutura	20
6.3.4 Propriedade Intelectual.....	21
6.3.5 Impactos Socioambientais.....	22
6.3.6 Contribuições e Impactos Tecnológicos	23
6.4 RAZOABILIDADE DOS CUSTOS	23
7 DETALHAMENTO DO DESENVOLVIMENTO	27
7.1 ETAPAS	27
7.2 PRODUTO	31
7.2.1 ENTREGA #01 – Desenvolvimento de metodologia de projeto básico e executivo da usina	31
7.2.2 ENTREGA #02 – Inventário dos locais mais adequados à instalação de usinas solares fotovoltaicas no Estado de Minas Gerais.....	35
7.2.3 ENTREGA #03 – Metodologia de projeto técnico de usina solar fotovoltaica passando pela seleção do local utilizando diferentes bases de dados e medidas preliminares no local	37
7.2.4 ENTREGA #04 – Capacitação profissional.....	38
7.2.5 ENTREGA #05 – Estabelecer parcerias com instituições de ensino, P&D de projetos de usina solar fotovoltaica e com entidades internacionais, visando transferência de tecnologia	53
7.2.6 ENTREGA #06 – Instalação de uma estação solarimétrica de alta precisão e com sistema de aquisição de dados no local da usina.....	57
7.2.7 ENTREGA #07 – Desenvolvimento de uma caixa de junção inteligente.....	58
7.2.8 ENTREGA #08 – Desenvolvimento da cadeia de produção das estruturas metálicas mais adequadas às condições brasileiras (estacionárias ou móveis)	61
7.2.9 ENTREGA #09 – Identificação de possibilidades de otimização dos recursos energéticos junto às concessionárias de energia proponente e cooperadas deste projeto.....	62
7.2.10 ENTREGA #10 – Proposta e justificativa de aperfeiçoamentos regulatórios e/ou desoneramentos tributários que favoreçam a viabilidade econômica da geração solar fotovoltaica, assim como o aumento da segurança e confiabilidade do suprimento de energia.....	63

7.2.11	ENTREGA #11 – Desenvolvimento métodos otimizados de aterramento dos sistemas fotovoltaicos, considerando a complexidade deste item no Brasil quando comparado a sistemas instalados na Europa.....	65
7.2.12	ENTREGA #12 – Proposta de atualizações e mudanças na legislação pertinente em conjunto com as concessionárias participantes deste projeto, bem como as possibilidades e implicações socioeconômicas e ambientais de mudança no marco regulatório.....	67
7.2.13	ENTREGA #13 – Conjunto de alternativas de receita, com venda ou comercialização de energia, ou de redução de despesas e realizar relatório com prospecção dos mercados de consumo de energia elétrica produzida por esta fonte até o ano de 2020	70
7.2.14	ENTREGA #14 – Avaliação dos impactos sócio-ambientais da instalação destas plantas. Em conjunto com o órgão ambiental responsável, determinar a classe de enquadramento do empreendimento, construindo referência e modelos para futuros licenciamentos	73
7.2.15	ENTREGA #15 – Plano de Operação e Manutenção	75
7.2.16	ENTREGA #16 – Produção Técnica Científica	75
8	CONCLUSÃO	100
9	INFORMAÇÕES FINAIS	102
9.1	RESULTADOS	105
10	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	114
11	ANEXOS	114

1 OBJETIVO DO PROJETO

O Projeto Jaíba Solar foi produzido à luz da Chamada Estratégica da ANEEL nº PE-0394-1311/2011– “Arranjos Técnicos e Comerciais para Inserção da Geração Solar Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira”, com a participação de 15 empresas do setor elétrico, 2 universidades e 1 centro de pesquisa, com o objetivo de incentivar e facilitar a inserção da energia solar na matriz fotovoltaica brasileira. Este Projeto contribui de maneira significativa com este objetivo na medida em que ampliou e fomentou o desenvolvimento de conhecimento em engenharia, análise econômica e análise ambiental de projetos fotovoltaicos; capacitou grande número de profissionais para desenvolvimento de projetos, especificação e aquisição de equipamentos, análise de viabilidade técnica e econômica de usinas fotovoltaicas; desenvolveu software que facilita a análise vocacional das regiões brasileiras para instalação desse tipo de usina, promoveu intercâmbio com instituições internacionais de notório conhecimento nesta área; e, ainda, desenvolveu protótipo de um novo equipamento ainda não produzido no Brasil, uma caixa de junção inteligente, utilizando técnicas inovadoras a nível mundial.

Este Relatório tem como objetivo relatar o desenvolvimento e resultados referentes a este Projeto de P&D.

2 INFORMAÇÕES BÁSICAS DO PROJETO

TÍTULO DO PROJETO:

Arranjos Técnicos e Comerciais para Inserção da Geração Solar Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira

CATEGORIA DA PESQUISA NA CADEIA DE INOVAÇÃO:

Pesquisa Aplicada

CÓDIGO ANEEL DO PROJETO: PE-0394-1311/2011

DATAS INFORMADAS NO XML ANEEL:

DATA INÍCIO EXECUÇÃO:

19/07/2012

DATA FIM EXECUÇÃO:

18/07/2017

3 EMPRESAS E INSTITUIÇÕES PARTICIPANTES

PROPONENTE:

Furnas Centrais Elétricas S. A. – FURNAS

COOPERADAS:

Cemig Geração e Transmissão S.A. – CEMIG GT

Cemig Distribuição S.A. – CEMIG D

Light Energia S.A. – LIGHT Energia

Light Serviços de Eletricidade S.A. - LIGHT SESA

Transmissora Aliança de Energia Elétrica S.A. – TAESA

Copel Geração e Transmissão S.A. – COPEL GET

Energética Barra Grande S.A. – BAESA

Campos Novos Energia S.A. – ENERCAN

Companhia Energética Rio das Antas - CERAN

Foz do Chapecó Energia S. A. - Foz do Chapecó

Companhia Transleste de Transmissão - Transleste

Companhia Transudeste de Transmissão - Transudeste

Companhia Transirapé de Transmissão – Transirapé

PARCEIRA:

Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL

PARCEIRA EXECUTORA:

CEI Solar Empreendimentos Energéticos S/A – CEI

EXECUTORAS:

Fundação de Empreendimentos Científicos e Tecnológicos – FINATEC

Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia – FDTE

4 INTRODUÇÃO E HISTÓRICO DO PROJETO

Em agosto de 2011, a Aneel tornou pública a Chamada nº 013/2011 do Projeto Estratégico “Arranjos Técnicos Comerciais para Inserção da Geração Solar Fotovoltaica na matriz Energética Brasileira”

Em 24 de outubro de 2011 foi enviada para a Aneel a proposta elaborada por este grupo e, subsequentemente, foi feita, em 28 de novembro de 2011 a defesa presencial do projeto, no auditório da Aneel em Brasília (DF). Em 22 de dezembro de 2011 foi comunicada a aceitação da proposta, o que possibilitou então às empresas envolvidas promover as ações legais e organizacionais para a execução do projeto.

Objetivando a melhor compreensão sobre a cronologia do projeto, confirmamos que o Projeto Jaíba Solar foi estruturado no fim do ano de 2011, uma época na qual o conhecimento da tecnologia e o conhecimento comercial e financeiro a respeito de usinas fotovoltaicas apresentavam-se em fase embrionária no país e havia a necessidade de se ter incentivos, aquisição de know-how, pesquisas aplicadas localmente, capacitação de profissionais, aperfeiçoamento em relação à regulação e legislação, e desenvolvimento do mercado nacional.

Com base nesse contexto e contemplando os objetivos da chamada estratégica, o Projeto, aprovado pela por esta agência em 22 de dezembro de 2011, foi estruturado tendo como escopo (i) o desenvolvimento do conhecimento a respeito da análise de viabilidade de usinas fotovoltaicas, passando pelo inventário dos locais mais indicados, principais critérios na seleção do terreno, metodologia de avaliação de viabilidade; (ii) o desenvolvimento de projetos básico e executivo, incluindo o detalhamento de metodologia sobre condução desse tipo de projeto; (iii) desenvolvimento de metodologia para estruturação, implantação, operação e monitoramento de plantas fotovoltaicas em condições locais; (iv) desenvolvimento de uma caixa de junção inteligente, um produto inovador no mercado brasileiro; (v) capacitação profissional e tecnológica das empresas e entidades envolvidas; (vi) discussão sobre propostas de melhorias referentes a regulação para licenciamento, conexão, viabilização e comercialização da tecnologia; (vii) instalação de estação solarimétrica; (viii) desenvolvimento de software de estimativa de produção anual de energia em todo Brasil; (ix) estudos dos impactos de usinas fotovoltaicas no

sistema interligado nacional; (x) estudos sobre os impactos sócio-ambientais da instalação destas plantas; e (xi) a construção e operação de uma planta fotovoltaica no norte de Minas Gerais com diferentes subsistemas e tecnologias.

Cumprido, inicialmente, destacar, que a chamada nº 013/2011 para desenvolvimento do projeto estratégico denominado “Arranjos Técnicos e Comerciais para Inserção de Projetos de Geração Solar Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira” publicada por esta Agência, teve, conforme respectivo documento da Chamada, por objetivo fundamental as seguintes perspectivas:

- Facilitar a inserção da geração solar fotovoltaica na matriz energética brasileira;
- Viabilizar economicamente a produção, instalação e monitoramento da geração solar fotovoltaica para injeção de energia elétrica nos sistemas de distribuição e/ou transmissão;
- Incentivar o desenvolvimento no país de toda a cadeia produtiva da indústria solar fotovoltaica com a nacionalização da tecnologia empregada;
- Fomentar o treinamento e a capacitação de técnicos especializados neste tema em universidades, escolas técnicas e empresas;
- Propiciar a capacitação laboratorial em universidades, escolas técnicas e empresas nacionais;
- Identificar possibilidades de otimização dos recursos energéticos, considerando o planejamento integrado dos recursos e a identificação de complementaridade horossazonal e energética entre a fonte solar fotovoltaica e as fontes disponíveis;
- Estimular a redução de custos da geração solar fotovoltaica com vistas a promover a sua competição com as demais fontes de energia; e
- Propor e justificar aperfeiçoamentos regulatórios e/ou desoneramentos tributários que favoreçam a viabilidade econômica da geração solar fotovoltaica, assim como o aumento da segurança e da confiabilidade do suprimento de energia.

E por objetivo principal, conforme exposto no referido documento da Chamada, “a proposição de arranjos técnicos e comerciais para projeto de geração de energia elétrica através de tecnologia solar fotovoltaica, de forma integrada e sustentável, buscando criar condições para o desenvolvimento de base tecnológica e infraestrutura tecnológica para inserção da geração solar fotovoltaica na matriz energética nacional.”

Esclareceremos ao longo deste relatório final, com as devidas evidências, o atendimento tanto aos objetivos fundamentais quanto ao objetivo principal, visto que a referida proposição está demonstradamente consolidada nos trabalhos realizados no âmbito deste projeto, bem como o alto volume de desenvolvimento acadêmico/científico.

O referido Projeto teve o início formal, documentado no arquivo XML enviado a ANEEL, em julho de 2012, quando se iniciaram as discussões para definição dos arranjos contratuais e posterior coleta de assinaturas dos mesmos. Cabe ressaltar que se enfrentou nesse momento o primeiro grande desafio do projeto: alinhamento contratual entre mais de 15 empresas do setor elétrico. A Chamada 013 trazia como premissa a participação de várias empresas num esforço conjunto e coordenado para obtenção dos resultados esperados. Entretanto, na prática, conseguir o alinhamento entre os departamentos jurídicos de grandes empresas, muitas delas estatais, levou muito tempo e esforço, atrasando o início efetivo da execução técnica do projeto.

O arranjo jurídico definido foi de assinatura de um Termo de Compromisso (TC), no qual se estabelecia, em detalhes, quais pagamentos seriam realizados por cada empresa. Durante a execução do projeto, foram implementados aprimoramentos nos processos administrativos, de forma a mitigar o impacto da variação nos preços dos equipamentos e serviços necessários à execução do projeto, tanto por variação cambial quanto por distância temporal entre o orçamento e realização, resultando em aditivos contratuais e redistribuição de responsabilidades entre as empresas participantes.

Adicionalmente, também destacamos a realização de novos aprimoramentos administrativos, objetivando acatar as demandas operacionais necessárias ao atendimento da referida Chamada 013, a qual dizia respeito à propriedade de usina solar ao final de um Projeto cooperado, integrado por empresas constituídas com as mais diversas

características societárias e estatutárias, sendo estas, públicas ou privadas; concessionárias ou não do setor elétrico; Instituições de ensino e fundações.

Pela primeira vez, um projeto de P&D teria como resultado uma usina com operação e manutenção com tamanha heterogenia e dimensão, possuindo como uma das soluções adotadas a criação de uma pessoa jurídica por meio de uma Sociedade de Propósito Específico (SPE) que seria a proprietária da usina. Essa definição, necessária pela complexidade institucional e legal na qual o projeto estava inserido, imputou a todas as empresas a necessidade de grande determinação para o atendimento dos seus requisitos de governança internos.

Definida a participação na referida SPE, o contrato entre as partes se deu em 07 de junho de 2013. Destacamos que, em prol do bom andamento do projeto, ainda que sem a formalização do instrumento jurídico contratual entre todos os entes, foram iniciadas pesquisas referentes aos estudos de i) viabilidade, ii) definição técnica da localização da usina, baseada em estudo solarimétrico, iii) abordagem fundiária e iv) prospecção das tecnologias fotovoltaicas existentes de forma a se v) definir a melhor configuração para o Projeto, além dos vi) estudos de viabilidade econômica do mesmo. Uma vez assinado o Termo de Compromisso (“TC”), foram intensificadas as ações para realização das atividades do Projeto. Sendo possível, a partir desta etapa de governança que incluía várias empresas, a definição precisa do cronograma do Projeto, no qual ficou evidente a necessidade da prorrogação do tempo inicialmente planejado.

Outro fato relevante foi o entendimento jurídico sobre as compras dos bens inventariáveis do projeto. Para fins de regularidade do uso dos recursos, definiu-se no âmbito jurídico da empresa proponente que as aquisições deveriam ser regidas pela Lei 8.666/1993, que institui normas para licitações e contratos da Administração Pública, entendimento este que trouxe grande transparência e plena legalidade ao projeto mas em contrapartida impactou razoavelmente o cronograma, retroagindo as resoluções sobre o Projeto Executivo e as negociações com os fornecedores. Destaca-se que o protocolo dos estudos ambientais para obtenção da licença ambiental e demais ações foram executadas sem impacto.

Diante das alterações necessárias, o projeto teve seu prazo e custo recalculados, conforme consta em ofício, enviado à esta Agência, em abril de 2015, alterando o prazo de conclusão do Projeto para 60 (sessenta) meses, de modo que sua conclusão passaria a corresponder ao mês de julho de 2017, além de formalizar a saída das empresas CPFL, EPASA e RGE que faziam parte do grupo original do projeto.

Cabe ratificar que durante esse período as atividades referentes às pesquisas técnicas e demais estudos necessários para a instalação da planta foram desenvolvidas conforme cronograma, dentre as quais se destacam: desenvolvimento e aprovação dos projetos de conexão com a Distribuidora, desenvolvimento da caixa de junção inteligente, instalação da estação solarimétrica, discussões e elaboração do projeto executivo da malha de aterramento, estudo de inventário para instalação de plantas fotovoltaicas em Minas Gerais, dentre outros, de forma a se atender o escopo previsto no Projeto.

Concluída a complementação orçamentária para continuidade das aquisições dos bens inventariáveis, necessária em função do aumento dos preços dos equipamentos, especialmente em função do aumento do câmbio ocorrido em outubro de 2014, alguns processos licitatórios foram concluídos, sendo eles os de Estrutura Metálica, Quadros e Caixas Elétricos e Cabos. Entretanto, os processos licitatórios dos dois principais equipamentos da usina, Painéis Fotovoltaicos e Eletrocentros, tiveram que responder a interposição de recursos realizados por fornecedores, atendendo as exigências e prazos legais inerentes aos processos de licitação da Lei 8.666, ampliando os prazos do cronograma em função de determinação alheia a vontade dos agentes e a gestão do projeto. Interposição esta que foi invariavelmente atendida para pleno cumprimento da Lei.

Objetivando, de maneira proativa, mitigar os impactos no cronograma do projeto, foi realizada uma reunião na ANEEL em 20 de abril de 2016, na qual foram apresentadas e discutidas as alternativas de forma a se garantir a entrega do Projeto, decidindo-se então priorizar o atendimento dos objetivos fundamentais do projeto, desenvolvendo produtos de pesquisa dentro do prazo do Projeto, que estão sendo entregues em sua totalidade, à exceção das pesquisas que seriam realizadas após a usina construída, e ainda adicionados produtos não previstos originalmente.

Cabe ressaltar que dos materiais adquiridos para construção da usina, foi possível a rescisão dos contratos para a Estrutura Metálica e Quadros e Caixas Elétricos. Evidências de preocupação e atuação de economicidade.

Remetendo ao principal objetivo almejado pela Chamada 013, que é “a proposição de arranjos técnicos e comerciais para projeto de geração de energia elétrica através de tecnologia solar fotovoltaica, de forma integrada e sustentável, buscando criar condições para o desenvolvimento de base tecnológica e infraestrutura técnica e tecnológica para inserção da geração solar fotovoltaica na matriz energética nacional”, conclui-se que o Projeto Jaíba Solar atende em sua plenitude a tal objetivo. As pesquisas desenvolvidas ao longo dos 60 meses, a forte interação com a cadeia produtiva incentivando a criação de produtos nacionais especificados no âmbito do projeto, o desenvolvimento de serviços adequados para este tipo de empreendimento no país, a grande quantidade de capacitação profissional promovida com membros das empresas e universidades envolvidas, as discussões feitas com órgão ambiental, Distribuidora e governos estadual e municipal no sentido de apresentar, divulgar e viabilizar a geração através de usinas fotovoltaicas propiciaram e contribuíram para a criação de condições que permitam o desenvolvimento dessa fonte no país. Esses resultados e contribuições serão apresentados ao longo deste relatório.

5 DETALHAMENTO DO PROJETO

5.1 ORIGINALIDADE

O Projeto Jaíba Solar contribui de forma concreta com o desenvolvimento do conhecimento a respeito dos aspectos técnicos e comerciais de usinas fotovoltaicas no Brasil, além de ter desenvolvido um produto inovador na cadeia de fornecimento nacional, uma Caixa de Junção Inteligente.

A função de uma caixa de junção convencional (caixa de combinação / junção ou “*string box*”) no sistema de energia solar é conectar subarranjos fotovoltaicos, séries fotovoltaicas ou módulos fotovoltaicos em paralelo, alojando, ainda, dispositivos de proteção e/ou seccionamento.

Este Projeto desenvolveu uma caixa de combinação inteligente capaz de não somente realizar o paralelismo das “strings” e sua proteção como também realizar o diagnóstico de falhas de forma contínua nestas “strings” levando em consideração qualquer tipo de tecnologia de módulo fotovoltaico ou inversor podendo assim serem utilizadas em qualquer planta solar e também futuras expansões em usinas já existentes. Cabe salientar que este tipo de equipamento não é fabricado no mercado nacional.

Para tal, foi desenvolvido um protocolo de comunicação padrão, um software específico (em língua portuguesa) em conformidade com os padrões brasileiros e uma série de funcionalidades e inovações contidas no equipamento, dentre elas:

- Monitoramento contínuo das condições dos conjuntos de módulos FVs que formam cada “string” utilizando técnica de diagnóstico de falhas inovadora (Análise Espectral), com a opção de eliminar ou reutilizar sensores de corrente contidos na usina solar e reutilizando o diodo de bloqueio ou mesmo eliminando-os completamente;
- Comunicação remota e em tempo real com um servidor da operadora da planta, com protocolo a ser definido pela mesma e com GUI (“Graphical User Interface”), em português, e desenvolvido nos mesmos padrões das outras interfaces já existentes.

Os próximos passos para a plena utilização caixa de junção nacional serão o devido registro da patente e prosseguir no caminho de produzir o cabeça de série, lote pioneiro e comercialização do produto.

Diante do sucesso dos testes realizados até o momento, acredita-se que este dispositivo possa ser efetivamente inserido no mercado brasileiro.

Além disso, pela primeira vez se desenvolveu metodologias nacionais consistentes para elaboração dos projetos básicos e executivos a partir de metodologias inovadoras no Brasil, contemplando, ainda, as alternativas concebidas para a planta Jaíba Solar, onde se previa tecnologias de concentração e de silício policristalino com diferentes subsistemas, incluindo rastreadores de 1 e 2 eixos, estruturas móveis e estruturas fixas e diferentes configurações dos inversores “string” e central.

Foi feito ainda o desenvolvimento de um novo conceito de malha de aterramento para minimização de custos construtivos e de material. Este conceito, apesar de amplamente utilizado na Europa, é ainda discutido no Brasil. Apesar dos diversos cálculos efetuados e apresentados, recomenda-se a continuidade de pesquisas em relação a este tema dada a pequena experiência brasileira em usinas fotovoltaicas de grande escala.

O Projeto desenvolveu também um aplicativo computacional de forma a definir os melhores critérios para a tomada de decisão de implantação de plantas FV's, com base na estimativa da geração de energia elétrica que auxilia nos estudos de pré-viabilidade de usinas fotovoltaicas no país. Este aplicativo foi utilizado para a identificação dos locais mais adequados à instalação de usinas solares fotovoltaicas em MG e está disponível para futuros projetos. O aplicativo está em fase de registro junto ao INPI. Além disso, foi elaborado ainda um estudo de inventário dos locais mais adequados à instalação de usinas solares fotovoltaicas no Estado de Minas Gerais.

O Projeto, ainda, desenvolveu um protótipo de sistema de concentração solar fotovoltaico-térmica (CPV- T), pela Universidade de Brasília em parceria com a Universidade *Arts et Métiers – Paris Tech*. A concepção e desenho do protótipo foi concebido na sua totalidade na Universidade de Brasília utilizando materiais de fácil acessibilidade e baixo custo. O sistema de rastreamento solar apresenta um diferencial com respeito a outros trabalhos que consideram o sistema de espelhos fixos.

Neste tipo de sistema a cogeração é baseada na produção de energia elétrica, a partir das células fotovoltaicas, e na produção de energia térmica pelo fluido térmico integrado no receptor solar. Usualmente, o calor produzido pode ser empregado em calefação, aquecimento de água e ar condicionado, dessalinização ou aquecimento do processo.

Alguns poucos sistemas CPV-T usando alta concentração em grande escala foram implantados para demonstração no mundo, sendo portanto, a concentração solar fotovoltaica-térmica uma tecnologia em desenvolvimento, e estado da arte para pesquisa científica.

5.2 APLICABILIDADE

Os conhecimentos adquiridos, consolidados e disponibilizados ao longo deste projeto apresentam uma extensa gama de possibilidades de aplicações na área da geração solar fotovoltaica, contribuindo assim para os esforços significativos que vem sendo realizados no sentido de diversificar as fontes de energia e, especialmente, aumentar a parcela de capacidade de energia solar no Brasil.

Destaca-se como uma importante contribuição o compartilhamento da experiência do projeto Jaíba Solar com empresas do setor elétrico, especialmente geradores de energia, através dos estudos desenvolvidos para a execução do Projeto Básico da planta, da metodologia apresentada para estudos de pré-viabilidade para instalação de plantas fotovoltaicas, dos cenários de viabilidade econômica para diferentes subsistemas, incluindo estudo comparativo para aquisição de equipamentos locais ou importados.

Em relação ao desenvolvimento de plantas fotovoltaicas no Brasil, é apresentada uma metodologia desenvolvida para definição da especificação, aquisição, instalação e manutenção para dos principais equipamentos da planta fotovoltaica, dentre eles rastreadores de 1 e 2 eixos, estruturas fixas, inversores e malhas de aterramento.

Para suportar estudos de viabilidade e desenvolvimento de Projetos, é apresentado um software específico para estimativa de geração de energia, similar a outros disponíveis no mercado, porém de fácil manuseio e acesso para decisões de investimento.

Com intuito de desenvolver a indústria local e permitir maior confiabilidade dos dados em plantas fotovoltaicas, é desenvolvido um protótipo de uma caixa de junção inteligente.

Considerando a qualidade e quantidade de novos conhecimentos técnicos e acadêmicos gerados no âmbito deste projeto, é correto destacar a relevante contribuição deste projeto à disponibilidade de conhecimento necessário a produção de políticas e mecanismos de regulamentação específicos, especialmente de incentivos criados de forma a estimular o setor de energia fotovoltaica e promover, efetivamente, o uso dessa energia.

Atualmente vem sendo adotada, no Brasil, quatro estratégias simultâneas para incentivar o uso de energia fotovoltaica: incentivos fiscais, linhas de financiamento, estímulo a geração centralizada via leilões de energia e estímulo à geração distribuída via compensação de energia.

A análise comparativa dos marcos regulatórios e políticas de incentivo fiscal e financeiro em âmbito nacional e internacional, realizada neste projeto, poderá ser aplicada para aprimoramento dos mecanismos indicados para estimular a energia solar fotovoltaica.

Em relação a aplicabilidade, pode-se ainda citar as melhorias propostas referentes a regulamentações para o setor fotovoltaico no âmbito ambiental e de conexão ao sistema elétrico, de forma a incentivar a viabilização de projetos fotovoltaicos pelos investidores, e proporcionar melhorias referentes aos processos junto às instituições reguladoras e aplicação de ferramentas para o desenvolvimento de processo de licenciamento ambiental e de projetos ambientais fotovoltaicos.

Os conhecimentos gerados neste projeto poderão ser igualmente aplicados na modalidade de geração distribuída. A geração de energia renovável variável é particularmente adequada para sistemas distribuídos, nos quais as usinas são conectadas à rede de distribuição e produzem eletricidade próximo aos locais de demanda. Isso pode reduzir a necessidade de geração de energia centralizada e de linhas de transmissão de alta tensão, bem como os custos de transmissão e distribuição.

Por fim, destaca-se como aplicabilidade as sugestões de melhorias no Manual de P&D ou melhor orientação em Chamadas Públicas para projetos de P&D em relação a parte administrativa do Projeto, quais sejam: a não utilização das regras de aquisição estabelecidas pela Lei 8.666 para projetos de P&D, a orientação clara de como tratar ativos de geração resultantes de projetos de P&D e recomendações às empresas do setor elétrico de como desburocratizar os contratos de projetos de P&D para que os mesmos possam tramitar internamente de forma mais célere.

A abrangência deste estudo é o setor de energia elétrica brasileiro, as informações apresentadas podem fornecer subsídios importantes para o estabelecimento de políticas públicas com vistas a aplicação de energia fotovoltaica de forma econômica e sustentável.

Assim, pode-se citar: empresas do setor elétrico, principalmente geradoras e distribuidoras de energia elétrica, órgãos reguladores e entidades públicas que atuam na área de licenciamento ambiental, Universidades e Centros de Pesquisas, fornecedores de serviços e equipamentos.

5.3 RELEVÂNCIA

5.3.1 Capacitação Profissional

Os avanços tecnológicos, principalmente relacionados a assuntos como fontes de energia renováveis (alternativas), geração distribuída, micro redes, armazenamento de energia, gerenciamento da energia, vêm provocando mudanças na visão da operação e na gestão dos sistemas elétricos, compreendendo os segmentos de geração, transmissão e distribuição. Para atender essas mudanças foram capacitados ao longo do projeto profissionais capazes de atender esta demanda.

Além dos aspectos tecnológicos, outro resultado relevante foi a identificação do perfil de conhecimento necessário aos profissionais engajados nesta área. Ficou explícito como é fundamental a capacitação em gerenciamento de dados, protocolos de comunicação, otimização dos ativos, e técnicas afins, desta forma, é requerido ampliação dos esforços na formação dos graduados e pós-graduados e nas pesquisas envolvendo segurança cibernética, estabilidade dinâmica, novas formas de proteção elétrica, técnicas de inteligência computacional e ferramentas de tomadas de decisão.

Alguns exemplos para atender a demanda por novos esquemas educacionais referem-se à disponibilização de infraestrutura para oferta de cursos como o desenvolvimento de bancos de dados de informação baseados na web, experimentos laboratoriais interativos e a distância e cooperação internacional para troca de experiências.

Como os cursos convencionais são direcionados atualmente para o desenvolvimento dos engenheiros em trabalhos relativos à operação de sistemas elétricos de potência, envolvendo planejamento, supervisão e execução de projetos, para Energia Solar são necessários outros temas que devem ser enfatizados ou inseridos juntos às disciplinas tradicionais, quais sejam:

- Fontes alternativas (renováveis);
- Aplicação das tecnologias de informação e comunicação (TIC's);
- Novos sensores de proteção de sistemas elétricos;
- Avaliação de riscos e confiabilidade;
- Transmissão em corrente contínua e sistemas de transmissão CA flexíveis (FACTS);
- Utilização e gerenciamento da energia pelo lado da demanda;
- Análise econômica, mercado de energia;
- Planejamento e eficiência energética;
- Questões políticas e ambientais.

Os departamentos de Engenharia Mecânica e Elétrica, da Faculdade de Tecnologia, da Universidade de Brasília, contribuíram à produção científica do Projeto Jaíba Solar com uma tese de doutorado, 3 dissertações de mestrado e 5 trabalhos de conclusão de curso.

Foram ainda elaboradas sugestões de ementas para cursos de engenharia voltados para a energia solar fotovoltaica, e foi ainda publicado livro para promover os conhecimentos adquiridos e gerados ao longo da realização do projeto, objetivando tanto a academia como os profissionais que atuam no mercado.

Durante o projeto foram promovidos eventos e cursos, sendo dois eventos internacionais intitulados Escola Internacional de Energia Elétrica (*Internacional School on Solar Energy*), na cidade de Brasília no auditório da Faculdade de Tecnologia nos anos de 2015 e 2016.

Foram realizados ainda quatro cursos ao longo do projeto, conforme abaixo:

- 1) Curso Formação Básica de gestores, administrativos e técnicos para acompanhamento de projeto, operação e desempenho de Sistemas Solares Fotovoltaicos – 13 a 14.02.2014 – Belo Horizonte
- 2) Curso Recurso Solar - 24 a 26.11.2015 – Goiânia;

- 3) Curso Viabilidade Técnico-Econômica de Empreendimentos de Geração de Energia Fotovoltaica - 13 a 14.10.2016 – Rio de Janeiro;
- 4) Curso Conceitos Básicos em Geração Solar Fotovoltaica - 08 a 09.06.2017 – Rio de Janeiro.

A capacitação de pessoal é reconhecida, internacionalmente, como elemento-chave para o sucesso das organizações e quando se trata de um ambiente que se queira inovar, essa importância se multiplica. Como tal, ela adquire caráter estratégico, devendo ser vista como componente fundamental na promoção de mudanças duradouras.

As ações de capacitação profissional apontadas no relatório certamente poderão ser replicadas para outras empresas e outras plantas solares, com abrangência para todo o setor de energia elétrica.

5.3.2 Capacitação Tecnológica

No âmbito do projeto Jaíba Solar foram desenvolvidos trabalhos técnicos e acadêmicos realizados por membros do projeto, colaboradores, especialistas, pesquisadores e alunos das universidades parceiras resultando, portanto, em uma grande produção técnico científica.

Os principais temas que foram abordados para a produção técnico científica foram: produção, análise regulatória e inserção na matriz energética da energia solar fotovoltaica, comparação dos diferentes sistemas fotovoltaicos, geração fotovoltaica distribuída, modelagem e simulação dinâmica de painéis fotovoltaicos, balanço de carbono de uma planta solar fotovoltaica, dados solarimétricos, modelos de estimativa para radiação solar e modelagem, simulação etc.

Foram produzidos e publicados em anais de congressos e revistas científicas 14 trabalhos técnicos. Os eventos técnicos onde os informes foram publicados são: V CBENS (1 trabalho), VI CBENS (7 trabalhos), CONEM 2016 (1 trabalho), XXII SENDI (1 trabalho), XXIII CREEM (1 trabalho) e XIX CBMET (1 trabalho). Na Revista Brasileira de Energia Solar foram publicados 3 trabalhos.

O livro: “Usina Fotovoltaica Jaíba Solar: Planejamento e Engenharia” para promover os resultados gerados ao longo da realização do projeto, objetivando tanto a academia como os profissionais que atuam no mercado.

Para desenvolver toda a produção técnico científica do projeto participaram 41 pessoas entre pesquisadores, especialistas, colaboradores e alunos universitários. Foram 7 pesquisadores e 12 alunos da Universidade de Brasília (UnB), 6 especialistas da CEI Solar, um pesquisador da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), um pesquisador da Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM), um especialista de Alsol e um especialista do CEPEL.

Além disso, a capacitação tecnológica necessária para o desenvolvimento da caixa de junção foi um importante avanço no entendimento dos algoritmos e funções para construção de softwares brasileiros.

5.3.3 Apoio à Infra-Estrutura

Para o desenvolvimento dos estudos de viabilidade, elaboração do Projeto de Engenharia, desenvolvimento do inventário de locais mais propícios à instalação de usinas fotovoltaicas em Minas Gerais, o desenvolvimento do software de análise de viabilidade, entre outros estudos, foi adquirido o software PVSyst que foi amplamente utilizado no desenvolvimento do Projeto.

Conforme Ofício nº004/20-12-SPE-ANEEL emitido em 16/08/2012 associado à chamada de Projeto P&D Estratégico Nº013/2011 foi adquirida uma estação solarimétrica do tipo “B”, conforme sugestão da ANEEL, do Campbell Scientific, com o objetivo de analisar o recurso solar disponível na localidade, e elaborar uma análise comparativa com as outras fontes de dados de irradiação solar. Essa aquisição permitiu as diversas análises do recurso solar em Jaíba - MG feitas em várias das Entregas deste Projeto.

Além disso, foram adquiridos 2 computadores DELL incluindo os softwares Mcfee e Windows 8.1., para desenvolvimento das pesquisas pela UnB.

O Projeto desenvolveu uma caixa de junção inteligente. Para sua concepção foram adquiridos osciloscópios, ponteiros de tensão e corrente, kits de desenvolvimento para sistemas embarcados (DSP e microcontroladores) e placas de aquisição de dados.

Para a execução dos Projetos de conexão à rede foram adquiridos medidores de potência.

Conforme mencionado acima, ao longo da execução do Projeto foram adquiridos cabos de média tensão, quando se esperava que fosse possível construir a planta fotovoltaica e analisar seus resultados ainda neste Projeto.

A estação solarimétrica encontra-se em plena operação na cidade de Jaíba e a caixa de junção está em operação sendo testada numa usina fotovoltaica em telhado na cidade de Uberlândia.

5.3.4 Propriedade Intelectual

Uma planta solar fotovoltaica enseja muitas inovações, objetivando a redução de custos e aumento de eficiência. O tema Inovação vem merecendo nos últimos anos atenção crescente no mundo organizacional, seja qual for o tamanho ou setor de atuação da empresa.

Neste sentido, com o objetivo de realizar diagnósticos de falhas numa usina fotovoltaica de forma a agir rapidamente, quando uma avaria é detectada, evitando perda de desempenho da usina solar fotovoltaica, foi desenvolvido uma caixa de junção inteligente no âmbito deste projeto. O processo do registro de patente se encontra em andamento.

Também foi desenvolvido um software que realiza a estimativa da geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaico conectado à rede elétrica para qualquer localidade do Brasil via website disponibilizada na área restrita do Projeto. O registro se encontra em andamento junto ao INPI, processo identificado pelo código BR 51 2017 000308 4.

5.3.5 Impactos Socioambientais

O Projeto Jaíba Solar contribui em termos de impactos socioambientais na medida em que favorece a diversificação da matriz energética através da capacitação de profissionais, do desenvolvimento de estudos inovadores para o Brasil na área solar, na discussão feita com governo de Minas e prefeitura de Jaíba, esclarecendo os impactos e benefícios ambientais sobre a construção de uma usina fotovoltaica.

O Projeto elaborou estudos de impacto ambiental da usina Jaíba Solar, demonstrando para o órgão ambiental licenciador os pequenos potenciais impactos negativos trazidos pela construção do empreendimento e os impactos positivos que traria para a comunidade, através da criação de empregos, melhoria de infraestrutura local e aumento na arrecadação de impostos. Estes estudos foram importantes não apenas para a robusta documentação do processo de licenciamento de uma usina, mas também para a demonstração para comunidade e governo dos impactos, geralmente mais positivos que negativos, de usinas dessa fonte de energia. No decorrer do Projeto foram feitas reuniões com a prefeitura municipal de Jaíba e a secretaria municipal de meio ambiente da localidade, e com associações e organizações de classe e da sociedade civil atuantes no município, como escolas, polícia militar, sindicato dos trabalhadores rurais, COPASA, câmara de diretores lojistas, associação das artesãs de Jaíba, e Serviço Voluntário de Assistência Social (SERVAS) e a distribuição de folhetos a toda a população, explicando sobre funcionamento de usinas fotovoltaicas e seus impactos na sociedade.

Além disso, foi feita análise da legislação ambiental para licenciamento de plantas fotovoltaicas no estado de Minas Gerais, com foco em identificação de gargalos e possíveis melhorias no processo e na gestão do mesmo, considerando-se os possíveis impactos ambientais advindos da instalação das plantas. Essa análise resultou, inclusive, em contribuições feitas ao órgão ambiental competente no estado de Minas Gerais afim de se propor melhorias na regulamentação para o processo de licenciamento ambiental, de forma que o mesmo possa permitir maior agilidade nos processos, sem que haja nenhum prejuízo para a comunidade e meio ambiente, promovendo assim incentivo a tecnologia fotovoltaica.

Além das questões ambientais, todos os estudos realizados e resultados obtidos no projeto favorecem a inserção da energia solar na matriz energética brasileira.

5.3.6 Contribuições e Impactos Tecnológicos

Este trabalho apresenta como contribuições tecnológicas os resultados provenientes do desenvolvimento da caixa de junção inteligente, capaz de realizar a caracterização de arranjos fotovoltaicos em tempo contínuo, realizar o diagnóstico do arranjo em busca de faltas e/ou falhas em tempo contínuo e operação remota.

A caixa de junção convencional, apenas realiza o paralelismo das “strings” fotovoltaicas sem que haja alguma avaliação (falhas / degradação) do que está ocorrendo com os módulos na usina. Não há diagnóstico de falhas contínuo para que se faça uma manutenção ágil e certa economizando recursos e, principalmente, evitando perda excessiva de energia. Anteriormente, para realizar o diagnóstico, era necessário paralisar a planta FV e assim, realizar a avaliação consequentemente perda de tempo, recursos e geração.

A caixa de junção inteligente desenvolvida no âmbito deste Projeto permite a aplicação de técnica espectral (Análise de Fourier) para detecção de falhas na realização de diagnóstico das “strings” fotovoltaicas, que se trata de uma técnica utilizada na indústria automobilística, porém, inovadora no setor fotovoltaico.

Além disso, foi estabelecido protocolo único de comunicação para qualquer tipo de módulo fotovoltaico e inversor, evitando problemas de comunicação quando o sistema é expandido (utilizando outros fabricantes de módulos fotovoltaicos e inversores por exemplo).

Por fim, tem-se o avanço na monitoração da planta, uma vez que a monitoração das falhas é feita de forma contínua sem a necessidade de interrupção da geração da planta FV.

5.4 RAZOABILIDADE DOS CUSTOS

O Projeto Jaíba Solar já proporcionou diversos benefícios econômicos para o setor elétrico, tais como geração de conhecimento, que impacta no aumento da produtividade e

possibilidade de redução de custos em investimento de projetos fotovoltaicos, e poderá ainda contribuir de maneira significativa com o setor elétrico de modo geral.

Tratando-se de projeto na fase de pesquisa básica, serão apresentados a seguir os benefícios alcançados através dos resultados obtidos pelo Projeto.

Indubitavelmente, uma das grandes contribuições desenvolvidas pelo Projeto é o desenvolvimento e capacitação dos pesquisadores sobre o tema, possibilitando a multiplicação do conhecimento gerado sobre o tema. Ao longo do Projeto as empresas participantes tiveram a oportunidade de envolver seus profissionais em todas as etapas do Projeto, podendo desenvolvê-los nas capacidades para análise de pré-viabilidade, elaboração de projetos básico e executivo de usinas fotovoltaicas, elaboração de especificações dos equipamentos e serviços necessários à instalação de usinas desse tipo e avaliação de propostas técnicas. Os profissionais das empresas foram ainda treinados nos conceitos básicos relativos à energia solar, modelos construtivos de usinas solares fotovoltaicas e principais conceitos para operação das mesmas, além de modelos financeiros de avaliação de viabilidade. A capacitação proporcionada pelo Projeto permite agora maior produtividade no desenvolvimento de projetos fotovoltaicos, e a melhoria dos processos operacionais e administrativos inerentes a este tipo de projeto. Conclui-se que as empresas participantes agora estão muito mais aptas a participarem do mercado solar.

Além disso, o Projeto proporcionou grande avanço na capacitação tecnológica das universidades envolvidas. Os alunos e pesquisadores alcançados pelas atividades do Projeto puderam ter a oportunidade de desenvolver conhecimentos novos no país, permitindo avanço da capacidade brasileira de investir em energia solar. Os artigos publicados, dissertações de mestrado e tese de doutorado elaboradas em função do Projeto contribuem de maneira significativa com a produção intelectual do país nessa área. E, ainda, um número grande de alunos puderam participar das Escolas Internacionais promovidas pela UnB, no âmbito do Projeto Jaíba Solar, adquirindo conhecimentos até então novos no país.

Além da capacitação tecnológica, o Projeto trouxe contribuições objetivas às empresas participantes, que ajudarão na redução de custos e melhoria de produtividade no

desenvolvimento de projetos e, até mesmo, em benefícios econômicos reais para as empresas em função das patentes que estão em fase de registro.

Outra contribuição que pode ser mencionada se refere a metodologia apresentada para estudo de viabilidade técnico-econômica para instalação de plantas fotovoltaicas.

O Projeto ainda apresenta um inventário das regiões de Minas Gerais com o objetivo de se identificar quais são mais propícias para este tipo de instalação. Tratam-se de informações importantes para decisão de investimento e aumento da capacidade do setor elétrico, reduzindo custos internos às empresas no trabalho de identificação e análise de pré-viabilidade de áreas para construção de usinas fotovoltaicas, seja de grande porte ou para geração distribuída.

Foi desenvolvida, também, uma metodologia para elaboração de Projeto Básico de usinas fotovoltaicas, a qual destaca as principais variáveis técnicas e conjunturais a serem consideradas para este tipo de Projeto, conforme consta com maiores detalhes no Relatório Técnico 01 - METODOLOGIA PROJETO BÁSICO E EXECUTIVO E HISTÓRICO DO PROJETO. Com base nesta metodologia busca-se otimizar as decisões referentes aos estudos necessários para os Projetos, a definição dos modelos dos equipamentos, a forma de contratação dos equipamentos e serviços e ao tipo de fornecimento (local ou importado), resultando em melhor custo de investimento, auxiliando os profissionais e as empresas nestas etapas de desenvolvimento de um projeto fotovoltaico.

Outra contribuição inovadora e que permite benefícios econômicos é a abordagem feita para o Projeto da Malha de Aterramento, a qual implica em redução de custo em relação aos materiais utilizados. O trabalho feito de maneira teórica, com base nas normas aplicáveis e nas melhores práticas internacionais, fez o dimensionamento da malha de aterramento permitindo a eliminação da necessidade de equalização da resistividade da primeira camada de solo com a utilização de brita. Além disto, considera-se a própria estrutura metálica de sustentação dos módulos como eletrodo de aterramento, o que permite redução na quantidade de cabos, maiores detalhes sobre este resultado podem ser elucidados no RELATÓRIO TÉCNICO 08 - ESTUDO DE MALHAS DE ATERRAMENTO DE PLANTA FOTOVOLTAICA PARA AS CONDIÇÕES BRASILEIRAS em anexo neste relatório.

Uma das questões levantadas ao longo do Projeto foram as regulamentações referente ao registro de outorga das usinas fotovoltaicas. Neste caso foram apresentadas contribuições à Audiência Pública nº 002/2016, referente à Resolução Normativa 676, que trata dos requisitos de medição de irradiância solar necessários à emissão de outorgas de autorização para implantação e exploração de centrais geradoras. Por meio dos resultados alcançados no Projeto, foi possível apresentar à ANEEL justificativa que comprovou a não necessidade de leitura de irradiância difusa para o Requerimento de Outorga de usinas fotovoltaicas. Após a contribuição feita pelos pesquisadores do projeto e aceita pela ANEEL através da Resolução Normativa nº 738, de 27 de setembro de 2016, o ente gerador poderá optar por leituras de irradiação global horizontal, ou por leituras de irradiância global, difusa e direta. Com isto, ficou constatado que o impacto técnico ou de qualidade na medição é irrelevante, resultando como desnecessário o investimento em mais um equipamento de medição, que exigiria ou a manutenção semanal, como é o caso do anel de sombreamento, ou um equipamento com custo muito superior, para fazer o seguimento do sol. Essa contribuição, possível apenas após análise dos dados trabalhados no Projeto, trouxe benefícios econômicos não apenas para as empresas participantes, mas para todo o setor.

Para obtenção da informação referente a disponibilidade de conexão é exigido a apresentação do Registro do Requerimento Outorga da usina fotovoltaica emitido pela ANEEL. Entretanto, este despacho só seria concedido mediante a apresentação de leitura e certificação dos dados solarimétricos. Isto implicava na aquisição de uma estação solarimétrica no local selecionado pelo investidor, sem que se saiba sobre a possibilidade de conexão à rede, que se trata de uma das informações primordiais para análise de investimento. Com base nos estudos foi eliminada a necessidade de apresentação das leituras de dados solarimétricos realizadas no local nesta fase do Projeto na qual está sendo analisada a viabilidade.

A caixa de junção inteligente desenvolvida neste Projeto traz um benefício econômico em si. A mesma proporciona a realização de diagnósticos de falhas numa usina fotovoltaica de forma a agir rapidamente, quando uma avaria é detectada, evitando perda de desempenho da operação. O projeto da caixa de junção conseguiu reduzir o número de componentes dos equipamentos tradicionais, através da maior utilização de softwares e

programações, reduzindo, assim, seu custo de fabricação. Uma vez patenteados, o equipamento poderá ser desenvolvido até a fase comercial, proporcionando benefícios às empresas participantes do Projeto e a todo o mercado, uma vez que poderá trazer redução de custo de plantas fotovoltaicas.

6 DETALHAMENTO DO DESENVOLVIMENTO

6.1 ETAPAS

ETAPAS DO PROJETO DE P&D

Número sequencial da etapa	Descrição das atividades realizadas na etapa selecionada	Meses, separados por vírgula, de execução da etapa selecionada
01	Arranjos contratuais	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,10,11,12,13,14
02	Abordagem fundiária para definição do local de implantação e negociação	15,16,17,18,19
03	Abordagem fundiária para registro de terras	19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41
04	Estado da arte - estudo das tecnologias e suas aplicações para o local definido	18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28
05	Estudos de pré-viabilidade da planta solar	14,15,16
06	Concepção circuitos e sistema aquisição de dados, comunicação remota, software e monitoramento para desenvolvimento da caixa de junção inteligente	36,37,38,39,40,41
07	Desenvolvimento e Validação da Técnica I de Diagnóstico de <i>Strings</i> / Software Comunicação para desenvolvimento da caixa de junção inteligente	42,43,44,45,46,47
08	Desenvolvimento e Validação da Técnica II de Diagnóstico de <i>Strings</i> / Montagem e Integração em Caixa em Laboratório / Usina da caixa de junção inteligente	48,49,50,51,52,53,54,55
09	Monitoração Caixa de junção inteligente em operação	56,57,58
10	Avaliação final do desenvolvimento da caixa de junção inteligente	59,6
11	Definição da tecnologia Avaliação técnica - econômica das alternativas	15,16
12	Elaboração do projeto básico da planta e especificação dos equipamentos	17,18,19
13	Elaboração Projeto Executivo	21,22,23,24
14	Cotações, recebimento de propostas, negociações de equipamentos	21,22,23
15	Definição sobre a responsabilidade pela contratação e formato	23,24,25
16	Revisão das especificações dos equipamentos para licitação pública e atualização de propostas	26,27,34,35
17	Processo de contratação dos equipamentos principais	39,40,41,42,43,44,45,46,47,48,49
18	Revisão Projeto Executivo	50,51,52,53
19	Memorial descritivo da malha de aterramento	55,56,57
20	Especificação e instalação de estação solarimétrica	16,17,41

21	Avaliação dos dados da estação solarimétrica	42,43,44,45,46,47,48,49,50,51,52,53,54,55,56,57,58
22	Estudo da vida útil dos componentes e aplicabilidade	17,18,19,20,21,22,23,24,25
23	Estudos ambientais	18,19
24	Licenciamento Ambiental	19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,46
25	Estudo para proposta de melhorias para procedimento de licenciamento ambiental	57,58,59
26	Estudos de acesso	23,24,25
27	Estudo para proposta de melhorias para procedimento de conexão à rede	51,52,53,54,55,56,57
28	Prospecção do mercado de energia solar Análise de alternativas de receitas	55,56,57,58
29	Estudo sobre evolução do mercado para fornecimento estrutura metálica no Brasil e as principais variáveis	51,52,53,54,55,56,57,58,59
30	Desenvolvimento e operação de software para estimativa de produção de energia	18,19,20,21,22,23
31	Guia prático para estudo de viabilidade de implantação de plantas fotovoltaicas	47,48,49,50,51,52,53
32	Inventários dos locais mais propícios para instalação de plantas fotovoltaicas em Minas Gerais	47,48,49,50,51,52,53
33	Desenvolvimento de metodologia para Fase de Engenharia e Desenvolvimento para projetos de plantas fotovoltaicas	53,54,55,56,57,58
34	Estudo sobre impactos de usinas fotovoltaicas no sistema interligado nacional	57,58,59
35	Gerenciamento do Projeto	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48,49,50,51,52,53,54,55,56,57,58,59,60
36	Compilação dos dados do projeto para divulgação e Relatório Final	55,56,57,58,59,60
37	Formação e manutenção da base de conhecimento	25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48,49,50,51,52,53,54
38	Transmissão do conhecimento gerado, elaboração e Publicação de livro	32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48,49,50,51,52,53,54,55,56,57,58,59,60



RELATÓRIO FINAL
PROJETO P&D CÓDIGO 0394-1311/2011
CHAMADA 013/2011

Fl.
30/114

39	Agenda estratégica com temas promissores para pesquisas complementares	41,42,43,44,45,46,47,48,49,50,51,52,53
40	Capacitação dos profissionais	37,38,39,40,48,49,50,51,52,56,57,58,59,60
41	Plano de Desenvolvimento Sustentável de Jaíba	25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40
42	Elaboração de ementas de cursos	28,29,30,31,32,33,34,35,36,37
43	Marcos Regulatórios relativos a energia solar	25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48,49,50,51,52,53,54,55,56
44	Preparação e realização do Seminário	26,27,28,29,30,31,32,33,34,42,43,44,45
45	Definição da estrutura laboratorial de energia solar para as universidades	34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48,49,50,51,52,53,54,55,56
46	Transferência de tecnologia - elaboração de procedimentos	25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,35

6.2 PRODUTO

A seguir apresenta-se um resumo das Entregas concluídas neste Projeto. Os Relatórios e Projetos referentes a cada Entrega se encontram nos Anexos, conforme listado em cada tópico.

As Entregas apresentadas abaixo não seguem uma sequência lógica em relação ao momento da sua execução.

6.2.1 ENTREGA #01 – Desenvolvimento de metodologia de projeto básico e executivo da usina

Esta entrega se refere ao desenvolvimento de uma metodologia para elaboração de projetos básicos e executivos de usinas fotovoltaicas (FV). Tomou-se como base os projetos da usina Solar Jaíba, contendo todas as etapas necessárias ao planejamento, projeto, e construção, incluindo atividades de gestão, engenharia e capacitação, e que pode ser estendido a qualquer outra usina fotovoltaica.

Para a usina Jaíba Solar, com base nos diferentes tipos de tecnologias e subsistemas definidos para a usina fotovoltaica, a avaliação do clima e recurso solar local, estudos locais e condições de conexão, foi elaborado o Projeto Básico, o qual definiu a potência instalada de cada subsistema e tecnologia, o fator de dimensionamento de inversores, as opções de layout da usina FV, possíveis sombreamentos sobre os módulos fotovoltaicos e a produção de energia elétrica.

Conforme as especificações técnicas dos equipamentos definidos na fase de Projeto Básico, iniciaram-se a negociação com fornecedores a fim de selecionar os fabricantes e modelos de equipamentos que seriam utilizados na fase de Projeto Executivo.

Com a seleção dos fornecedores dos principais equipamentos: módulos policristalinos, sistema CPV (Concentrated Photovoltaic) inversores centrais e strings, estruturas metálicas fixas, e equipamentos de média tensão, foi feita a revisão do Projeto Executivo.

Com base nos estudos, requisitos e variáveis utilizadas para elaboração do Projeto Básico e Executivo, foi elaborado ainda uma metodologia para planejamento, projeto e construção de usinas fotovoltaicas no Brasil, e em outros locais.

Como resultados desta entrega, apresenta-se o Projeto Básico da usina FV de Jaíba o qual contém os seguintes estudos: levantamento planialtimétrico do local, sondagens geotécnicas, desenhos técnicos de equipamentos e estruturas, memorial descritivo do Projeto, cronograma previsto de execução, quantitativos e especificações técnicas de equipamentos.

Como resultado da elaboração do Projeto Executivo, foram desenvolvidos: Desenhos técnicos executivos eletromecânicos e civis, especificações técnicas detalhadas de todos os equipamentos utilizados; Editais de licitação de equipamentos; Projeto executivo do sistema de aterramento e proteção contra descargas atmosféricas; Projeto executivo das instalações de transmissão e subestação de medição e faturamento; e memorial descritivo do projeto executivo.

Além dos resultados descritos, também foi elaborado um relatório contendo o histórico do desenvolvimento do projeto, apresentando os caminhos traçados para definição de equipamentos, layout e potência da planta fotovoltaica, estratégias de aquisição de equipamentos (e as mudanças nessas estratégias) e as dificuldades encontradas ao longo do projeto. No relatório, é também destacado todo o aprendizado adquirido, conseqüentes do projeto, e sugestões de melhorias em aspectos identificados que podem ser “gargalos” na construção de empreendimentos fotovoltaicos, de forma a compor uma metodologia para projetos de usinas fotovoltaicas.

Dentre os aspectos mais relevantes para elaboração do Projeto Básico e Executivo estão a importância dos estudos técnicos prévios à elaboração do Projeto Básico, a disponibilidade das tecnologias e perspectivas futuras, a logística de contratações de equipamentos que envolve: disponibilidade de suprimentos locais, transporte, armazenamento de materiais e cronograma que otimizem os prazos de entrega dos equipamentos com a sua instalação na obra e condições climáticas, além da análise da conjuntura internacional de forma a se evitar impactos no custo do Projeto ou indisponibilidade dos equipamentos.

Neste Projeto específico cabe ressaltar que a análise dos aspectos mencionados acima foi fundamental. Um cronograma de instalação foi desenvolvido considerando a logística da entrega dos equipamentos, prazos de montagem e suas relações de dependência e as condições climáticas.

Desta forma, a instalação foi planejada para se iniciar na estação seca, de forma que durante essa época todo o trabalho seja realizado na sua totalidade, e portanto, a usina estaria concluída na época da estação úmida, durante a qual se poderia realizar trabalhos de acabamento e dar início às atividades dos equipamentos.

Para otimizar prazos, muitas das atividades foram planejadas para serem realizadas de forma paralela. Este é o caso de montagem de estruturas e módulos fotovoltaicos, no qual várias equipes podem trabalhar em diferentes frentes sem que uns interfiram no trabalho dos outros, porém outras atividades como a montagem de eletrocentros ou comissionamento necessitam que outras atividades tenham sido finalizadas para que posteriormente, possam ser iniciadas.

Grande parte dos equipamentos eram importados, e para isto foi necessário se avaliar as alternativas para entrega e desembarço dos equipamentos de forma a otimizar o tempo de entrega com o custo de armazenagem. Desta forma, optou-se por adotar uma estratégia de suprimentos em duas fases, com a utilização de um “porto seco”/área de armazenamento, sendo que o transporte seria feito do porto até o Porto Seco Sul de Minas (Varginha, Minas Gerais), onde ficaria armazenado, e posteriormente transportado para a região da usina fotovoltaica. Desta forma, o projeto se assegura de que todos os materiais disponíveis estejam dentro do Brasil, deixando toda a responsabilidade, em relação a transporte internacional e prazos de entrega nas mãos do fabricante, para, posteriormente, se converter em uma atividade interna, a qual sempre é mais fácil administrar a nível nacional do que em um entorno internacional. Além disso, pode-se reduzir o risco de sobrecusto na obra, apesar de implicar no custo elevado de armazenamento e gestão no porto seco.

Outro fator importante foi a estratégia de aquisição dos equipamentos. Foi analisado a opção de contratação para instalação da usina via “*turn-key*” ou “chave na mão”, na qual o fornecedor é responsável pelo fornecimento de todos os materiais e equipamentos, e

execução dos serviços civis, de montagem dos equipamentos e comissionamento. Trata-se de uma estratégia mais cara em relação a contratação desmembrada, porém a responsabilidade do contratante é bem menor.

Entretanto, no caso deste Projeto, optou-se pela contratação de diferentes empresas para execução das obras civis, fornecimento de equipamentos e montagem dos equipamentos, sendo a gestão feita pela executora, uma vez que se trata de um Projeto de P&D, no qual um dos principais pontos é a aquisição de conhecimento e desenvolvimento de profissionais, o que seria minimizado no caso de uma contratação EPC.

Outra alteração importante se refere a análise do mercado e a percepção em relação a disponibilidade das tecnologias e fornecedores no futuro. Para este Projeto observou-se uma grande alteração no fornecimento dos sistemas de concentração solar, devido a saída do mercado de fornecedores deste tipo de tecnologia.

Em relação ao fornecimento de equipamentos locais, observou-se que no início do projeto, seus produtos dobravam ou triplicavam o preço da oferta selecionada, além disso, não ofereciam um histórico de fornecimento de forma a assegurar a qualidade dos seus produtos.

A conjuntura internacional também impactou fortemente o Projeto, pois houve uma grande desvalorização cambial desde o momento do orçamento do Projeto até o processo de contratação, levando a um acréscimo significativo no valor de investimento para os equipamentos importados. Por outro lado, este impacto foi mitigado em partes pela queda do preço dos módulos fotovoltaicos neste mesmo período.

Apesar de, ao longo do Projeto, as tecnologias terem sofrido várias mudanças, destaca-se a importância de se testar diferentes tecnologias no país e a necessidade de investimento no Brasil para atendimento a esta demanda, uma vez que grande parte do investimento envolvido está exposto a variações cambiais e a conjuntura econômica internacional.

Os documentos referentes ao Projeto Executivo da planta Jaíba Solar e as especificações dos equipamentos, Projetos de Conexão da Cemig, Projetos referentes a Sistema de Medição de Faturamento e o Relatório Técnico 01 - METODOLOGIA

PROJETO BÁSICO E EXECUTIVO E HISTÓRICO DO PROJETO se encontram disponíveis em anexo neste relatório.

6.2.2 ENTREGA #02 – Inventário dos locais mais adequados à instalação de usinas solares fotovoltaicas no Estado de Minas Gerais

Nesta entrega foi desenvolvida metodologia para identificação (inventário) das áreas mais propícias às instalações solares fotovoltaicas de grande porte em Minas Gerais. Para tal, foi desenvolvido software para a realização da estimativa de geração de energia através de sistemas fotovoltaicos de forma a facilitar a identificação dos locais de maior potencial.

Além disso, um guia prático, que mostra o passo a passo, para a construção de usinas solares foi também estruturado sendo que o mesmo inclui os principais pontos de atenção que devem ser avaliados para implementação deste tipo de empreendimento.

Para a elaboração do guia prático, foi realizada uma abrangente revisão bibliográfica de forma que o mesmo fosse embasado nas melhores práticas encontradas no mercado de plantas solares de grande porte abordando a sua construção, operação e o financiamento de projetos. Desta forma, o mesmo fornece informações e critérios importantes para que os desenvolvedores e investidores possam tomar decisões na implementação de empreendimentos solares de grande porte.

Para o desenvolvimento do Software Jaíba Solar, foi realizada uma ampla revisão bibliográfica que inclui: modelos matemáticos para a estimativa do recurso solar, bancos de dados disponíveis publicamente e sua integração ao software, modelos matemáticos de módulos fotovoltaicos, inversores, parâmetros métricos para avaliação energética, perdas e incertezas. Uma vez estudados e compreendidos estes modelos, foi desenvolvido um algoritmo e o mesmo implementado em linguagem web (PHP) de forma que usuários possam realizar simulações pela internet facilitando os estudos de pré-viabilidade de uma localidade a ser implantado um projeto de usina solar.

Os resultados obtidos pela ferramenta computacional desenvolvida, Software Jaíba Solar, foram comparados, para uma mesma situação, com os resultados obtidos através de

outro software largamente utilizado no mercado para a simulação e elaboração de projetos fotovoltaicos, o PVSyst versão 6.24.

O Software Jaíba Solar foi utilizado para realizar o inventário dos locais / regiões mais adequadas à instalação de usinas solares fotovoltaicas em MG. Para isto, o estado foi separado em 12 mesorregiões (de acordo com a classificação do IBGE) e diversas simulações em distintas cidades mineiras, que compõem estas mesorregiões, foram realizadas de forma a obter os parâmetros métricos energéticos bastante utilizados para a avaliação de empreendimento solares.

Os principais resultados nesta entrega são relatados a seguir:

- Elaboração de Guia Prático embasado em critérios para que os desenvolvedores e investidores possam tomar decisões na implementação de empreendimentos solares de grande porte;
- Software Jaíba Solar que facilita os estudos energéticos de pré-viabilidade de uma localidade a ser desenvolvido um projeto de usina solar apresentou bons resultados em comparação ao PVSyst dando assim, maior confiabilidade nos resultados gerados pelo mesmo. Ferramenta de fácil manipulação e entendimento e disponível em ambiente Web (Internet);
- Pedido de registro do software junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) Processo BR 51 2017 000308 4;
- O Inventário dos locais / regiões mais adequadas à instalação de usinas solares fotovoltaicas em MG mostra que o estado, de uma forma geral, possui uma boa média anual de energia específica (EE) no valor de 1354 kWh / kWp e 0,79 de rendimento global (PR) médio. Desta forma, Minas possui grandes oportunidades para aplicação das tecnologias fotovoltaicas e também, das demais tecnologias solares.
- Artigos científicos publicados em Congressos Nacionais de grande relevância no setor de energia solar (ex: BACHA, L. ; MONTEIRO, L. ; BUIATTI, G. M. ; GALDINO, M. A. ; BRASIL JUNIOR, A. C. P. . Desenvolvimento de Ferramenta Computacional Para a Estimativa da Produção de Energia Elétrica através de Sistemas Fotovoltaicos - Software

Jaíba Solar. In: VI Congresso Brasileiro de Energia Solar (VI CBENS), 2016, Belo Horizonte. Anais VI Congresso Brasileiro de Energia Solar (VI CBENS), 2016

O Software Jaíba Solar está em fase de ser patentado, mas já é utilizado pelas empresas participantes do Projeto há vários meses, facilitando a pré-seleção de áreas para instalação de usinas fotovoltaicas em todo o Brasil.

Em anexo disponibilizamos o RELATÓRIO TÉCNICO 2 - USINAS SOLARES DE GRANDE PORTE - GUIA PRÁTICO PARA DESENVOLVEDORES E INVESTIDORES, referente a esta entrega na pasta Entrega 02.

6.2.3 ENTREGA #03 – Metodologia de projeto técnico de usina solar fotovoltaica passando pela seleção do local utilizando diferentes bases de dados e medidas preliminares no local

Esta Entrega contempla o desenvolvimento de metodologia específica para elaboração de estudos de pré-viabilidade para empreendimentos fotovoltaicos, assim como a execução destes estudos para o projeto em questão, utilizando dados meteorológicos, topográficos, ambientais, geopolíticos e de infraestrutura, culminando na seleção do local para a implantação do projeto de uma usina solar fotovoltaica.

No desenvolvimento desta etapa foram utilizados dados públicos de irradiação solar, relevo, temperatura ambiente e velocidade e direção do vento, que auxiliam nos estudos de potencial energético do local. Além destes parâmetros, foram também utilizados dados históricos referentes às prospecções de terras na região de Jaíba-MG e de diferentes pontos cogitados para conexão à rede de distribuição da concessionária local.

Essas informações auxiliaram na escolha do local para implantação do empreendimento e possibilitam avançar para uma segunda fase de prospecção, mais pontual, com a instalação de equipamentos para medição de variáveis meteorológicas e solarimétricas no local selecionado e na aquisição de dados de séries históricas por imagens de satélites, através de dados do SolarGis, que possibilitam o aperfeiçoamento dos estudos energéticos e o início da fase de engenharia básica.

Com base no exposto acima, foi relatado todo o histórico referente a seleção da localidade de Jaíba para a instalação da usina solar fotovoltaica.

O principal resultado desta entrega compreende a seleção do local escolhido para a construção da usina solar fotovoltaica e as razões que levaram a tal decisão, que, se extrapoladas, auxiliam na definição de local para qualquer usina fotovoltaica. Entre os aspectos analisados para determinação do local ideal, destacam-se as características meteorológicas / solarimétricas e infraestrutura de escoamento para a energia produzida.

Sobre as características meteorológicas / solarimétricas, entre os dados públicos de irradiação solar, os dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar, através do projeto SONDA, do INPE se mostraram os mais confiáveis. Já os dados de temperatura ambiente e velocidade / direção do vento, o INMET apresentou ser uma fonte de dados pública confiável. Analisando os dados de irradiação, observou-se que a região de Jaíba-MG apresentava um dos maiores índices de irradiação solar do estado de Minas Gerais, o que contribuiu tecnicamente pela escolha do local.

A localização exata do empreendimento só foi definida após a análise do custo de conexão do empreendimento à rede de distribuição da concessionária local. Expondo que o acesso à infraestrutura de “escoamento” da energia elétrica produzida pela usina fotovoltaica é também um dos fatores determinantes para a definição do local do empreendimento.

Em anexo disponibilizamos o RELATÓRIO TÉCNICO 03 - METODOLOGIA DE PROJETO TÉCNICO DE USINA SOLAR FOTOVOLTAICA, referente a este produto.

6.2.4 ENTREGA #04 – Capacitação profissional

Esta entrega se refere a capacitação profissional em universidades e empresas, para capacitar profissionais a exercerem as atividades inerentes ao desenvolvimento da energia solar fotovoltaica, através da elaboração de ementas de cursos em diferentes níveis, formação de uma base de conhecimento para disponibilização na internet, consolidação das informações e publicação de livro.

A Capacitação Profissional em Energia Solar Fotovoltaica no âmbito do Projeto Jaíba Solar, foi efetivada através da execução de diversas ações: realização de eventos internacionais, realização de cursos específicos para os técnicos das empresas patrocinadoras do projeto, elaboração de proposta de ementas de cursos sobre energia solar, formação e disponibilização de uma base de conhecimento e publicação de livro sobre os aspectos de planejamento e engenharia do projeto Jaíba Solar.

Segue as principais conclusões sobre as diversas atividades realizadas no tema Capacitação Profissionais.

Seminários Internacionais:

Foram realizados em 2015 e 2016 dois eventos internacionais intitulados Escola Internacional de Energia Solar (*International School on Solar Energy*), realizados na cidade de Brasília no auditório da Faculdade de Tecnologia.

A iniciativa da Universidade de Brasília em promover a Escola Internacional de Energia Solar vem ao encontro da necessidade de formação de recursos humanos na área de energia solar em nível superior, com intuito não só de aquisição de conhecimento, mas também para integração de profissionais, alunos e pesquisadores em um ambiente acadêmico com forte participação de empresas da área, agências internacionais e governo. O programa da Escola contemplou apresentação de seminários formativos por profissionais brasileiros e estrangeiros de reconhecimento internacional em suas devidas áreas de atuação, e oficinas promovidas por empresas e profissionais com experiência prática numa abordagem "*learn-by-doing*".

Na primeira Escola realizada no período de 23 a 26 de fevereiro de 2015, um total de 240 participantes se cadastraram entre estudantes de graduação e pós-graduação, engenheiros e outros profissionais com atuação e interesse na área de energia solar. Conforme descrito no programa, além da cerimônia de abertura, foram um total de oito palestras e uma mesa redonda. Foram realizadas 8 oficinas práticas, que ocorreram nos três últimos dias do evento. Além disso, foi permitido aos participantes que apresentassem posters de atividades de pesquisa que foram selecionados previamente pela comissão organizadora. Segue a programação do evento:

Palestras:

- *Putting in place the solar potential*
- *Brazilian renewable energy challenges*
- *Solar resources on Brazilian territory - BRASIL-SR project*
- *Brazilian PV systems applications: experience and challenges*
- *CSP Technology - The state-of-the art*
- *Technical-Economic Evaluation of CSP Plants*
- *Short term solar resource forecasting*
- *Modeling and Simulation of CSP Plants*

Oficinas:

- *Installing a PV-System*
- *Solar resources instrumentation*
- *Inverters and solar PV systems on grid*
- *PVSyst software for PV power plants evaluation*
- *Sustainability of solar energy technologies*
- *CSP Project Development*
- *Masdar Information Tool*
- *Modelling and simulation of CSP plants*

Na segunda escola realizada no período de 01 a 04 de março de 2016, um total de 290 participantes se cadastraram entre estudantes de graduação e pós-graduação, engenheiros e outros profissionais com atuação e interesse na área de energia solar. Além do coordenador geral do evento, a Cerimônia de Abertura, contou com a presença do reitor da Universidade de Brasília, Prof. Ivan Camargo, o diretor da Faculdade de Tecnologia, Prof. Antônio Cesar Brasil Jr., o presidente do CREA-DF, Sr. Flávio Correia, o Secretário de Meio Ambiente do GDF, Sr. André Lima, uma representante da Embaixada da Alemanha do Brasil, Sra. Kordula Malhalhart, o gerente da área de pesquisa da empresa Centrais Elétricas Furnas, Sr. Nelson Araújo. Segue a programação do evento.

Palestras:

- *Global challenges and opportunities of solar energy*

- Recurso Solar em território brasileiro
- Os desafios da geração de energia no Brasil e o papel da energia solar
- *CSP Application: Shams 1 - The first CSP plant in the Middle East*
- *Technologies for CSP Utilization – State of the Art*
- *First CSP-PV Plant on Latinamerican Soil – Atacama Case Study Rainer Schröer*
- Sistemas de monitoramento para aplicações CSP
- Inserção, status e perspectivas da geração fotovoltaica distribuída no Brasil
- *Smart grid* e armazenamento aplicado a sistemas fotovoltaicos

Oficinas:

- Sistemas fotovoltaicos na prática
- Instrumentação para recurso solar
- Inversores
- Modelagem e Simulação CSP
- Modelagem e Simulação Sistemas Fotovoltaicos
- Sustentabilidade em Tecnologias de Energia Solar
- Leilões de Energia no Brasil
- Ferramenta Flexível de Simulação CSP

Cursos de Capacitação

Foram realizados quatro cursos ao longo do período de três anos do projeto. Em 2014 foi realizado o curso Formação Básica de gestores, administrativos e técnicos para acompanhamento de projeto, operação e desempenho de Sistemas Solares Fotovoltaicos, no período de 13 a 14.02.2014 em Belo Horizonte, em 2015 foi realizado na cidade de Goiânia, no período 24 a 26.11.2015 o curso de Recurso Solar, em 2016 foi realizado o curso Viabilidade Técnica-Econômica de Empreendimentos de Geração de Energia Fotovoltaica no Rio de Janeiro no período 13 a 14.10.2016 e em 2017 foi realizado o Curso Conceitos Básicos em Geração Solar Fotovoltaica no Rio de Janeiro no período 08 a 09.06.2017.

O curso de 2014 contou com a participação de 27 pesquisadores e foi ministrado pelo Sr. Mário Simões, representante da empresa Glintt Energy, que atua no mercado das

energias renováveis na Europa e África. O curso foi desenvolvido com a seguinte programação:

Módulo I – Visão geral

- Panorama atual da energia solar no Brasil e no mundo
- Benefícios tangíveis e intangíveis e impacto ambiental da tecnologia fotovoltaica

Módulo II – O mercado fotovoltaico

- O panorama mundial da tecnologia fotovoltaica – a universalização do acesso e do uso da energia
- Perspectivas, tendências do mercado e cenários futuros
- Maiores fabricantes mundiais - Tendências de custos e preços
- Principais fabricantes de células/módulos/painéis fotovoltaicos
- A energia solar fotovoltaica no Brasil, desenvolvimento e potencial solar brasileiro para geração de eletricidade
- Mercados FV *off-grid* – localização e aplicações
- Caracterização das estruturas
- Esquemas típicos de sistemas solares fotovoltaicos
- Especificação dos componentes e materiais

Módulo III – Fundamentos teóricos

- Recurso solar
 - Conceitos fundamentais – Radiação solar e condicionantes climáticas
 - Bancos de dados de recursos solares - Dados climatológicos e de irradiação solar
 - Atlas de Irradiação Solar do Brasil - Disponibilidade do recurso solar no Brasil
 - Tecnologia fotovoltaica
 - Princípio de funcionamento, tipos e materiais
 - Classes de Eficiência Energética
 - Caracterização elétrica de módulos fotovoltaicos
 - Constituição do módulo solar fotovoltaico
 - Processos de fabricação das diferentes células e módulos fotovoltaicos
-

- Produção elétrica estimada de um módulo fotovoltaico
- Sistemas fotovoltaicos
- Concessão e tipologia dos diferentes sistemas de geração distribuída e autônoma
- Descrição e caracterização detalhada do sistema, subsistemas e componentes fotovoltaicos
- Arranjo e configuração dos sistemas
- Esquemas de conexão elétrica à rede
- Avaliação do nível global de desempenho de um sistema fotovoltaico
- Efeito da localização, inclinação, orientação e sombreamento na produção solar
- Previsão da produção energética líquida anual

Módulo IV – Avaliação econômica

- Custos e proveitos
- Especificação dos componentes a comprar a serem adquiridos
- Planilha de preços e quantitativos
- Políticas públicas - Programas de incentivo
- Mecanismos de incentivo (tarifas-prêmio, descontos à tarifa, etc.)
- Mecanismos de financiamento da usina
- Análise econômica e financeira
- Principais indicadores do valor econômico da geração distribuída
- Análise da rentabilidade econômica e financeira de um sistema fotovoltaico

Módulo V - Acompanhamento de obra

- Organização do processo e estrutura documental
 - Planejamento de recursos
 - Metodologia e plano de trabalho para execução dos serviços - etapas, preparação e programação das fases de desenvolvimento
 - Cronograma físico-financeiro em barras da obra
 - Estrutura do dossiê do projeto
 - Avaliação qualitativa do projeto
 - Supervisão em campo
-

- Controle de prazos de execução - Relatórios de obra e documentos de coordenação
- Controle dos contratos de fornecimento de equipamentos, logística, transporte e frete
- Descarga, manuseamento, içamento e armazenamento
- Montagem, instalação e fixação dos equipamentos
- Arranque do sistema solar fotovoltaico

Módulo VI – Comissionamento

- Procedimentos de aceitação de qualidade
- Avaliação geral do projeto e componentes
- Verificação geral dos componentes elétricos
- Verificação da conformidade dos módulos fotovoltaicos com as normas nacionais e internacionais - certificações IEC, Norma Inmetro, degradação induzida por tensão, PID (Degradação Induzida pelo Potencial), etc.
- Dados de ensaio realizados pelo fabricante (*flash tests*)
- Verificação cruzada (*cross-check*) da qualidade dos módulos em laboratório de teste reconhecidos
- Inspeção de fábrica
- Testes dos módulos fotovoltaicos em conformidade com os regulamentos aplicáveis
- Teste de Potência STC de uma amostra aleatória de módulos fotovoltaicos individuais
- Medição elétrica da curva I-V de módulos, *strings* e arranjos
- Medição da potência STC à entrada dos inversores
- Conformidade dos inversores em caso de afundamento de tensão, desconexão devido a condições anormais de tensão e frequência e isolamentos
- Inspeção visual e termográfica dos geradores fotovoltaicos - detecção de fenômenos de ponto quente e diferença de temperatura entre células
- Detecção de defeitos e irregularidades
- Verificação das rotulagens e marcações
- Aceitação da central
- Monitoramento e análise do desempenho da usina
- Relatórios de monitoramento do *energy yield* e avaliação de desempenho (performance ratio)

Módulo VII – Exploração, Operação & Manutenção

- Operação de sistemas fotovoltaicos de geração distribuída e *off-grid*
- Planejamento e programação global
- Manuais de Operação & Manutenção
- Operação assistida por software na supervisão, controle e monitoramento de usinas fotovoltaicas
- Monitoramento e análise do desempenho da usina
- Gestão de consumíveis, materiais e peças sobressalentes e auxiliares
- Sistemas de segurança, vigilância e prevenção de incêndios
- Manutenção de sistemas fotovoltaicos de geração distribuída e *off-grid*
- Planos de atividades de manutenção preventiva e corretiva
- Operações de manutenção e conservação dos equipamentos
- Relatórios de intervenção e registro histórico
- Resolução de problemas

Módulo VIII – Dimensionamento de Caso Prático

- Sistemas *Off-grid*
- Integração em edifícios domésticos
- Grandes plantas centralizadas

O curso de 2015 contou com 17 participantes, foi ministrado pelos professores da UnB Antônio Cesar Pinho Brasil Junior, Mario Benjamin Baptista de Siqueira e pelo especialista convidado Lucas Bacha Pereira Horta, com a seguinte programação.

Módulo 1: Introdução

Energia solar – fundamentos e conceitos

Módulo 2: Algoritmos de posicionamento solar

Orbita terrestre. Movimento aparente do sol e ângulos. Modelagem.

Módulo 3: Irradiância solar

Conceitos básicos. Física da atenuação atmosférica. Tratamento estatístico.

Módulo 4: Instrumentação para energia solar

Medição de radiação solar. Construção e exploração de banco de dados.

Módulo 5: Modelos de disponibilidade de irradiância

Procedimentos estatísticos. Base de dados solarimétricos. Métodos de mapeamento por satélite.

Módulo 6: Previsão de curto termo

Método estocástico e séries temporais. Métodos com inteligência artificial (redes neurais, etc.).

Módulo 7: Tecnologias de conversão

Ferramentas de simulação (HOMER, RETSCREEN,...). Tecnologias FV. Usinas CSP.

O curso de 2016 contou com 31 participantes, foi ministrado pelo Professor da UnB Rafael Amaral Shayani, pelo pesquisador da UnB Sergio de Oliveira Frontin e pelo especialista convidado José Roberto de Medeiros

O curso teve os seguintes objetivos: apresentar e analisar o atual modelo do setor de energia elétrica, e neste contexto enfatizar o processo de leilão de energia solar contemplando as fases: cadastramento dos empreendimentos, requisitos do edital, dinâmica de realização do leilão, resultados e contratos. Apresentar e analisar os principais conceitos de matemática financeira para que os participantes possam construir suas próprias planilhas de fluxo de caixa, possibilitando realizar o cálculo do custo da energia de uma usina solar fotovoltaica, e analisar os principais indicadores financeiros relacionados. Contando com a seguinte programação:

Módulo 1 - O Modelo do Setor de Energia Elétrica Brasileiro

Módulo 2 - O Processo de Leilão de Reserva Solar

- Edital de Leilão de Energia Solar
- Manual do Empreendedor
- Integração de Empreendimentos Fotovoltaicos no SIN
- Resultados dos Leilões de Energia Solar

Módulo 3 - Engenharia Econômica (matemática financeira)

- Conceitos básicos
- Fluxo de caixa
- Valor presente, valor futuro, série uniforme
- Exemplos utilizando funções do Microsoft Excel

Módulo 4 - Figuras de Mérito para Análise de Projetos

- Valor presente líquido (VPL)
- Taxa interna de retorno (TIR)
- Tempo de retorno (*payback*) simples
- Tempo de retorno (*payback*) descontado
- Relação benefício custo

Módulo 5 - Estudo de caso para o Jaíba Solar

O curso de 2017 contou com 24 participantes, e foi ministrado pelos Professores da UnB Rafael Amaral Shayani, Marco Aurélio Gonçalves de Oliveira e pelo pesquisador da UnB Sergio de Oliveira Frontin.

O curso teve como objetivo primordial de apresentar os principais conceitos básicos para técnicos que necessitam atuar no setor fotovoltaico, mas que ainda não conhecem esse novo setor, em crescimento no Brasil e no mundo. O curso tinha como objetivo transmitir conhecimento aos principais componentes de um sistema fotovoltaico e os principais fatores que influenciam a produção de energia. Apresenta-se abaixo a programação:

Módulo 1 – Conceitos Básicos

- Introdução sobre fontes renováveis de energia
- Radiação solar
- Massa de ar
- Irradiância
- Orientação dos módulos fotovoltaicos
- Ângulo azimutal
- Movimentos da Terra
- Declinação solar
- Altura solar
- Ângulo de incidência dos raios solares
- Rastreamento automático da posição do Sol

Módulo 2 – Células e Módulos Fotovoltaicos

- Células fotovoltaicas
- Tipos de células fotovoltaicas
- Curvas características de corrente, tensão e potência
- Influência da radiação solar
- Influência da temperatura
- Características dos módulos fotovoltaicos comerciais
- Conjuntos ou arranjos fotovoltaicos
- Sombreamento de módulos fotovoltaicos
- Conexões elétricas

Módulo 3 – Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica

- Categorias de sistemas fotovoltaicos conectados à rede (usinas, minigeração e microgeração)
 - Inversores para a conexão à rede elétrica
 - Características dos inversores
 - Recursos e funções dos inversores para a conexão de sistemas fotovoltaicos à rede elétrica
 - Requisitos para a conexão de sistemas fotovoltaicos à rede elétrica
 - Inversores comerciais para sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica
-

- Organização dos conjuntos fotovoltaicos

Módulo 4 – Utilização de Programa

- Utilização de programa de computador para sistemas fotovoltaico

Proposta de Ementas para Cursos sobre Energia Solar

A energia solar fotovoltaica encontra-se cada vez mais em evidência, seja pela baixa dos preços dos painéis, pelo aumento da tarifa da energia convencional, ou pela maior preocupação da sociedade com o aquecimento global. Um sinal dessa evidência é a proliferação de cursos sobre energia solar fotovoltaica. Nota-se diversos conteúdos, com diferentes cargas horárias, voltadas para diferentes públicos. Foi analisado diversos cursos: técnicos de curta duração, de curta duração voltados para a análise financeira, para alunos de engenharia, graduação em energia solar fotovoltaica etc.

Com base neste levantamento foi sugerida ementa específica em curso de graduação em engenharia. O objetivo da disciplina específica em curso de graduação em engenharia é fornecer os principais conceitos sobre a energia solar fotovoltaica, para que o aluno possa entender como funciona e, uma vez interessado pelo tema, possa aprofundar-se por conta própria. Segue a sugestão da ementa:

Recurso solar

- Geometria Sol-Terra
- Radiação solar sobre a terra
- Instrumentos de medição da radiação solar
- Potencial solar e sua avaliação

Células e módulos fotovoltaicos

- Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica
 - Células e módulos de silício cristalino
 - Células e módulos de filmes finos
 - Células fotovoltaicas para concentração e multijunção
 - Células orgânicas e de corantes
-

- Normas técnicas

Componentes básicos de sistemas fotovoltaicos

- Módulos fotovoltaicos
- Baterias
- Controladores de carga
- Inversores
- Seguimento do ponto de potência máxima
- Dispositivos de proteção, supervisão e controle, e aquisição e armazenamento de dados

Aplicações de sistemas fotovoltaicos

- Sistemas fotovoltaicos isolados individuais e em mini rede
- Sistemas de bombeamento de água
- Sistemas conectados à rede

Projeto de sistemas fotovoltaicos

- Dimensionamento de sistemas isolados
- Projeto de sistemas para bombeamento de água
- Projeto de sistemas conectados à rede
- Projeto elétrico

Instalação, operação e manutenção

Gestão do Conhecimento

A gestão do conhecimento é um conjunto de ações que reúne, organiza, mantém e dissemina o conhecimento. Essa gestão é uma das atividades que fazem parte do processo de transferência de tecnologia.

O objetivo principal da gestão do conhecimento, no projeto Jaíba Solar, é o desenvolvimento de uma base de dados para recolher, organizar e armazenar os registros

do conhecimento produzido no âmbito do projeto, oferecendo a todos os membros participantes do projeto um fácil acesso ao conhecimento adquirido no decorrer do mesmo.

O conhecimento gerado foi organizado segundo uma Árvore de Conhecimento elaborada definindo o conjunto de categorias em que o conhecimento será organizado. Um repositório foi alimentado com base na árvore do conhecimento do projeto e o material disponibilizado para todos os membros da equipe do projeto.

Para o projeto Jaíba Solar foi definida a utilização do Dataverse, que se trata de uma plataforma de software gratuito produzido por uma instituição de ensino: a Universidade de Harvard, MA, EUA. O Dataverse vem sendo utilizado por renomadas universidades internacionais como repositório de projetos.

Essa plataforma é um software livre e utilizada por dezenas de instituições de ensino para a gestão de seus repositórios ao longo do mundo. Cada uma dessas instituições configura o Dataverse que usa de uma maneira totalmente própria, promovendo uma “personalização” da ferramenta com a instituição. Desse modo é criada uma espécie de identidade de Dataverse para essa instituição, apresentando-o como se fosse único e próprio da mesma.

Neste projeto o Dataverse foi configurado de maneira a incluir e manter os registros do conhecimento produzido ao longo desse tempo de execução do projeto. Foram considerados registros como artigos científicos, trabalhos de conclusão de cursos, dissertações de mestrado e teses de doutorado, relatórios das atividades, informativos, atas de reuniões e uma grande sorte de outros registros que compõem todo o conhecimento do projeto.

Para o pleno conhecimento das ferramentas do Dataverse, foram produzidos dois documentos tutoriais: um ensinando como operar as ferramentas mais básicas, apenas como usuários – Acesso Rápido e outro com todas as informações necessárias para uso e administração do Dataverse - tutorial. O sistema completo foi disponibilizado para todos os participantes na página web do projeto.

Livro: “Usina Fotovoltaica Jaíba Solar: Planejamento e Engenharia”

Foi publicado o livro “Usina Fotovoltaica Jaíba Solar: Planejamento e Engenharia” objetivando consolidar e apresentar de forma didática os conhecimentos adquiridos e gerados nas fases de planejamento e engenharia do projeto Jaíba Solar. Foram publicados 4.000 exemplares e o lançamento ocorreu no dia 02 a 03/08 no stand de Furnas durante o CITENEL (Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica) realizado em João Pessoa – PB. O índice é indicado a seguir:

- Capítulo 01 – Edital para Implantação de Usina Fotovoltaica – Programa P&D da Aneel
- Capítulo 02 – Proposta para Implantação de Usina Fotovoltaica
- Capítulo 03 – Conceitos Básicos de Usina Fotovoltaica
- Capítulo 04 - Estado da Arte das Tecnologias de Energia Solar.
- Capítulo 05 – Marcos Regulatórios
- Capítulo 06 – Sistema de Monitoramento e Avaliação de Plantas Solares
- Capítulo 07 – Metodologia para Escolha de Áreas mais propícias à Instalações de Plantas Fotovoltaica no Brasil.
- Capítulo 08 – Impactos Socioambiental de Plantas Solares
- Capítulo 09 - Estudos de Acesso
- Capítulo 10 - Estudo de Malhas de Aterramento de Planta Fotovoltaica para as Condições Brasileiras
- Capítulo 11 – Desenvolvimento de Cadeia de Produção de Estruturas Metálicas no Brasil
- Capítulo 12 – Desenvolvimento de Caixa de Junção Inteligente.
- Capítulo 13 – Aspectos Gerais do Projeto Básico e Executivo da Planta Jaíba Solar
- Capítulo 14 - Desenvolvimento Técnico Científico de Laboratórios de Geração Fotovoltaica no Brasil
- Capítulo 15 - Agenda Estratégica

Todo o material referente aos Anais e proposta de ementas se encontram nos anexos disponibilizados na pasta da Entrega 04.

6.2.5 ENTREGA #05 – Estabelecer parcerias com instituições de ensino, P&D de projetos de usina solar fotovoltaica e com entidades internacionais, visando transferência de tecnologia

Objetivando estabelecer as condições para a efetiva transferência de tecnologia quando do estabelecimento de parcerias internacionais foi elaborado o relatório – Promoção de Condições para a Transferência de Tecnologias no Setor de Geração Fotovoltaica de Energia Elétrica disponível no Anexo ENT 05 - PRODUTO 03 - PROCEDIMENTOS PARA TRANSFERENCIA DE TECNOLOGIA - MAIO 2015 na pasta da Entrega 05.

Existem diversos métodos para facilitar a transferência da tecnologia, como por exemplo: Literatura Técnica, Capacitação de Pessoal, por Parceria e Fomento, Consolidação e Integração das Tecnologias. Existem igualmente diversas formas práticas para efetivar a transferência de conhecimentos, dentre as quais, pode-se citar: manuais técnicos, manuais de engenharia, ciclos de debates e palestras, produção técnica científica, gestão do conhecimento etc.

No caso do projeto Jaíba Solar, focamos os conhecimentos nas áreas de planejamento e engenharia, tendo em vista a não implantação da usina, o que permitiria a absorção dos conhecimentos nas fases de projeto, construção, operação, manutenção e comercialização.

Neste sentido foram formadas duas parcerias internacionais: com a universidade francesa *Arts et Métiers Paris Tech*, contando com a vinda de dois alunos franceses para desenvolverem um projeto junto com alunos da Universidade de Brasília e com a empresa italiana CESI através da subsidiária brasileira localizada no Rio de Janeiro.

Os alunos da universidade francesa *Arts et Métiers – ParisTech* desenvolveram na Universidade de Brasília um protótipo de concentrador fotovoltaico, CPV-T (*Concentrating Photovoltaic Thermal*). O protótipo de sistema CPV-T foi concebido e construído em pequena escala e baixa concentração (10 sóis aproximadamente). Neste tipo de sistemas os raios solares são concentrados nas células fotovoltaicas criando um sobreaquecimento nas mesmas, onde surge a oportunidade de cogeração. Assim um fluido é usado para

escoar no interior de um duto, sob o qual são colocadas as células fotovoltaicas, para resfriar as células e obter energia térmica. No relatório técnico *“Design and Construction of a CPV-T Prototype”* disponível no Anexo ENT 05 - RELATÓRIO PARCERIA ENSAM PROTOTIPO CPV-T na pasta da Entrega 05 são apresentadas a concepção, desenho, construção e simulações realizadas para o desenvolvimento do protótipo CPV-T.

O CESI apresentou três relatórios: Estado da Arte das Tecnologias para a Geração Fotovoltaica, Desenvolvimento Técnico Científico de Laboratórios de Geração Fotovoltaica no Brasil e Agenda Estratégica que fazem parte do Livro publicado.

O relatório elaborado pelo CESI “ Estado da Arte. Tecnologias para a Geração Fotovoltaica” descreve o estado da arte das tecnologias fotovoltaicas disponíveis e em desenvolvimento técnico, partindo das tecnologias de silício, passando para as células de filmes finos e chegando à concentração fotovoltaica e as células solares orgânicas.

São apresentadas as principais características técnicas dos inversores fotovoltaicos (em termos de funções-chave, componentes-chave, topologias diferentes e evolução futura) e a sua aplicação em usinas fotovoltaicas (FV) (usina inversora única, etc.) e aos outros equipamentos relevantes a usinas FV, tais como, cabos e conectores, caixas de passagem, interruptores de circuito de CA e CC e rastreadores.

Outro assunto importante abordado são os sistemas de monitoramento, com uma descrição do estado da arte, para o monitoramento das condições ambientais no local, e dos principais parâmetros que, de acordo com as Normas Internacionais e as melhores práticas, têm de ser monitorados. São descritas as diferentes tecnologias (piranômetro, pireliômetro, células solares de referência) e seu nível de precisão para uma avaliação confiável da radiação solar. Uma descrição dos sistemas de monitoramento da operação dos equipamentos de rastreamento e uma breve observação sobre a incerteza do banco de dados de irradiação solar o encerram.

Cada item contém as referências relevantes e, sempre que necessário, os anexos fornecem mais detalhes sobre questões específicas (metodologia de seleção do inversor, propriedades físicas dos dispositivos de medição de radiação, etc.).

O relatório elaborado pelo CESI “Desenvolvimento Técnico Científico de Laboratórios de Geração Fotovoltaica no Brasil”, descreve também os resultados da pesquisa sobre os mais relevantes laboratórios fotovoltaicos em âmbito internacional, que podem se constituir em referências para laboratórios nesta área no Brasil. Foram estudados, em especial, os laboratórios NREL - *National Renewable Energy Laboratory* (Estados Unidos), ISE - Instituto Fraunhofer para Sistemas de Energia Solar (Alemanha) e ENEA - Agência Nacional Italiana para Novas Tecnologias, Energia e Desenvolvimento Econômico Sustentável (Itália). Neste contexto foram apresentadas alternativas em diferentes estágios para a implementação e/ou aprimoramento de laboratórios instalados em universidades brasileiras. Adicionalmente, apresenta uma lista de possíveis trabalhos exploratórios no desenvolvimento de geração de energia solar, sugerindo os itens considerados mais promissores para a condução de ações e pesquisas que tenham por objetivo reduzir os custos dos equipamentos e aumentar o desempenho de usinas fotovoltaicas. Dentre estes itens, pode-se citar, por exemplo:

Equipamentos solar PV:

- Desenvolver produtos e aplicações de rede inteligente principalmente para o gerenciamento de fontes de energia intermitentes;
- Construir laboratórios para testar módulos e inversores PV; e
- Estabelecer sistemas híbridos de geração de energia solar PV e baterias para áreas rurais.

Regras e regulamentações:

- Estabelecer procedimentos para avaliar projetos de energia solar PV e emitir licenças;
- Estabelecer normas de segurança contra incêndio para sistemas em telhados ou integrados a edifícios; e
- Estabelecer normas que permitam maior penetração de energia solar PV.

Sistemas de Energia:

- Aprimorar a seleção de locais para projetos de grande escala;
- Monitorar, controlar e impedir que a energia solar possa prejudicar a rede;
- Realizar estudos de previsão meteorológica de produção de energia solar PV – com horas ou dias de antecedência; e

- Implantar a energia solar PV considerando serviços adicionais de rede, em especial, energia ativa e reativa, bem como regulação remota de tensão e frequência.

Incentivos:

- Estabelecer sistema de crédito para garantir taxas de juros menores para implementar geradores distribuídos;
- Monitorar o acesso ao sistema de crédito; e
- Apoiar fabricantes PV para permitir a criação de fábricas de componentes solares fotovoltaicos (PV).

Educação:

- Promover programas educacionais para escolas técnicas e Universidades;
- Promover programas que permitam a certificação de consultores e empreiteiros em energia PV;
- Disseminar o conhecimento apoiando comitês técnicos e a padronização; e
- Promover workshops sobre inversores, sistemas híbridos e armazenamento.

O relatório elaborado pela universidade francesa Arts et Métiers – Paris Tech “Design and Construction of a CPV-T Prototype” descreve as etapas para desenvolvimento de um protótipo de sistema CPV-T.

Em primeiro lugar foi avaliado, baseado na literatura, o potencial solar da cidade de Brasília onde seria instalado o sistema. Foi concluído que a irradiação normal direta, DNI, no local é suficiente para atingir uma boa eficiência do sistema se comparada com a DNI em outros lugares do mundo com grandes empreendimentos solares.

O ponto mais importante na concepção do protótipo foi a escolha do sistema concentrador. Neste caso foi utilizado um sistema Concentrador Linear Fresnel de espelhos planos devido à facilidade construtiva, acessibilidade dos materiais e a baixa concentração requerida. Outro ponto fundamental para a escolha deste tipo de sistemas foi a simplicidade do seu método de rastreamento solar. O sistema de rastreamento dos espelhos para otimizar a concentração do sol nas células fotovoltaicas colocadas sob o coletor solar foi um diferencial neste trabalho. Cada espelho conta com um motor de passo a partir do qual é possível regular sua angulação.

Um código usando o software MatLab foi desenvolvido para simular e otimizar o sistema desenvolvido e assim obter uma configuração final otimizada visando a influência de parâmetros tais como número de espelhos, dimensões e espaçamento entre eles, dimensões do painel solar, dimensões do receptor, etc... Finalmente, o protótipo CPV-T foi concebido incluindo 15 espelhos de dimensões 1500x125x4 mm que refletiriam em um duto retangular das mesmas dimensões onde na sua parte inferior seriam colocadas as células fotovoltaicas. As células deviam ser colocadas a uma altura de 1.5m para um melhor desempenho. As simulações foram realizadas usando ar e água escoando no interior do duto como fluidos refrigerantes. Obtendo que com água uma melhor eficiência global do sistema é atingida.

Finalmente, foram realizados os ensaios experimentais em campo do protótipo constatando o bom funcionamento do sistema e validando os dados obtidos na simulação computacional.

6.2.6 ENTREGA #06 – Instalação de uma estação solarimétrica de alta precisão e com sistema de aquisição de dados no local da usina

Esta entrega consiste na instalação de uma estação solarimétrica de alta precisão, tipo “B” do Ofício nº004/20-12-SPE-ANEEL emitido em 16/08/2012 associado à chamada de Projeto P&D Estratégico Nº013/2011, com sistema de aquisição de dados no local da usina, com a finalidade de avaliar o desempenho técnico-econômico do projeto, além de validar os dados de projeto e climatológicos utilizados durante fase de simulação.

A mesma foi concebida através do desenvolvimento da especificação, aquisição, instalação e operação de estação solarimétrica de alta precisão com sistema de coleta e transmissão de dados, via link de internet, no local da usina (Fazenda Marques, 5 km do centro de Jaíba-MG). A estação coleta, armazena e transmite os dados para servidor em Belo Horizonte- MG. Os dados brutos são verificados semanalmente por equipe técnica e disponibilizados ao comitê do projeto Jaíba Solar, via website do projeto na área restrita, mensalmente.

Os dados medidos são tratados de forma a gerar estudos/pesquisas dando conhecimento do recurso solar disponível na região além de permitir comparações com

dados de medição por satélite (ex: SolarGis, Helioclim, INPE), Atlas Solarimétricos (ex: Atlas Brasileiro de Energia Solar) e também de outra estação solarimétrica de propriedade da CEMIG instalada pelo projeto de P&D ANEEL GT 468 – Atlas Solarimétrico de Minas Gerais.

As análises realizadas, até o momento, são pontuais e ainda não conclusivas. As mesmas são apenas indicativas de forma a acompanhar e avaliar, pontualmente, a disponibilidade do recurso solar na localidade. Mais estudos e um aprofundamento nos dados gerados pela estação, ao longo dos anos, à medida que uma maior massa de dados for sendo constituída, torna-se necessário possibilitando assim, realizar correlações estatísticas dos dados com diferentes fontes (ex: imagens de satélite) aprofundando as análises e, gerando assim, um melhor conhecimento da radiação solar na região.

De qualquer forma, e como demonstrado neste trabalho, os 13 meses de dados solarimétricos coletados pela estação, em uma primeira avaliação, apresentaram bons resultados mostrando que a região da cidade de Jaíba-MG possui uma boa disponibilidade do recurso solar e, conseqüentemente, um bom aproveitamento, em termos energéticos, através não somente de módulos FVs mas também de outras tecnologias solares para a região.

Finalmente, é importante salientar que comparações / validações, entre dados medidos em campo e outras fontes de dados (ex: banco de dados, Atlas, imagens de satélite) são importantes de forma que os parâmetros utilizados nas simulações computacionais (ex: PVsyst) sejam melhor adaptados à realidade do local fornecendo um resultado com menor incerteza e mais próximo do contexto local.

Em anexo disponibilizamos o RELATÓRIO TÉCNICO 04 - ESPECIFICAÇÃO, INSTALAÇÃO E OPERAÇÃO DA ESTAÇÃO SOLARIMÉTRICA, referente a esta entrega na pasta Entrega 06.

6.2.7 ENTREGA #07 – Desenvolvimento de uma caixa de junção inteligente

Esta entrega consiste no desenvolvimento de uma caixa de combinação (junção ou *string*) inteligente para qualquer tipo de tecnologia de módulo fotovoltaico ou inversor a

serem utilizados em plantas solares, e futuras expansões das mesmas, ou em usinas já existentes.

As caixas de junção (*string*) inteligente são largamente utilizadas em grandes usinas fotovoltaicas no exterior, porém, o seu custo, para o mercado nacional, é ainda bastante elevado, portanto, o desenvolvimento de uma caixa de junção inteligente no país torna-se motivador pelo fato de se tentar reduzir os custos de importação do equipamento, além de estimular o desenvolvimento de equipamentos nacionais para o setor fotovoltaico.

Além disso, um dos grandes problemas relacionado às plantas fotovoltaicas de grande potência ocorre no momento da expansão do sistema, pois para cada fase de expansão pode ocorrer mudança de fornecedores e equipamentos. Assim sendo, é necessário verificar se a comunicação remota do novo fornecedor é compatível com o sistema anterior, ou se o mesmo é possível integrar todas estas informações no software já disponível. Desta forma, a padronização dos protocolos de comunicação para que todos os equipamentos da planta FV se comuniquem, sem gerar problemas de incompatibilidade por exemplo, é uma motivação extra a qual foi desenvolvida neste projeto. Além disso, a aplicação do método de análise espectral, amplamente utilizado na indústria automobilística, ao diagnóstico de falhas em uma usina FV é motivador e, como constatado no desenvolvimento deste projeto, gerou resultados muitos positivos.

Este trabalho propôs o desenvolvimento e construção de uma caixa de junção inteligente que, dentre outras características, é capaz de:

- Realizar a caracterização de arranjos fotovoltaicos;
- Realizar o diagnóstico do arranjo em busca de faltas e/ou falhas;
- Operação remota.

A caixa de junção desenvolvida neste trabalho utilizou, como método de caracterização, o método da carga capacitiva. A equipe de desenvolvimento considerou este método por entender que é o mais indicado para o nível de potência e tensão especificado. Assim, foi desenvolvido um circuito de medição de corrente e tensão para a carga capacitiva com tensão de saída adequada para digitalização utilizando sistemas microprocessados.

Devido à natureza das caixas de junção, onde são conectados múltiplos arranjos fotovoltaicos, foi necessário o desenvolvimento de um circuito capaz de selecionar e conectar um, entre os demais disponíveis em uma planta FV, arranjo ao circuito de caracterização. Este circuito foi chamado de circuito multiplexador e cumpriu a sua função.

Durante o desenvolvimento do projeto foram propostos dois métodos para detecção de faltas, o primeiro baseado na análise espectral das curvas IxVs e PxVs, e o segundo, baseado na segunda derivada destas curvas.

O método baseado na segunda derivada demonstrou resultados pouco consistentes, principalmente, em curvas que possuíam relação sinal/ruído elevadas assim, optou-se por utilizar o método da análise espectral. O método de análise espectral apresentou resultados bastante consistentes, durante os testes realizados, sendo o método recomendado por este trabalho.

Os métodos de detecção de faltas foram implementados em um sistema embarcado montado dentro da caixa de junção. Além dos algoritmos de detecção de falta, este sistema é responsável por controlar os circuitos de multiplexação dos arranjos fotovoltaicos e pela comunicação remota com um software de operação e monitoramento desenvolvidos para o projeto.

O protocolo de comunicação adotado foi o MODBUS. Este protocolo foi adotado por ser um padrão da indústria permitindo que a caixa de junção inteligente seja controlada por outros sistemas supervisórios facilitando assim a comunicação com diversos equipamentos da usina solar fotovoltaica (ex: inversores).

Apesar de não ter sido utilizado, devido às alterações no escopo do projeto, ao longo deste projeto também foi desenvolvida a integração de um MODEM GPRS. Este equipamento permite a comunicação remota com a caixa de junção em locais onde não existe uma infraestrutura de rede.

A caixa de junção foi testada em usinas fotovoltaicas de forma a verificar sua operação e robustez em campo. Os primeiros meses de operação da caixa desenvolvida apresentaram resultados consistentes.

Por fim, o projeto da caixa de junção inteligente atingiu todos os objetivos propostos com êxito e está em processo de registro junto ao INPI. Em anexo disponibilizamos o RELATÓRIO TÉCNICO 05 - DESENVOLVIMENTO DE UMA CAIXA DE JUNÇÃO INTELIGENTE DE BAIXO CUSTO, referente a esta entrega 08.

6.2.8 ENTREGA #08 – Desenvolvimento da cadeia de produção das estruturas metálicas mais adequadas às condições brasileiras (estacionárias ou móveis)

Esta entrega contemplou o estudo comparativo entre as soluções de estrutura metálicas, aplicadas a sistemas fotovoltaicos e encontradas atualmente no mercado nacional/ internacional, explorando as características de cada solução destacando as suas principais vantagens e desvantagens.

Para isto foram utilizadas as normas da ABNT e também normas internacionais, aplicáveis a estruturas metálicas. Foram utilizados também, informações de plantas fotovoltaicas em operação e estudos de fabricantes para avanços nas soluções estruturais.

O principal resultado desta entrega compreende a comparação entre as diversas soluções de estruturas metálicas e suas respectivas fundações, dentre elas: estruturas metálicas fixas, móveis sazonais (movimento manual) ou seguidor / rastreador eletrônico (1 ou 2 eixos).

Para apoiar nas análises técnicas das soluções, esta entrega contemplou também uma metodologia aplicável a cada tipo de estrutura para seleção de modelos para fornecimento de estruturas metálicas. Trata-se de um *checklist* a ser aplicado durante a fase de estudos de viabilidade e de engenharia, para que a qualidade e operabilidade da usina solar fotovoltaica, no que tange as estruturas metálicas, possam estar asseguradas.

Com base na análise comparativa e no desenvolvimento da metodologia mencionada acima, pode-se concluir que há uma grande influência das estruturas metálicas em um projeto fotovoltaico, e que a definição do tipo de estrutura a ser instalada deve ser estudada para cada caso, sendo que não é possível se definir qual o tipo de estrutura mais viável. Esta definição está atrelada a algumas variáveis dentre elas o local de implantação, a topologia do local, a capacidade de investimento, e o fator de capacidade esperado para o empreendimento.

Em anexo disponibilizamos o RELATÓRIO TÉCNICO 06 -DESENVOLVIMENTO DE CADEIA DE PRODUÇÃO DE ESTRUTURAS METÁLICAS NO BRASIL PARA PLANTAS SOLARES, referente a esta entrega pasta Entrega 08.

6.2.9 ENTREGA #09 – Identificação de possibilidades de otimização dos recursos energéticos junto às concessionárias de energia proponente e cooperadas deste projeto

Esta entrega contempla um estudo sobre os impactos da geração fotovoltaica no sistema elétrico, de forma a propor recomendações para a melhor integração desta tecnologia ao sistema elétrico brasileiro e para o desenvolvimento de estudos e ações visando a alta penetração da geração solar na matriz.

Para isto foi desenvolvido um levantamento bibliográfico dos impactos da geração fotovoltaica de grande porte na matriz energética. O levantamento abrangeu os temas como a intermitência da geração fotovoltaica, impactos elétricos (fluxo de energia, geração, redes de transmissão e subtransmissão, redes de distribuição), assim como impactos operacionais e estratégia de despacho da energia produzida.

Com base no levantamento bibliográfico, foram elaboradas recomendações para a inserção de grandes usinas fotovoltaicas de forma confiável no sistema elétrico brasileiro. As recomendações abrangeram os critérios de geração do sistema, infraestrutura de transmissão, tecnologia, políticas e práticas.

Com base no estudo realizado pode-se concluir que os sistemas convencionais de energia sofrem problemas de variabilidade e confiabilidade, apenas em um grau diferente do que a fonte solar. A questão da variabilidade e intermitência da geração fotovoltaica, pode ser gerenciada, prevista e mitigada. Planos operacionais devem ser preparados para reduzir a gravidade dos problemas que podem surgir da instalação dos sistemas fotovoltaicos.

As recomendações elaboradas pela equipe do projeto no que tange os critérios de geração do sistema, infraestrutura de transmissão, tecnologia, políticas e práticas acrescidas de estudos de planejamento energético específico à geração fotovoltaica são

consideradas suficientes para a efetiva inserção de grandes usinas fotovoltaicas no sistema elétrico.

Em anexo disponibilizamos o RELATÓRIO TÉCNICO 07 - IMPACTOS DE USINAS FOTOVOLTAICAS NO SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL, referente a esta entrega na pasta Entrega 09.

6.2.10 ENTREGA #10 – Proposta e justificativa de aperfeiçoamentos regulatórios e/ou desoneramentos tributários que favoreçam a viabilidade econômica da geração solar fotovoltaica, assim como o aumento da segurança e confiabilidade do suprimento de energia

Esta entrega consiste em Propor e justificar aperfeiçoamentos regulatórios e/ou desoneramentos tributários que favoreçam a viabilidade econômica da geração solar fotovoltaica, assim como o aumento da segurança e confiabilidade do suprimento de energia.

Foi feita uma revisão bibliográfica em âmbito nacional e internacional sobre os temas relevantes para estudo regulatório da energia solar fotovoltaica. Procurou-se identificar os marcos regulatórios e as políticas de incentivo para a inserção da energia fotovoltaica nos diversos países, realizando as comparações pertinentes, objetivando apresentar sugestões para o Brasil com objetivo de promover o desenvolvimento da fonte solar no país.

Com base na revisão bibliográfica, foi possível identificar os seguintes pontos principais nas políticas de incentivo adotadas por países com grande quantidade de potência fotovoltaica instalada:

- A tarifa-prêmio permitiu o crescimento do mercado fotovoltaico por vários anos;
- A redução gradativa da tarifa-prêmio estimulou a competitividade do sistema fotovoltaico, até que a paridade tarifária foi alcançada, não mais precisando do subsídio. Dessa forma, o autoconsumo se tornou o substituto natural da tarifa-prêmio;
- Houve possibilidade de financiamento para viabilizar o investimento inicial elevado;
- Houve investimento em pesquisa e desenvolvimento da tecnologia.

No Brasil, o investimento em leilões de energia solar combina as modalidades de incentivo tarifa-prêmio e cota de energia, o que estimula a geração centralizada e, com ela, o crescimento do setor, transferência de tecnologia e redução de custos. Porém, a modalidade de compensação de energia, por si só, não tem se mostrado suficiente para estimular a geração distribuída. Os países que adotaram a tarifa-prêmio davam garantia por 20 anos ao investidor, o que os atraía. Já na compensação, a tarifa de energia da distribuidora flutua muito por conta da abundância ou ausência de chuvas, devido ao parque gerador brasileiro essencialmente hidrelétrico. Em um momento de poucas chuvas e tarifas elevadas devido ao despacho de termelétricas, a tarifa da distribuidora pode estimular a instalação FV, mas, no decorrer dos anos seguintes, com a redução do despacho das termelétricas, há a redução da tarifa, o que inviabiliza o retorno financeiro do sistema FV já instalado.

Por outro lado, o estímulo desenfreado à geração FV, como ocorreu na Itália e Espanha, com um grande pico em um ano e uma drástica redução nos anos seguintes, não foi suficiente para que empresas pudessem se estabelecer. Desta forma, conclui-se que é importante prever estímulos que permitam o crescimento sustentado, ano após ano, como forma de atrair investidores.

De forma sucinta, o estudo com base na experiência internacional concluiu que indica que devem ser adotadas metas anuais a serem atingidas em seus planos de crescimento energético, o que pode ser conseguido com estímulo à geração distribuída via tarifa-prêmio, com valor de subsídio limitado por ano e reduzido gradativamente, e leilões de energia, para que o mercado cresça, o preço reduza e a paridade tarifária seja atingida.

As contribuições mencionadas acima se encontram na dissertação de mestrado “Análise Regulatória da Participação da Energia Solar Fotovoltaica e Estudo do Melhor Mecanismo de Suporte para Inseri-la na Matriz Elétrica Brasileira” disponível pasta da Entrega 10.

6.2.11 ENTREGA #11 – Desenvolvimento métodos otimizados de aterramento dos sistemas fotovoltaicos, considerando a complexidade deste item no Brasil quando comparado a sistemas instalados na Europa

Esta entrega teve como objetivo desenvolver expertise no aterramento de sistemas fotovoltaicos no Brasil.

Para o desenvolvimento do trabalho proposto, no projeto básico, foram realizados testes de resistividade em diversos pontos do terreno (como é estabelecido em norma) onde seria realizada a implementação da usina fotovoltaica de Jaíba.

A partir dos dados de resistividade do solo, e da definição do layout básico da usina, foi iniciado o projeto básico da malha de aterramento da usina solar fotovoltaica Jaíba Solar. Observando a maneira como outros países desenvolvem projetos de malhas de aterramento para usinas fotovoltaicas (através de uma revisão bibliográfica sobre a temática), discussão com empresas europeias de engenharia com experiência nesse tipo de fonte e calculando os custos de uma malha de aterramento convencional, ficou claro que seria necessário desenvolver uma metodologia de dimensionamento diferente do que é utilizado em projetos de subestações comuns, que otimizasse custos e garantisse a segurança das instalações.

A metodologia adotada compreendeu a utilização das próprias estruturas metálicas de sustentação dos módulos como eletrodos de aterramento, assim como a setorização da malha em diferentes áreas do terreno com resistividade da primeira camada do solo precisamente medidas. Com a metodologia e os equipamentos definidos na etapa de projeto executivo, foi possível detalhar o sistema de aterramento a nível de execução apresentado no Projeto Executivo da malha de aterramento.

Esta metodologia foi amplamente discutida entre o grupo executor do Projeto. . A principal discussão se deu em relação a setorização da planta em função das diferentes medidas de resistividade encontradas e a extensão de área da usina (aproximadamente 79.000m²). Uma linha de pensamento defende que é melhor a utilização de média de resistividade do terreno, enquanto a outra entende ser possível segmentar a área, utilizando densidades diferentes da malha para cada setor. Cabe observar que ambos os

métodos utilizados consideram um modelo de solo único. A linha que defende a setorização da malha entende que ao utilizar a resistividade encontrada por setor, têm-se uma imagem mais próxima da realidade do terreno, e, conseqüentemente, maior segurança, o que não é entendido pela outra linha de pensamento.

O projeto de malha setorizado utilizaria 6.000 metros a menos de cabo de cobre e abertura menor de valas, o que traria economia de R\$300.000,00 a R\$400.000,00 para uma usina de 3MW. Há ainda discussão a respeito da necessidade de cobertura da área da usina com brita. Uma linha entende ser necessária apenas no entorno do edifício de controle, no estacionamento e no entorno dos centros de transformação, enquanto outro grupo entende ser necessária a cobertura de toda a área da usina.

Após intensas discussões, decidiu-se pela adoção da malha setorizada e sem cobertura completa com brita no projeto básico e executivo que foram desenvolvidos, explicitando-se nos mesmos todos os cálculos utilizados. De toda maneira, trata-se de tema que deve ainda ser desenvolvido no país dada a pouca experiência em usinas fotovoltaicas de grande escala.

O dimensionamento proposto da malha de aterramento proporciona ganhos significativos para redução de custos para instalação da usina em função da eliminação da necessidade de equalização da resistividade da primeira camada de solo com a utilização de brita em todo o perímetro da usina e reduzindo-se a quantidade de cabos de cobre, uma vez que é utilizado a própria estrutura metálica de sustentação dos módulos como eletrodo de aterramento.

Os documentos referentes ao Projeto Executivo da malha de aterramento da planta Jaíba Solar e o RELATÓRIO TÉCNICO 08 - ESTUDO DE MALHAS DE ATERRAMENTO DE PLANTA FOTOVOLTAICA PARA AS CONDIÇÕES BRASILEIRAS se encontram disponíveis pasta Entrega 11.

6.2.12 ENTREGA #12 – Proposta de atualizações e mudanças na legislação pertinente em conjunto com as concessionárias participantes deste projeto, bem como as possibilidades e implicações socioeconômicas e ambientais de mudança no marco regulatório

O Brasil possui grande experiência com a implantação de usinas hidrelétricas que compõem boa parte de sua matriz energética. No entanto, a legislação criada para atender ao setor de geração fotovoltaica ainda é muito recente e necessita ser criticada, construtivamente, pelos agentes do setor elétrico que experimentaram já as dificuldades de se colocar um empreendimento fotovoltaico em operação comercial em território nacional.

Além disso, os empreendimentos fotovoltaicos são recentes no mercado brasileiro, o que tem como consequência o desconhecimento e conflitos por parte dos órgãos reguladores. Desta forma, é necessário que ações de conhecimento e amadurecimento sejam imediatamente iniciadas pelas entidades federais e estaduais, objetivando o desenvolvimento econômico equiparado ao socioambiental do país.

Com base no exposto acima, esta entrega tem como objetivo propor atualizações e mudanças na legislação pertinente junto com as concessionárias participantes deste projeto, incluindo geração, conexão e uso da rede de comercialização da energia gerada.

Além disso, a entrega desenvolveu análise crítica e proposições de avanço sobre a condição regulatória socioambiental voltada a usinas fotovoltaicas (centrais) no Brasil, baseadas na experiência adquirida com o desenvolvimento do projeto Jaíba Solar a ser implementado em uma região precária do estado de Minas Gerais visto a complexidade em se regularizar/licenciar um empreendimento desta tipologia.

Com o objetivo de propor atualizações na legislação do setor elétrico, visando a inserção da tecnologia fotovoltaica na matriz energética brasileira, foi feito um levantamento bibliográfico das resoluções e procedimentos vigentes e que devem ser observados para que uma usina fotovoltaica possa entrar em operação comercial.

Após o levantamento bibliográfico inicial, e com a visão do empreendedor que pretende instalar uma usina fotovoltaica no Brasil, os procedimentos vigentes foram seguidos e críticas construtivas foram realizadas com o objetivo de identificar gargalos que

poderiam atrasar ou proporcionar barreiras para o desenvolvimento de empreendimentos fotovoltaicos. E através de participação em audiências públicas e comunicação direta com concessionárias do setor elétrico, foram elaboradas propostas procurando a solução destes gargalos.

As propostas elaboradas pela equipe do projeto foram consideradas pertinentes pelo órgão regulador – ANEEL e também pela concessionária de distribuição consultada. Por parte da ANEEL, através da audiência pública nº 002/2016, as propostas auxiliaram na atualização da REN 676/2015 com a publicação da REN 738/2016. Auxiliando na minimização dos custos na fase de pré-viabilidade dos empreendimentos fotovoltaicos.

Já com a concessionária, foram abordados os gargalos para a conexão de usinas fotovoltaicas e criticada a disponibilização de dados para os empreendedores, que acabam provocando grande demanda para as concessionárias com a prospecção de pontos de conexão para os seus empreendimentos, quando a disponibilização de dados georreferenciados dos equipamentos do sistema elétrico das distribuidoras poderia diminuir esta demanda, trazendo maior agilidade para o setor.

Foram sugeridos a criação de uma ferramenta “online” por parte da distribuidora, que possibilitaria maior agilidade na prospecção de novos empreendimentos por parte do empreendedor e, diminuiria o excesso de demanda por parte da distribuidora para atendimento de novas consultas de acesso provocado pela prospecção de conexões. Sem o excesso de demanda, a distribuidora teria a oportunidade de reduzir os atrasos nas entregas das informações de acesso.

Outra opção menos custosa, e que funcionaria como uma alternativa para a ferramenta proposta no item anterior, é a disponibilização sistemática dos dados brutos necessários para que os agentes geradores e empresas de engenharia possam desenvolver suas próprias ferramentas de análise e prospecção de pontos de conexão para seus empreendimentos

Para a análise crítica e proposições de avanço sobre a condição regulatória socioambiental voltada a usinas fotovoltaicas foi realizado o levantamento completo acerca de todas as resoluções e procedimentos vigentes relacionados a licenciamento e

regularização ambiental no Brasil e, mais especificamente, para o estado de Minas Gerais onde foi desenvolvido o projeto de P&D Jaíba Solar.

Após o estudo do material resultante do levantamento, procedeu-se com a pesquisa de identificação, conhecimento e análise de regulação específica do setor fotovoltaico, com foco nas orientações de ordem Federal e Estadual Mineira.

Com o estudo regulatório socioambiental, geral e específico, concluído e a experiência prática de licenciamento de projetos de usinas solares, foi possível expor o cenário atual e propor alternativas para avanço da condição regulatória atual.

Conclui-se que no setor de geração de energia proveniente de fontes renováveis, especificamente de parques solares, ainda há muito o que ser estruturado e aprimorado no âmbito do licenciamento e regularização ambiental.

Recomenda-se um significativo esforço, por parte do governo competente, para que haja correções das deficiências de capacitação técnica, melhoramento das estruturas organizacionais dos órgãos reguladores e licenciadores, além do desenvolvimento de legislação e procedimentos que minimize as barreiras burocráticas e adeque os procedimentos aos modelos de licenciamentos ambientais possíveis de serem aplicados ao desenvolvimento econômico coincido ao desenvolvimento socioambiental.

Destaca-se a importância de que os estudos ambientais sejam avaliados e estabelecidos de acordo com as características da localidade do empreendimento, tais como: estágio de regeneração florestal, presença/ausência de espécies arbóreas, porte das espécies encontradas, grau de desmatamento, propensão a erosão, geologia do terreno, ocupação antrópica, e análises de relevâncias ambientais disponibilizadas por órgãos e instituições públicas.

Os RELATÓRIO TÉCNICO 09 - PROPOSTAS DE MELHORIAS PARA PROCESSO DE CONEXÃO À REDE PARA EMPREENDIMENTOS FOTOVOLTAICOS e RELATÓRIO TÉCNICO 10 - PROPOSIÇÕES DE MEDIDAS PARA PROCEDIMENTO DE LICENCIAMENTO E REGULARIZAÇÃO AMBIENTAL DE EMPREENDIMENTOS FOTOVOLTAICOS se encontram disponíveis na pasta Entrega 12.

6.2.13 ENTREGA #13 – Conjunto de alternativas de receita, com venda ou comercialização de energia, ou de redução de despesas e realizar relatório com prospecção dos mercados de consumo de energia elétrica produzida por esta fonte até o ano de 2020

Nesta Entrega é apresentada uma análise atual do mercado fotovoltaico (FV) no Brasil (até março 2017) identificando as oportunidades, os novos desafios e a projeção de crescimento do setor tanto para grandes centrais fotovoltaicas (sistemas centralizados) quanto para micro/mini sistemas FVs, ou seja, geração distribuída (GD).

Para a realização da análise atual do mercado fotovoltaico (FV) no Brasil (até março de 2017) foram pesquisados / consultados / estudados documentos e artigos (científicos e disponíveis na imprensa) contidos em resoluções normativas, agências, associações, institutos de pesquisas (nacionais e internacionais).

Em relação a geração distribuída (GD) fotovoltaica, conclui-se que para um desenvolvimento sólido e crescente no país, em termos tributários, é necessário que a Lei Nº 13.169/2015 e o Convênio ICMS nº16/2015 sejam atualizados de forma a atender os aprimoramentos regulatórios da resolução normativa ANEEL Nº 687/2015 (ex: novas faixas de potência, microgeração até 75 kWp e minigeração até 5 MWp, e novos mecanismos tais como: geração condominial, compartilhada e autoconsumo remoto). Além disso, é necessário incentivar a adesão dos 5 estados remanescentes (Amapá, Amazonas, Espírito Santo, Paraná e Santa Catarina) ao convênio ICMS nº16/2015.

No quesito financiamento, atualmente, há dificuldade de acesso a crédito por pessoas físicas e jurídicas sendo que as linhas de financiamento existentes não estão alinhadas com as características de empreendimentos de geração distribuída fotovoltaica inviabilizando projetos e reduzindo a competitividade.

Portanto, há a necessidade de criação de linhas de financiamento específicas para GD FV para pessoas físicas e jurídicas através de bancos públicos (ex: Banco do Brasil, Caixa Econômica Federal, Banco do Nordeste e etc.). Soma-se a criação de linhas de financiamento para empresas voltadas ao projeto, instalação, operação e manutenção de sistemas FVs em seus clientes e também ação junto ao Banco Nacional de

Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) para publicação de linha de financiamento específica para a geração distribuída em edifícios públicos conforme disciplinado pela lei nº 13.203/2015.

A respeito do fomento ao mercado, na atualidade, a geração distribuída possui uma participação ainda tímida na matriz elétrica nacional sendo que o país, e de acordo com a ABSOLAR (2017), está atrasado mais de 10 anos em relação a outros mercados. Desta forma, é necessária uma maior divulgação da GD para a população brasileira.

Além disso, é essencial estabelecer metas e programas aos níveis nacional, estadual e municipal (ex: programa nacional de 1 milhão de telhados FVs), promover a GD FV em edifícios públicos (ex: universidades, escolas, hospitais, parques, bibliotecas e etc) e inserir a mesma em programas habitacionais de interesse social (ex: Minha Casa Minha Vida) trazendo assim, benefícios econômicos e sociais para a população de baixa renda.

Já para análise da viabilidade econômica de empreendimentos fotovoltaicos de diferentes tecnologias (1-10 MW) foram utilizados relevantes índices econômicos, e diversas opções de financiamento, para as oito diferentes configurações de sistemas fotovoltaicas (subsistemas) contidas na proposta do Projeto P&D Jaíba Solar, localizado no norte de Minas Gerais na cidade de Jaíba.

Avaliou-se os custos de investimento, da conexão e os custos operacionais para cada tecnologia. Os custos de investimento (CAPEX) incluem: Módulos FV, Estruturas / seguidores, inversores e transformadores + proteção / eletrocentro, E-BOP, Rede de MT (proporcional para cada subsistema), obra civil: preparação do terreno, cercas, fundações, montagem eletromecânica, custo da conexão à rede da distribuidora, Engenharia, gerenciamento, custo de desenvolvimento.

Além disso, foram analisados dois cenários de custo de investimento:

- **Compra Global:** Equipamentos como módulos fotovoltaicos, inversor, estrutura, caixas de junção, cabos e conectores adquiridos dos fornecedores mais competitivos no mercado internacional, para obter o menor custo possível;

- **Compra Nacional:** Equipamentos como módulos fotovoltaicos, inversor, estrutura, caixas de junção e cabos comprados de fabricantes nacionais, para obter o grau de nacionalização suficiente para se classificar para financiamento BNDES.

Soma-se ainda a inclusão nos cálculos dos custos de O&M (anual), condições de financiamentos, incentivos fiscais e opções de comercialização da energia gerada pela tecnologia fotovoltaica.

Finalmente, foram realizadas as combinações de cenários de custos, incentivos fiscais, opções de comercialização da energia e financiamentos com o intuito de se realizar a análise da viabilidade econômica utilizando as figuras de mérito tais como: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), valor de Tarifa Mínima exigida pelo projeto e o cálculo do fluxo de caixa.

Em relação a viabilidade econômica e financeira (Estudo de Casos) para os diferentes subsistemas destacam-se os seguintes resultados:

- O sistema mais competitivo, dentre os subsistemas previstos para a usina Jaíba Solar, é um sistema de estrutura fixa e inversor centralizado de 500 kVA, cuja competitividade resulta dos custos mais baixos de investimento (inversores, caixa de junção, cabos) resultando da sua escala;
- Entre os sistemas de menor porte (até 100 kW) se destaca o subsistema com seguidor de um eixo norte-sul: O sistema possui um ganho energético de 20% em relação a um sistema com inclinação fixa com o mesmo módulo FV e inversor. O ganho energético do seguidor de dois eixos é de 31%. Já o ganho de energia do ajuste sazonal (manual) é de 5%;
- O sistema fotovoltaico de concentração (CPV) se diferencia dos demais sistemas sem concentração em todas as suas características: uma produção específica 6% inferior, portanto uma eficiência de 29,7% (quase 2x do módulo FV tradicional usado com 15,7%) e um PR (desempenho global) excelente de 87,5% que é 10% superior aos PRs dos sistemas cristalinos convencionais o que reflete o desempenho muito bom em condições de clima quente;
- O impacto médio do incentivo REIDI, benefício que concede a isenção dos impostos PIS-Cofins é de 8,3% em relação ao valor total do investimento;

- O impacto médio do incentivo de isenção de ICMS considerando o uso do NCM “gerador fotovoltaicos” ou das isenções de alguns estados é de 6,8% em relação ao total de investimento;
- O custo de uma usina fotovoltaica adquirida de fornecedores globais é cerca 15% mais barato que um sistema com fornecimento de inversor, módulos, cabos e caixas de junção de fabricação brasileira.

O RELATÓRIO TÉCNICO 11 - ANÁLISE DO MERCADO FOTOVOLTAICO BRASILEIRO (OPORTUNIDADES, DESAFIOS E SUA PROJEÇÃO DE CRESCIMENTO) e o RELATÓRIO TÉCNICO 12 - ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE USINAS FOTOVOLTAICAS NO BRASIL se encontram disponíveis na pasta Entrega 13.

6.2.14 ENTREGA #14 – Avaliação dos impactos sócio-ambientais da instalação destas plantas. Em conjunto com o órgão ambiental responsável, determinar a classe de enquadramento do empreendimento, construindo referência e modelos para futuros licenciamentos

Esta entrega teve como objetivo a avaliação sobre o cenário socioambiental relacionados aos impactos gerados por empreendimentos de geração de energia fotovoltaica no Brasil e especificamente em Minas Gerais. A presente análise aborda também a questão procedimental e prática dos estudos necessários para a regularização e licenciamento ambiental em empreendimentos desta tipologia.

Foi realizado o levantamento completo acerca de todas as resoluções e procedimentos vigentes relacionados a licenciamento e regularização ambiental no Brasil e, mais especificamente, dos estudos necessários para a regularização no estado de Minas Gerais, onde será desenvolvido o projeto de P&D Jaíba Solar.

Após o estudo deste material, procedeu-se com a avaliação de casos de licenciamentos e regularizações de empreendimentos de geração de energia renovável e empreendimentos específicos da atividade fotovoltaica. Com base no licenciamento deste Projetos e de outros projetos no Brasil foram analisados os impactos no Meio Físico, Meio Biótico e Meio Socioeconômico.

No caso do meio físico, conclui-se que para as usinas fotovoltaicas há baixo impacto ambiental, sendo grande parte deles compensados através de medidas mitigadoras. De forma geral, no momento da seleção do local do projeto há a premissa de se adotar locais já degradados e pouco produtivos, como as áreas áridas, pastos ou campos em áreas rurais em desuso, assim, evita-se o conflito de uso com outras atividades, bem como confere maior economia e viabilidade dos projetos.

Os impactos no meio biótico podem ser baixos, ao se optar por uma área que se encontra modificado pela ação do homem e transformado em pastagens. Desta forma os impactos que seriam causados pelo empreendimento já estariam consolidados, uma vez que a área poderia apresentar indivíduos arbóreos isolados, e presença de circulação de veículos e de pessoas.

Em relação aos impactos meio socioeconômicos na região considera-se que na maioria das vezes o mesmo é positivo, destacam-se dentre eles a aquisição de serviços especializados e consultorias, o crescimento do comércio e do setor terciário através da aquisição de materiais, a arrecadação de impostos, tributos e taxas, o aumento da moeda circulante, o aproveitamento de uma fonte de energia limpa e, sobretudo, a contratação de trabalhadores.

Referindo-se aos impactos supracitados, as usinas fotovoltaicas apresentam baixo impacto ambiental. De forma geral, no momento da seleção do local do projeto há a premissa de se adotar locais já degradados e pouco produtivos, como as áreas áridas, pastos ou campos em áreas rurais em desuso, assim, evita-se o conflito de uso com outras atividades, bem como confere maior economia e viabilidade dos projetos.

Desta forma, a estruturação de normas e procedimentos de estudos de impactos ambientais e sociais apropriadas ao desenvolvimento econômico e sustentável de projetos da área de geração de energia proveniente de fontes renováveis, em especial a fotovoltaica, se faz necessária e urgente. Considerando-se a potencialidade brasileira na produção de energia solar fotovoltaica, espera-se que se estabeleça uma padronização e simplificação dos procedimentos ambientais para empreendimentos de produção e geração de energia solar fotovoltaica, com a finalidade de fomentar o investimento no setor, promovendo geração de energia limpa e baixo impacto ambiental e social.

O RELATÓRIO TÉCNICO 13 - AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS SÓCIO-AMBIENTAIS DA INSTALAÇÃO DE PLANTAS FOTOVOLTAICAS se encontra disponível na pasta Entrega 14.

6.2.15 ENTREGA #15 – Plano de Operação e Manutenção

Considerando a configuração do Projeto Executivo definido para a usina solar fotovoltaica Jaíba Solar, foi elaborado um Plano de Manutenção e um Plano de Operação.

O Plano de manutenção abrange a manutenção dos principais equipamentos dentre eles: módulos, inversores, rastreadores, sensores meteorológicos, no-breaks, transformadores, relés, disjuntores e quadros.

Também são incluídos um plano para manutenção da vegetação e limpeza dos módulos, além do dimensionamento do estoque de sobressalentes e a definição do perfil da equipe e número de funcionários necessários para a manutenção.

O Plano de Operação foi desenvolvido de forma que todos os subsistemas operem de forma segura e otimizada, priorizando a geração fotovoltaica contínua e minimizando o impacto de falhas.

Estão no escopo desse plano, procedimentos de operação e monitoramento dos subsistemas que compõem a usina, bem como a equipe técnica e ferramentas necessárias para as operações. Também estão inclusas as atividades de controle administrativo, sequências de manobras para isolação elétrica de ativos chave da usina solar fotovoltaica, além de atividades de pré e pós operação com a previsão de geração e criação de relatórios.

Os planos mencionados acima estão disponíveis na pasta da Entrega 15.

6.2.16 ENTREGA #16 – Produção Técnica Científica

Conforme já mencionado nos itens anteriores, foram desenvolvidos trabalhos técnicos e acadêmicos realizados por membros do projeto, colaboradores, especialistas, pesquisadores e alunos das universidades parceiras, resultando, portanto, em uma grande produção técnica científica.

Seguem abaixo a relação dos pesquisadores:

Pesquisadores da Universidade da Brasília – Finatec

Anésio de Leles Ferreira Filho
Antônio Cesar Pinho Brasil Junior
Claudio Albuquerque Frate
Marco Aurélio Gonçalves de Oliveira
Mario Benjamin Baptista de Siqueira
Rafael Amaral Shayani
Sérgio de Oliveira Frontin

Alunos da Universidade de Brasília

Erico Correia de Alcântara
Eugênia Cornils Monteiro da Silva
Helena Magalhães Mian
Karen Schmidt Almeida
Lázaro Siqueira da Silva
Luan Khrisna Peres Barbosa
Lucas Douglas Nóbrega Coelho
Luis Aramis R. Pinheiro
Marianela Machuca Macias
Mauricio Pinto
Ronaldo Sérgio Chacon Camargos
Thiago Henrique Sanavotto Schmidt

Especialistas da CEI Solar

Lucas Bacha Pereira Horta
Luís Guilherme Monteiro Oliveira
Maria Tereza Diniz Carneiro
Michel Pierre Viloz
Nara Rúbia Dante de Godoy
Rafael Junqueira

Outros especialistas/pesquisadores/alunos

Carlos Augusto Bissochi Jr. (UFU)

Daniel Pereira de Carvalho (Universidade Federal do Triângulo Mineiro)

Gustavo Malagoli Buiatti (Aisol)

Marco Antônio Esteves Galdino (Cepel)

A seguir se apresenta a relação da produção técnica científica. O trabalho completo se encontra em Anexo na Pasta “Produção Técnica Científica”.

1. Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica da Universidade de Brasília**1.1 - Identificação dos Arranjos Tecnológicos com Melhor Custo-Benefício para Produção de Energia Solar Fotovoltaica.**

Autor: Lázaro Siqueira

Orientador: Marco Aurélio Gonçalves de Oliveira

Conclusão: Tese a ser defendida em agosto de 2017.

Resumo

Esse trabalho tem aplicação direta para o Jaíba, para que os arranjos utilizados no Projeto possam ser replicados em outras localidades. Os diferentes arranjos tecnológicos utilizados no Jaíba (painéis fixos, com rastreadores, com concentrador, etc) apresentam diferentes produções de energia de acordo com a localização geográfica em que são instalados. A pesquisa desenvolve um método que permita identificar qual arranjo tecnológico é o mais adequado para cada localidade do país, considerando tanto o recurso solar incidente quanto os custos de aquisição e instalação dos equipamentos.

Conclusões

As conclusões prévias neste trabalho indicam que o melhor sistema fotovoltaico a ser empregado no Brasil é o tipo: “seguidor de dois eixos”. Esse sistema se mostrou como a melhor opção, tanto com relação à produção de energia, quanto de retorno financeiro, em

vinte seis das vinte e sete localidades medidas até o momento, o que corresponde à quase totalidade do território nacional.

2. Dissertações de Mestrado em Engenharia Elétrica na Universidade de Brasília.

2.1 - Análise Regulatória da Participação da Energia Solar Fotovoltaica e Estudo do Melhor Mecanismo de Suporte para Inserir-la na Matriz Elétrica Brasileira.

Autor Helena Magalhães Mian

Banca: Rafael Amaral Shayani (Orientador), Marco Aurélio Gonçalves de Oliveira (Avaliador Interno) e Elder Geraldo Domingues (Avaliador Externo).

Conclusão – 05/2015

Anexo ENT 10 - MESTRADO - HELENA MIAN - MAIO 2015 na pasta da Entrega 10

Resumo

O estudo procura identificar as normas que deram sustentação ao desenvolvimento da energia fotovoltaica no mundo e propor condições de suporte que mais se adequam ao Brasil. O trabalho analisa as formas de incentivo e regulamentação vigentes em vários países do mundo, nos quais a participação da energia fotovoltaica em suas matrizes elétricas ou energéticas já se encontram amadurecidas que no Brasil. O estudo identifica as formas mais comuns de instalações fotovoltaicas no Brasil, bem como propõe sugestões de regulações específicas e mais modernas para a consolidação da energia fotovoltaica no país.

Conclusões

O estudo conclui que as formas mais comuns de instalação de geração fotovoltaicas no país são: a distribuída (através da Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012) e a centralizada, por meio de leilões da ANEEL. O estudo também conclui que a geração centralizada por meio de leilões é o melhor modelo para o Brasil, do ponto de vista de retorno financeiro e que esse modelo também exige menos juros para financiamento que a geração distribuída. No entanto se a taxa de juros para a geração distribuída ficar em torno de 5% a.a. ela passa a ser competitiva com outras formas de geração.

2.2 - Método para a Identificação dos Limites de Geração Distribuída Fotovoltaica que Alteram a Necessidade de Reforços Detectada pelo Planejamento da Expansão de Sistemas de Distribuição de Média Tensão.

Autor Eng. Ronaldo Sérgio Chacon Camargos.

Banca: Rafael Amaral Shayani (Orientador), Jorge Andrés Cormane Angarita (Avaliador Interno) e Hugo Lamin (Avaliador Externo)

Conclusão – 28.07.2016

Anexo ENT 16 ITEM 2.2 na pasta da Entrega 16

Resumo

O trabalho analisa a operação de alimentadores de energia sob a influência da energia fotovoltaica em geração distribuída, calculando os níveis de penetração dessa modalidade de geração e identificando quando tais alimentadores devem ser reforçados.

Conclusões

Como conclusão, o trabalho gerou um método para a identificação desses limites de penetração da geração distribuída fotovoltaica. Limites esses que alteram a necessidade de reforços da rede de distribuição de média tensão, favorecendo um planejamento mais eficiente para a concessionária. Encontrou-se que, apesar das situações críticas para a rede ocorrerem em momentos de máxima demanda da curva de carga, com a implantação da geração distribuída fotovoltaica, isso acontece quando essa geração injeta mais potência na rede, ou seja, nas horas de maior irradiância solar conjugada com o menor consumo de energia.

3. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica da Universidade de Brasília

3.1 - Modelo de Estimativa dos Componentes de Radiação Solar a Partir dos Dados Meteorológicos

Autor: Lucas Douglas Nóbrega Coelho

Banca: Mario Benjamin Baptista de Siqueira (Orientador), Antônio César Pinho Brasil Júnior (Avaliador Interno) e Jorge Andrés Cormane Angarita (Avaliador Externo)

Conclusão: 11/2016

Anexo ENT 16 ITEM 3.1 na pasta da Entrega 16

Resumo

O trabalho parametriza e analisa modelos locais de estimativa mensal e sazonal de irradiação global e irradiação difusa, gerados a partir de dados históricos de medição fornecidos pelo banco de dados do SONDA (Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais) e do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). Foram analisados cinco locais: Brasília-DF, Cuiabá-MT, Palmas - TO, Petrolina-PE e Santa Maria - RS. Os dados foram validados por métodos estatísticos (RMSE; MBE; R2 e coeficiente D de Willmott). Também foi feita uma comparação dos dados obtidos pelo banco de dados e dados medidos nos locais pelo prazo de um ano.

Conclusões

O estudo conclui que os modelos para previsão da radiação solar global e difusa média mensal, bem como os dados de estimativa sazonal expressam alta concordância com os dados medidos. Ressalta-se que os dados para as médias mensais são mais próximos dos valores reais e, portanto, são mais adequados para uso em projetos e simulações. Os modelos com maior índice de concordância foram utilizados para gerar séries de dados de horas de insolação e disponibilizados para uso.

4. Trabalhos de Conclusão de Curso de Engenharia Elétrica da Universidade de Brasília

4.1 - Ferramenta para Estimular o Desempenho de Sistemas Fotovoltaicos com Diferentes Estruturas de Inclinação e Tecnologias – Uma Análise Comparativa do Ganho Proveniente da Utilização de Seguidor de Sol e Concentrador Solar.

Autor: Erico Correia de Alcântara.

Banca: Rafael Amaral Shayani (orientador), Marco Aurélio Gonçalves de Oliveira (Avaliador Interno) e Gustavo Malagoli Buiatti (Avaliador Externo).

Conclusão: 07/2013.

Anexo ENT 16 ITEM 4.1 na pasta da Entrega 16

Resumo

O estudo avalia o desempenho de painéis fotovoltaicos em instalações comerciais, usando painéis planos em diferentes configurações de montagem. O método é aplicado às simulações de vinte cidades brasileiras e quinze estrangeiras, de modo a avaliar a melhor configuração em cada posição.

Conclusões

O trabalho é concluído com uma fórmula como método de comparação do desempenho das configurações estudadas com relação a um sistema de inclinação fixa como base de comparação.

4.2 - Análise Técnico Econômica acerca de Diferentes Sistemas de Geração de Energia Solar Fotovoltaicas com Base no Projeto Jaíba Solar.

Autor: Luan Khrisna Peres Barbosa

Banca: Marcos Aurélio Gonçalves De Oliveira (Orientador), Rafael Amaral Shayani (Avaliador Interno), Lázaro Siqueira (Avaliador Externo)

Conclusão: 15/12/2015

Anexo ENT 16 ITEM 4.2 na pasta da Entrega 16

Resumo

O trabalho propõe métodos de análise de viabilidade técnico-econômica acerca de diferentes arranjos fotovoltaicos, baseados em sistemas presentes no projeto Jaíba Solar. Os sistemas distinguem-se pelos tipos de tecnologia (FV ou CPV), inversor (Central ou *String*), estrutura de suporte dos módulos (fixa ou fixa com inclinação variável) e rastreadores solares (um ou dois eixos).

Conclusões

Para o município de Jaíba, os resultados mostram que os sistemas de tecnologia FV com rastreadores solares de um e de dois eixos apresentaram as melhores relações de

custo-benefício quando comparados aos sistemas FV de estrutura fixa, com base nas premissas e custos adotados neste trabalho específico. O sistema com concentrador solar (CPV) apresentou o pior resultado, além das variações nos parâmetros de simulação mostrarem que os seus custos ainda são altos e que a geração de energia seria melhor em outras localidades. Por fim, mostrou-se que uso de inversores de *string* é mais caro do que o de inversores centrais e que o sistema com estrutura fixa de inclinação variável tem um baixo ganho na relação de custo-benefício comparado à estrutura fixa convencional.

4.3 - Mensuração do Impacto Técnico e Dimensionamento do Reforço de Rede de uma Usina Solar Fotovoltaica Conectada à Rede de Distribuição. Estudo de Caso da Usina Jaíba Solar.

Autor: Karen Schmidt Almeida.

Banca: Rafael Amaral Shayani (Orientador), Marco Aurélio Gonçalves de Oliveira, Cláudio Albuquerque Frate

Conclusão: 15/12/2015

Anexo ENT 16 ITEM 4.3 na pasta da Entrega 16

Resumo

O objetivo desse trabalho é mensurar o impacto da usina de Jaíba Solar na rede de distribuição de energia elétrica da concessionária local. Sua contribuição para a diversificação da matriz energética brasileira e as condições de realização desse modelo de geração no Brasil. No trabalho são apresentados aspectos normativos limitantes do estudo de redes de distribuição destacados no PRODIST, e os fatores que influenciam a geração de uma usina solar fotovoltaica.

É apresentado um procedimento que orienta os estudos de conexão de usinas fotovoltaicas ao sistema elétrico, ocorrendo em modo de regime permanente, o que envolve a análise da rede básica, os impactos gerados pela usina, os possíveis reforços de rede e um breve estudo de custos associados a cada uma das modificações sugeridas.

Conclusões

Foi observado uma forte dependência da irradiação direta normal (DNI) para os sistemas de concentração e um maior desempenho dos sistemas de seguidor solar de dois eixos quando comparados aos outros oito sistemas presentes na usina. A rede de distribuição de energia utilizada na época mostrou-se frágil para a conexão da usina considerando diversos indicadores de qualidade.

5. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Mecânica da Universidade de Brasília

5.1 - Balanço e Payback Time de Carbono de um Sistema Fotovoltaico. Planta Solar Jaíba Solar.

Autor: Mauricio Pinto

Banca: Prof. Mário Benjamim Baptista de Siqueira (orientador), Prof. Claudio Albuquerque Frate (examinador), Prof. Thiago Oliveira Rodrigues (examinador).

Conclusão – 30.07.2016

Anexo ENT 16 ITEM 5.1 na pasta da Entrega 16

Resumo

O estudo teve por objetivo calcular o balanço de carbono e o "payback" da implantação de uma usina solar fotovoltaica em Jaíba-MG, fazendo uso de dados primários da planta solar fotovoltaica. Além disso, foram analisados os impactos do uso da tecnologia fotovoltaica na conversão de energia elétrica e foram gerados cenários alternativos para entender qual seria a melhor opção para a matriz energética brasileira.

Conclusões

Os resultados indicaram que a utilização de painéis fotovoltaicos importados de países com uma matriz energética muito dependente de recursos fósseis não é benéfico para o Brasil e a melhor opção seria a fabricação local dos painéis, de acordo com as premissas utilizadas no desenvolvimento do trabalho.

5.2 - Transferência de Calor em Sistema Heliotérmico - Fotovoltaico

Autor: Thiago Henrique Sanaiotto Schmidt

Banca: Prof. Taygoara Felamingo de Oliveira (Orientador), Prof. Antônio César Pinho Brasil Júnior (Examinador Interno)

Conclusão: 11/2016

Anexo ENT 16 ITEM 5.2 na pasta da Entrega 16

Resumo

O trabalho teve como finalidade o estudo numérico e experimental de um sistema heliotérmico-fotovoltaico CPV-T (do inglês, *Concentrated photovoltaic and thermal*) que consiste em utilizar células fotovoltaicas monocristalinas, resfriadas por um fluido que escoar por dentro do coletor solar, visando aproveitar ao máximo a energia fornecida pelo sol. Foi realizado um estudo numérico de transferência de calor no receptor através da modelagem do sistema célula-fluido para dois modelos diferentes, utilizando um código no software Matlab.

Conclusões

Os resultados numéricos mostraram que o sistema tem melhor eficiência ao ser resfriado pela água ao invés do ar e também tem melhor aproveitamento térmico ao afastar a célula fotovoltaica do vidro, devido a presença de ar confinado entre as mesmas. Foi construído um protótipo do concentrador solar e tal protótipo foi usado para estudos experimentais. Durante os ensaios experimentais, obteve-se 168°C na superfície da célula com aproveitamento térmico do ar de aproximadamente 40%, valores próximos aos calculados numericamente.

6. Informes Técnicos:

6.1 - Projeto Jaíba Solar: Objetivos, Metodologias para Definição do Local de Instalação, Tecnologias e Simulações Computacionais Através do PVSyst.

Autores: Rafael Junqueira, Nara Rúbia Dante de Godoy, Maria Tereza Diniz Carneiro, Michel Pierre Viloz, Luís Guilherme Monteiro Oliveira, Marco Antônio Galdino

V Congresso Brasileiro de Energia Solar - Recife, 31.03 a 03.04.2014

Anexo ENT 16 ITEM 6.1 na pasta da Entrega 16

Resumo

O projeto “Jaíba Solar” é um dos projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) aprovados no âmbito da chamada Nº 013/2011 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), denominada “Arranjos Técnicos e Comerciais para a Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira”. Este projeto tem como um dos objetivos a instalação de uma usina solar de 3MWp na cidade de Jaíba, no estado de Minas Gerais, que contemple diferentes tecnologias fotovoltaicas a fim de se concluir sobre a viabilidade e aplicabilidade técnica e econômica das mesmas no Brasil. Inicialmente, este artigo traz os objetivos gerais do projeto. A seguir é detalhada a metodologia empregada para definição do local da planta, que passou por análise e varredura de dados de irradiação solar oriundos do Atlas Brasileiro de Energia Solar (Pereira et al., 2006). Em seguida, são detalhadas as tecnologias que serão aplicadas na planta, todas elas tecnologias fotovoltaicas, mas com diferenciação quanto à irradiação solar aproveitada (irradiação solar direta ou global) e à estrutura de suporte (fixa, ajustável manualmente ou com rastreador solar em dois eixos). Finalmente, simulações computacionais, através do software PVsyst v6.22, foram realizadas de forma que se obtenha, preliminarmente, a produção mensal e anual de energia para diferentes ângulos de inclinação e a energia específica dos subsistemas da usina com distintas tecnologias e estruturas de suporte.

Conclusões

O aproveitamento da geração solar fotovoltaica no Brasil será testado neste projeto para diferentes tecnologias e aplicações das mesmas. São esperados resultados promissores, que incentivem o uso da energia solar fotovoltaica não só na região escolhida como em grande parte do Brasil, que possui, assim como Jaíba, elevado potencial para o aproveitamento do recurso solar.

A produção de energia adicional dos subsistemas variantes da aplicação tradicional precisará ser analisada à luz do benefício econômico que proverá. Significa dizer que este projeto precisará validar o custo total de cada subsistema *versus* a produção de energia que o mesmo promove. Apenas após entendimento dos custos totais relativos a cada subsistema, o que inclui custo com equipamentos, estruturas civis e balanceamento do sistema, e medição da produção real de energia é que se terá condição de avaliar a maior

ou menor viabilidade econômica de cada uma dessas tecnologias e aplicações nas condições brasileiras, objetivo deste projeto.

A diversidade de tecnologias e configurações da planta solar fotovoltaica em questão fará da mesma um verdadeiro laboratório “a céu aberto”, onde poderão ser comparados e estudados aspectos diversos relativos à tecnologia fotovoltaica. Espera-se que este projeto sirva de grande aprendizado para os participantes e que incentive fortemente o uso da energia solar no Brasil, consolidando o enorme potencial da fonte no país.

6.2 - Mensuração do Impacto Técnico e Dimensionamento do Reforço de Rede de uma Usina Solar Fotovoltaica Conectada à Rede de Distribuição. Estudo de Caso da Usina de Jaíba Solar.

Autores: Karen Schmidt Almeida, Rafael Amaral Shayani

XXII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica – SENDI – Curitiba 2016

Anexo ENT 16 ITEM 6.2 na pasta da Entrega 16

Resumo

Este artigo objetiva determinar os impactos técnicos e o dimensionamento do reforço de rede para a usina de Jaíba Solar, com capacidade instalada de 3 MWp. A partir de um procedimento metodológico que auxilia nos estudos de conexão de uma usina solar fotovoltaica à rede de distribuição. O procedimento é baseado numa análise recursiva (PDAC), que determina a hora crítica de operação do sistema, após a conexão da usina, e os pontos de fragilidade que necessitam intervenção. Após a detecção dos pontos críticos é feito o levantamento de soluções e a simulação das novas configurações, a fim de determinar as perdas técnicas dos novos sistemas. Foram construídas seis propostas para a superação de equipamentos e controle de tensão. Dentre as configurações simuladas a mais eficiente foi o recondutoramento de parte do trecho entre a usina e a subestação de distribuição. O trecho recapitado engloba condutores superados e não superados. A substituição de ativos não superados resultou numa redução de perdas técnicas do sistema e geraram um custo total (perdas e custos de novos ativos) inferior ao caso em que

foi considerado, apenas, a substituição de ativos superados. O aporte inicialmente superior é rapidamente compensado pela redução de perdas técnicas do sistema.

Conclusões

Os estudos de conexão de uma usina solar fotovoltaica devem considerar a característica intermitente da fonte, simulando o impacto ao longo do dia. O dimensionamento e adequação da rede deve considerar os pontos de maior fragilidade do sistema, propondo alterações que visem o menor custo global.

Foi possível demonstrar que para o caso do Jaíba, nem o menor custo inicial, nem a configuração que gerou a maior redução de perdas se apresentou como a mais eficiente do ponto de vista do custo global, ainda que tenham sido realizadas algumas aproximações para a demonstração da prospecção econômica. A metodologia proposta pode ser ampliada para maior obtenção de detalhes e precisão, e é possível ainda considerar o fator de crescimento de carga. No trabalho, foi estimada a melhor configuração para a conexão da usina e ainda os impactos das perdas sobre as tensões de operação do sistema, sendo que o Caso 2 apresentou o melhor desempenho ao longo prazo. Os dados apresentados são uma prospecção do impacto que a usina do Jaíba Solar gerará na rede de distribuição, se concebida com a configuração apresentada.

6.3 - Convecção Natural em Painéis Fotovoltaicos.

Autores: Luis Aramis R. Pinheiro, Antonio Pinho Brasil Junior, Eugênia Cornils Monteiro da Silva.

Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. CONEM 2016. Fortaleza 21 a 25.08.2016

Anexo ENT 16 ITEM 6.3 na pasta da Entrega 16

Resumo

A eficiência de geração de energia elétrica num sistema fotovoltaico é influenciada pela temperatura no qual o módulo se encontra e, portanto, vários aspectos são responsáveis pela variação dessa temperatura, como as condições ambientais, propriedades físicas do sistema e a sua capacidade de trocar calor com o meio. Esse trabalho procura estimar através de uma simulação numérica via CFD como a ocorre essa

troca de calor nas condições de convecção natural em módulos fotovoltaicos. As respostas obtidas são comparadas com os resultados de equações empíricas tradicionalmente apresentadas na literatura, onde o número de Nusselt é função do Número de Rayleigh. Ocorre um grau de ajuste razoável nos resultados, onde também são observadas as principais características físicas do escoamento em placas inclinadas.

Conclusões

O modelo de troca térmica fornece uma avaliação adequada para previsão da magnitude dos termos do balanço térmico para casos em que o tipo de troca de calor que está sendo avaliada é a convecção.

O estudo de simulação numérica conduzido para o escoamento turbulento 3D sobre um conjunto de células solares de um painel fotovoltaico à temperatura constante utilizando o termo de força de flutuação de Boussinesq forneceu resultados físicos compatíveis com a física do problema. É foi utilizando ainda, no contexto de modelagem da turbulência, a descrição do escoamento médio formulado pelas equações de conservação da massa, quantidade de movimento e energia.

Nessa simulação foram obtidos campos de temperatura no escoamento, permitindo calcular as trocas de calor nas superfícies inferior e superior do módulo. E os resultados obtidos pela simulação CFD corroboram as diferentes observações do fenômeno publicadas na literatura.

6.4 – Avaliação de Modelos de Estimativa da Radiação Global e Difusa para Diferentes Cidades do Brasil.

Autores: Lucas Douglas Nóbrega Coelho, Mario Benjamim Baptista de Siqueira
XXIII Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica – XXIII CREEM
Teresina 08 a 12.08.2016
Anexo ENT 16 ITEM 6.4 na pasta da Entrega 16

Resumo

O conhecimento da disponibilidade temporal da radiação solar em determinada região é indispensável para qualquer projeto que envolva energia solar. Devido ao alto custo das medições de radiação solar, em virtude dos equipamentos de instrumentação, os modelos de estimativa da radiação solar em função de dados mais fáceis de serem medidos se tornaram uma alternativa viável e confiável. O trabalho apresenta modelos de estimativa da radiação global média mensal e média sazonal, e modelos de estimativa para a radiação difusa média mensal para três cidades brasileiras, Brasília, Palmas e São Luís. Os modelos para a estimativa da radiação global são parametrizados a partir da equação de Angström-PreScott e os modelos para estimativa da radiação difusa a partir de uma correlação polinomial encontrada na literatura entre o índice de claridade e a parcela difusa de radiação. Na modelagem realizada, utilizou-se dados históricos do banco de dados do SONDA (Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais) e do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). A validação dos modelos foi realizada entre a confrontação dos resultados estimados com dados reais, além da análise estatística dos indicadores RMSE, MBE, r^2 e d de Willmott. Os parâmetros estatísticos analisados mostram que ambos os modelos possuem uma boa concordância com valores reais.

Conclusões

No presente trabalho foram apresentados modelos lineares de estimativa mensal e sazonal da radiação global para Brasília, Palmas e São Luís, e modelos polinomiais de terceiro grau de estimativa mensal da radiação difusa para as cidades de Brasília e Palmas, com base em dados históricos de insolação e radiação retirados do SONDA e do INMET. Os modelos de radiação global e radiação difusa apresentam altos coeficientes de determinação o que indica um bom ajuste de ambos os modelos.

Os parâmetros estatísticos analisados mostram que ambos os modelos de estimativa (radiação global mensal, radiação global sazonal ou radiação difusa mensal) possuem uma boa concordância com valores reais, apesar de ambos os modelos superestimarem a radiação, segundo o parâmetro estatístico MBE.

A possibilidade de parametrizar modelos locais para estimar a radiação global e suas componentes é algo importante para a análise de projetos de geração de energia solar em regiões que não possuem um banco de dados específico, pois estes modelos

podem ser utilizados em regiões climaticamente semelhantes, gerando dados difíceis de serem medidos (radiação global e difusa) a partir de dados facilmente medidos (horas de insolação).

A falta de um banco de dados único de insolação e radiação, e melhores dados para a análise comparativa dos valores estimados e valores reais podem ter influenciado os resultados. Uma alternativa seria a medição destas variáveis em um mesmo local, para minimizar os erros.

Esses modelos, juntamente com dados de longo prazo podem ser utilizados para análise de séries meteorológicas históricas para avaliação de possíveis tendências de alterações em escalas de tempo compatíveis com mudanças climáticas. Isso será realizado para sítios de interesse como, por exemplo, de Jaíba onde um projeto estratégico da ANEEL está ocorrendo.

6.5 – Análise de Modelos de Previsão da Radiação Global e Difusa para Diferentes Cidades do Brasil

Autores: Lucas D. N. Coelho, Mario B. B. de Siqueira

XIX Congresso Brasileiro de Meteorologia – CBMET 2016.

João Pessoa, PB – 07 a 11/11/2016.

Anexo ENT 16 ITEM 6.5 na pasta da Entrega 16

Resumo

O conhecimento da variabilidade temporal da radiação solar em determinada região é indispensável para qualquer projeto que envolva energia solar. Devido ao alto custo das medições de radiação solar, em virtude dos equipamentos de instrumentação, os modelos de estimativa das componentes de radiação solar em função de dados mais fáceis de serem medidos se tornaram uma alternativa viável e confiável. O objetivo do trabalho é parametrizar e analisar modelos locais de estimativa mensal e sazonal da radiação global e da radiação difusa gerados a partir de dados históricos de horas de insolação, foram analisadas quatro cidades brasileiras de regiões e climas diversos: Brasília, Cuiabá, Palmas e Petrolina.

Conclusões

Os parâmetros estatísticos analisados mostram que ambos os modelos de estimativa (radiação global ou radiação difusa) possuem uma boa concordância com valores reais, não encontrando diferenças significativas entre as análises mensais e as sazonais. A possibilidade de parametrizar modelos locais para estimar a radiação global e suas componentes por meio de dados meteorológicos mais fáceis de serem medidos e com dados históricos de longo prazo é algo importante para a análise de projetos de geração de energia solar em regiões com pouca estrutura para medições meteorológicas.

7. Trabalhos Apresentados para o VI CBENS

Foram aprovados os seguintes informes técnicos para apresentação no VI CBENS (Congresso Brasileiro de Energia Solar) realizado no período 03 a 07.04.2016 em Belo Horizonte:

7.1 - Dynamical Modelling and Simulation of PV-Solar Pannels

Autor: Antonio C.P. Brasil Junior

Apresentado na Revista Brasileira de Energia Solar – Ano 7 Volume VII Número 1 – Julho de 2016 - Informe também apresentado no VI CBENS

Anexo ENT 16 ITEM 7.1 na pasta da Entrega 16

Resumo

This paper explores a dynamical model of the thermal and electrical behavior of solar photovoltaic module. A detailed heat transfer model is implemented, coupled to an electrical model that takes into account all effects of cell temperature dependence in the variables of a single diode equivalent circuit. Radiation and convection heat transfer are considered, as well as the effect of thermal inertia. Simulations for the unsteady power output are obtained for typical variations of irradiation (ramps and valleys) and other real climatic inputs. A comparison between the dynamical and steady state models is discussed and the main differences for the temperature and power levels have shown the framework of applicability of the proposed model.

Conclusões

The results for partially cloudy day have shown the same behavior of the idealized inputs previously presented. For slightly ramp condition, with slow variation late in the morning and close to the sunset, the results for the complete model for the steady-state results and for dynamical model are equivalent. In those conditions the module temperature and the power do not have any important difference. On the other hand, close to the solar noon, when the cloud cover is important and the income radiation is strongly influenced by the cloud traveling, the temperature of the module and the electrical power have important variation, and on those condition the dynamical model presents a gain in the accuracy of the results. The difference for the power considering 15 minutes intervals of averaging for converted energy do not justify the use of the more expensive dynamical model – the difference in the integral of the energy in one hour, for instance, is not too important. It is mainly justified by the strategy to the use of MPPT electronics control that minimize the difference between the power converted on different levels of module temperature, with differences up to 5 degrees. On the other hand, if the fast variations have to be used to determine the control strategy of the modules (and the strings), the dynamical approach has to be considered, in order to guarantee a good accuracy in the electrical power.

7.2 - Desenvolvimento de Ferramenta Computacional para a Estimativa da Produção de Energia Elétrica Através de Sistemas Fotovoltaicos – Software Jaíba Solar.

Autores: Lucas Bacha Pereira Horta (CEI), Gustavo Malagoli Buatti (Alsol), Luis Guilherme Monteiro Oliveira, Marco Antônio Esteves Galdino (Cepel), Antônio Cesar Pinho Brasil Junior (UnB)

Anexo ENT 16 ITEM 7.2 na pasta da Entrega 16

Resumo

O crescimento da energia solar fotovoltaica no país torna-se fundamental a utilização de softwares para o desenvolvimento de projetos, tanto para grandes usinas solares (para o atendimento aos recentes leilões) quanto para pequenos geradores através da geração distribuída. Estes softwares auxiliam o projetista na realização do dimensionamento dos sistemas bem como na previsão da energia gerada pelo mesmo e

assim, obter uma perspectiva do tempo de retorno do investimento de forma a concretizar ou não o empreendimento solar. Neste trabalho, é apresentado o software Jaíba Solar, versão1, que é uma ferramenta computacional desenvolvida no intuito de gerar informações energéticas para a realização da pré-viabilidade de projetos fotovoltaicos facilitando ao projetista analisar, de forma prévia, a geração de energia de um sistema, para qualquer localidade brasileira, e assim, tomar decisões para viabilização do mesmo. Dessa forma, foram estudados e implementados no software diversos modelos matemáticos, e suas incertezas, e realizadas simulações e comparações com os resultados gerados pelo software PVsyst 6.24.

Conclusões

Este artigo teve como principal objetivo apresentar, o software “Jaíba Solar”, que é uma ferramenta computacional desenvolvida no intuito de gerar informações energéticas para a realização da pré-viabilidade de projetos fotovoltaicos, para qualquer localidade brasileira, facilitando ao projetista analisar, de forma prévia, a geração de energia de um sistema, e assim, tomar decisões para viabilização do mesmo.

As simulações realizadas com o software desenvolvido e seus resultados energéticos através das figuras de mérito técnico, ou seja, rendimento global do sistema (PR) e energia específica (*Yield*), em base anual, foram satisfatórios, em um primeiro momento, quando comparados com os resultados encontrados, para a mesma configuração do sistema, com o software PVsyst 6.24 apresentando valores de desvio padrão anuais baixos para os dois parâmetros analisados.

Porém, foi possível observar que o *Yield* mensal resultante, principalmente para os meses de dezembro e janeiro / de maio a julho os desvios padrões foram mais acentuados, acima de 10%. Tal fato pode ocorrer como já constatado por estudos realizados por Yates e Hibberd (2010), Podewills (2011) e Axaopoulo et al. (2014) devido as diferentes incertezas e perdas que cada um dos softwares consideram em suas simulações, sendo difícil de padronizar todas elas, bem como na utilização de diferentes modelos matemáticos, que geram distintas incertezas, e, portanto, gerando diferentes resultados para a estimativa da produção de energia através de um sistema fotovoltaico.

Finalmente, é importante salientar que o software Jaíba Solar está em desenvolvimento e, portanto, melhoras e a inclusão de novos recursos e cálculos, além de comparações e validações, serão realizadas de forma a obter um melhor retorno nos resultados gerados.

7.3 - Estado da Arte dos Métodos para a Caracterização de Módulos e Arranjos Fotovoltaicos.

Autores: Daniel Pereira de Carvalho (Universidade Federal do Triângulo Mineiro), Carlos Augusto Bissochi Jr. (UFU), Gustavo Malagoli Buatti (Alsol), Luis Guilherme Monteiro Oliveira, Marco Antônio Esteves Galdino (Cepel), Antônio Cesar Pinho Brasil Junior (UnB)
Anexo ENT 16 ITEM 7.3 na pasta da Entrega 16

Resumo

A curva característica corrente x tensão (I-V) de módulos e arranjos fotovoltaicos deve ser continuamente monitorada por diversas razões. Uma destas razões é determinar o ponto de operação de potência máxima (maximum power point – MPP, em inglês) nas condições reais de operação e, por meio de extrapolação, verificar se a potência nominal instalada corresponde às especificações acordadas em contrato. Além disso, tal informação pode ser usada como ferramenta de manutenção e detecção de inconformidades ou falhas no sistema. Atualmente, o estado da arte apresenta vários métodos tradicionais de caracterização de curvas I-V com diferentes implementações. Este trabalho realiza um resumo, de forma objetiva, das características técnicas dos métodos e topologias de circuitos tradicionais comumente utilizados para realizar a caracterização de módulos e arranjos fotovoltaicos.

Conclusões

Este artigo apresentou e discutiu diferentes métodos e topologias de circuitos elétricos/ eletrônicos utilizados na caracterização de curvas I-V de arranjos fotovoltaicos (sete métodos com algumas variações para cada um deles). Entre as principais características de cada topologia foi discutido a confiabilidade, custo, aplicabilidade “online”, com o arranjo em operação, ou “off-line”, com o arranjo desconectado de conversores eletrônicos de potência conectados ou não à rede elétrica, além da

necessidade ou não de componentes adicionais em conversores já existentes (métodos invasivos ou não).

Após a revisão do estado da arte conclui-se que atualmente existe uma gama de métodos e topologias que podem ser aplicados no desenvolvimento de equipamentos portáteis, para realização de medições periódicas em campo, assim como existem métodos que podem e devem ser implantados na maioria dos inversores fotovoltaicos presentes no mercado atual, possibilitando a caracterização de curvas I-V em tempo real e com alto valor agregado em termos de funcionalidades adicionais às já comumente existentes.

7.4 - Correlação e Análise Estatística de Dados Solarimétricos Através de Imagens de Satélite e Estação Solarimétrica para a Região da Cidade de Jaíba – MG

Autores: Lucas Bacha Pereira Horta (CEI), Luis Guilherme Monteiro Oliveira, Marco Antônio Esteves Galdino (Cepel), Antônio Cesar Pinho Brasil Junior (UnB)

Anexo ENT 16 ITEM 7.4 na pasta da Entrega 16

Resumo

Neste trabalho, é apresentada a correlação e análise estatística de dados solarimétricos através de informações provenientes de estação solarimétrica e de imagens de satélite (banco de dados) para a cidade de Jaíba-MG de forma a demonstrar as suas diferenças e vantagens na utilização de ambas as bases de dados. Este estudo proporcionará um melhor aproveitamento do recuso solar na localidade, e formação de banco de dados de qualidade, onde uma usina solar fotovoltaica com capacidade instalada de 3 MWp, com diferentes tecnologias, será instalada e conseqüentemente, obter uma melhor estimativa da produção de energia elétrica.

Conclusões

Este artigo teve como principal objetivo correlacionar dados solarimétricos, através de informações provenientes de estação solarimétrica e imagens de satélite, e analisá-los, estatisticamente, de forma a identificar suas variações e vantagens e assim, ter um maior conhecimento do potencial de energia solar da região de Jaíba-MG para sua melhor estimativa da produção na usina solar fotovoltaica Jaíba Solar, que será construída, e

também para a formação de um banco de dados confiável para a localidade. Para isso, foram realizadas regressões lineares entre os dados das duas fontes e determinados seus coeficientes de correlação (R^2) e desvios padrões (σ), sendo que os dados para o parâmetro GHI mostraram uma boa correlação, com R^2 da ordem de 0,83 e desvio padrão de 68,5 W/m², e os dados para DNI e DIF apresentaram R^2 similares mostrando que houve uma correlação média entre os dados.

Para a figura de mérito RMSE, GHI apresentou um valor de 88,4 Wh/m², comprovando a boa correlação entre os dados das duas fontes para este parâmetro, e para DNI e DIF apresentaram valores da ordem de 134,6 Wh/m² e 62,2,Wh/m² respectivamente. Já o parâmetro MBE, os dados para GHI, DNI e DIF, em média, resultaram 8,4 Wh/m², 5,5 Wh/m² e 0,3 Wh/m², respectivamente, ou seja, as informações da estação solarimétrica estão um pouco acima dos dados fornecidos pelo SolarGIS, portanto, apresentando uma boa reciprocidade.

Finalmente, as duas fontes (imagens de satélite e estação) apresentam diferenças as quais podemos destacar: os métodos utilizados para a aquisição de dados de campo representam medições pontuais (“pin-point measurements”, do inglês) na superfície da Terra, já os dados por satélite, incluem uma unidade de área, tipicamente na resolução de um “pixel” de seus sensores portanto, e, devido a essa natureza, ambas as abordagens fornecem resultados distintos sendo que as diferenças são refletidas em dados de séries temporais, mas diminui com a agregação dos dados ou média. No geral, os modelos de satélite-irradiância fornecem dados de cobertura globais com qualidade razoável sendo que os conjuntos de dados contínuos superam as questões problemáticas de interpolação / extrapolação de dados de medição de campo (estação meteorológica). Por outro lado, há uma grande necessidade de se realizar e obter medidas em campo de alta qualidade, que registram, com grande precisão, as condições solares locais ajudam a validar / adaptar os modelos de satélites. Dessa forma, ambas as fontes de dados são complementares e apresentam vantagens que potencializam a análise do recurso solar na localidade, apesar de ambos também possuírem limitações.

7.5 - Modelos de Estimativa da Radiação Global em Função da Razão de Insolação e da Radiação Difusa em Função do Índice de Claridade para a Cidade de Brasília.

Autores: Lucas Douglas Nóbrega Coelho (UnB), Mario Benjamin Baptista de Siqueira (UnB).

Anexo ENT 16 ITEM 7.1 na pasta da Entrega 16

Resumo

O conhecimento da disponibilidade temporal da radiação solar em determinada região é indispensável para qualquer projeto que envolva energia solar, pois para um bom dimensionamento de um conjunto gerador é fundamental o conhecimento local da radiação. Devido ao alto custo das medições de radiação solar, em virtude dos equipamentos de instrumentação, os modelos de estimativa da radiação solar em função de dados mais fáceis de serem medidos se tornaram uma alternativa viável e confiável. O trabalho apresenta um modelo para a estimativa da radiação global média mensal em função da razão de insolação e do índice de claridade utilizando uma equação de Angström-Prescott e um modelo para a estimativa da radiação difusa a partir de uma correlação polinomial. Na modelagem realizada, utilizou-se dados de um período de três anos (2011 a 2013) do banco de dados do SONDA (Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais) e do InMET (Instituto Nacional de Meteorologia). A validação dos modelos foi realizada entre a confrontação dos resultados estimados com dados reais para o ano de 2014 e com resultados da literatura, além da análise estatística dos indicadores RMSE (erro médio quadrático), MBE (desvio das médias), r^2 (coeficiente de determinação) e de Willmott. Os parâmetros estatísticos analisados mostram que ambos os modelos de estimativa (radiação global ou difusa) possuem uma boa concordância com valores reais. Os resultados obtidos são próximos de resultados encontrados a partir de modelos da literatura.

Conclusões

No presente trabalho foram apresentados um modelo linear de estimativa mensal da radiação global e um modelo polinomial de terceiro grau de estimativa mensal da radiação difusa para a cidade de Brasília, com base em dados históricos retirados do SONDA e o InMET, de insolação e radiação. O modelo de radiação global apresenta coeficiente de determinação acima de 90% de correlação, já no de radiação difusa este coeficiente é em torno de 97%, o que indica um bom ajuste de ambos os modelos.

Os parâmetros estatísticos analisados mostram que ambos os modelos de estimativa (radiação global ou difusa) possuem uma boa concordância com valores reais, apesar de ambos os modelos superestimarem a radiação. Os resultados obtidos são próximos de resultados encontrados a partir de modelos de outros autores, o que indica uma coerência nos valores encontrados e apresentados.

A falta de um banco de dados único de insolação e radiação, e melhores dados para a análise comparativa dos valores estimados e valores reais podem ter influenciado os resultados. Uma alternativa seria a medição destas variáveis em um mesmo local, para minimizar os erros.

Esses modelos, juntamente com dados de longo prazo podem ser utilizados para análise de séries meteorológicas históricas para avaliação de possíveis tendências de alterações em escalas de tempo compatíveis com mudanças climáticas. Isso será realizado para sítios de interesse como, por exemplo, de Jaíba onde um projeto estratégico da ANEEL está ocorrendo.

7.6 - Análise Comparativa do Ganho de Sistemas Fotovoltaicos com Seguidores de Sol e Concentrador Solar em Relação a Sistemas Fixos

Autores: Erico Correia de Alcântara (UnB), Rafael Amaral Shayani (UnB), Marco Aurélio Gonçalves de Oliveira (UnB)

Anexo ENT 16 ITEM 7.6 na pasta da Entrega 16

Resumo

O cálculo de desempenho de um sistema fotovoltaico é um estudo complexo que envolve muitas variáveis, a maioria de natureza estocástica. Este trabalho utiliza o modelo da Sandia disponibilizado pelo PV Performance Modeling Collaborative (PVPMC) para realização dos cálculos de desempenho de sistemas com diferentes inclinações, com seguidor de sol e com a utilização de concentradores de sol. O cálculo é realizado para 4 sistemas em 20 cidades diferentes, e o ganho relativo de cada sistema em relação à solução clássica (painéis de silício inclinados no ângulo da latitude) é apresentado.

Conclui-se, a partir dos dados gerados, haver correlação entre os ganhos dos sistemas com seguidor e a relação da irradiação direta normal e irradiação global horizontal.

Conclusões

A grande vantagem na utilização de CPV é o suposto custo inferior de espelhos e lentes em relação à célula fotovoltaica. No entanto, isto não é observado na prática. O preço de aquisição de painéis fotovoltaicos caiu drasticamente nos últimos anos, enquanto o preço dos componentes para construção de concentradores não apresentou grandes mudanças.

Outro problema que afeta o custo de CPV é a dificuldade em atingir grande escala de mercado, por conta das restrições de local para adequada utilização. Por se tratar de um trabalho conceitual, os resultados obtidos deverão ser validados futuramente, a partir da comparação com dados reais de desempenho de sistemas similares.

7.7 - Método para Análise Comparativa dos Impactos Técnicos da Geração Distribuída Fotovoltaica Concentrada e Pulverizada

Autores: Ronaldo Sérgio Chacon Camargo (UnB), Marco Aurélio Gonçalves de Oliveira (UnB), Rafael Shayani (UnB)

Anexo ENT 16 ITEM 7.1 na pasta da Entrega 16

Resumo

A publicação da Resolução Normativa 482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) fez com que os estudos de impactos técnicos na rede de distribuição necessitassem de uma mudança de enfoque, pois agora a instalação de geração distribuída (GD) deixa de ser definida pela concessionária e passa a ser definida pelos consumidores. Nesse contexto, o presente artigo propõe um método para análise comparativa de dois tipos de geração distribuída fotovoltaica, a concentrada e a pulverizada. O método proposto é aplicado em uma rede radial de distribuição e os resultados são apresentados e discutidos.

Conclusões

Quando se comparam os impactos técnicos causados por uma Geração Distribuída Fotovoltaica Concentrada (GDFVC) com os impactos gerados por uma Geração Distribuída Fotovoltaica Pulverizada (GDFVP) equivalente, isto é, que produz a mesma quantidade de energia, percebe-se que há diferenças que devem ser consideradas em um estudo do tipo.

Viu-se que uma Geração Distribuída Fotovoltaica (GDFV) mais concentrada pode causar mais impactos que uma GDFV pulverizada na rede de distribuição, pois além levar trechos do alimentador à sobrecarga, provoca maiores aumentos de tensão. E que, quando se faz uma comparação da intensidade dessa influência no desempenho da rede, nota-se que são superiores àqueles causados pela GDFVP.

Sabe-se que a alteração no funcionamento dos alimentadores causada pela GDFV depende da potência e da localização na rede. Sendo que quando se instala uma determinada potência de GDFV em um único ponto, por exemplo parques, estacionamentos, hipermercados, estádios, etc, esta causa mais impactos do que quando se instala a mesma potência de GDFV distribuída ao longo da rede de distribuição.

E, finalmente, a disseminação da GDFV está ficando cada vez maior devido ao maior acesso da população à tecnologia e, com os aumentos nas tarifas de energia, esta tecnologia passa a se tornar uma excelente alternativa financeira de investimento.

7 CONCLUSÃO

Este Projeto teve como objetivo principal a inserção da tecnologia fotovoltaica no Brasil e o desenvolvimento de conhecimento tecnológico relacionado a energia fotovoltaica, contribuindo para a diversificação da matriz energética brasileira.

O Projeto foi bem-sucedido no alcance dos objetivos esperados através do desenvolvimento de conhecimento acadêmico e prático, através da análise de diferentes tecnologias e estudo da sua aplicabilidade no país, capacitação técnica e profissional, e identificação dos principais gargalos existentes para a ampliação da fonte solar na matriz energética brasileira, além da proposição de melhorias no âmbito de políticas públicas e incentivos para a fonte solar.

Entende-se que apesar de não ter sido possível a construção da planta fotovoltaica no Projeto apresentado e obter, portanto, os resultados referentes a sua operação, os principais objetivos foram atendidos através dos projetos de engenharia, metodologias elaboradas, estudos realizados com objetivo de promover a tecnologia no Brasil, a capacitação profissional e acadêmica, as contribuições de ordem ambiental e regulatória, a divulgação da tecnologia no âmbito do estado de Minas Gerais, especialmente, e o desenvolvimento e construção do protótipo da caixa de junção inteligente.

A caixa de junção inteligente desenvolvida no âmbito deste Projeto representa significativo avanço tecnológico no país. Além de ainda não existir fabricação nacional do equipamento, o protótipo desenvolvido utilizou técnicas modernas de modelagem, permitindo redução do número de componentes utilizados nos equipamentos tradicionais. Este equipamento pode representar importante inserção de produto brasileiro competitivo no mercado mundial. Recomenda-se fortemente o desenvolvimento da fase seguinte de desenvolvimento deste produto.

Importante ressaltar que as metodologias de projeto básico e executivo, de análise de viabilidade e de malha de aterramento, além do inventário das áreas de Minas Gerais propícias à instalação de parques fotovoltaicos, desenvolvidas no Projeto representam benefícios econômicos relevantes para as empresas participantes, que proporcionarão redução de custo no desenvolvimento de futuros projetos fotovoltaicos.

Outro importante resultado trazido pelo Projeto diz respeito a composição e arranjos contratuais possíveis e viáveis para este tipo de projeto de P&D. Os grandes desafios administrativos e jurídicos enfrentados por este Projeto devem ser utilizados para simplificação pelas empresas de processos relacionados a projetos de P&D e, inclusive, utilizados pela Aneel para recomendação em futuras Chamadas Estratégicas.

Neste sentido, cabe mencionar que a não construção da usina se deu em maior parte às decisões externas ao escopo e condução técnica do Projeto, como a necessidade de licitação dos equipamentos para usina via a Lei 8.666, que institui normas para licitações e contratos da Administração Pública e dá outras providências.

Além disso, a indefinição na Chamada Estratégica sobre como tratar a propriedade e destinação da planta fotovoltaica resultante do projeto, que teria inclusive contrapartida privada e iria requerer serviços de operação e manutenção ao longo de sua autorização, resultou em grandes debates internos às empresas participantes, atrasando os arranjos contratuais entre as mesmas e a execução das atividades de pesquisa. Dessa forma, recomenda-se que em futuras Chamadas Estratégicas propostas pela Aneel que tenham como resultado ativos de geração de energia seja declarado de forma explícita por esta Agência o tratamento que deverá ser dado ao ativo e a forma de remuneração do capital privado empregado.

Destaca-se, ainda, a importância da agilidade nas tomadas de decisões por empresas participantes de projetos de P&D e nos processos de contratações, de forma a se viabilizar os Projetos de P&D, e análise referente a necessidade de licitação nos termos da Lei 8.666 para estes projetos, os quais se referem a tecnologias específicas, novas e em grande parte importadas.

Os projetos técnicos desenvolvidos, os processos licitatórios realizados e a participação de entidades internacionais no Projeto, permitiram a conclusão de análise de viabilidade econômica de usinas fotovoltaicas para inserção desta fonte na matriz brasileira. A conclusão leva à necessidade e importância da promoção de leilões públicos, incentivos fiscais e de financiamento para a tecnologia fotovoltaica. O Projeto conclui, ainda, pela necessidade de melhorias nos processos de licenciamento ambiental, uma vez que o mesmo pode ser mais simplificado e adaptado para a realidade de cada Projeto.

Dessa forma, os objetivos idealizados pela Chamada 013, com exceção da construção da usina fotovoltaica, foram atendidos em sua plenitude, contribuindo de forma significativa para a capacitação tecnológica e profissional, a divulgação da energia solar no país e abrindo caminhos para inserção dessa fonte na matriz energética brasileira.

8 INFORMAÇÕES FINAIS

Produto principal previsto foi alcançado ou superado:

Sim

Especificação Técnica do produto principal obtido:

São três os principais produtos deste projeto: (i) o desenvolvimento de um produto brasileiro, a caixa de junção inteligente, com tecnologia inovadora a nível mundial e com capacidade de competição mundial; (ii) a capacitação técnica especializada para profissionais acadêmicos e de empresas na análise de viabilidade de usinas fotovoltaicas, desenvolvimento de projeto básico e executivo, apresentando as melhores práticas mundiais utilizadas, metodologia de contratação, construção e operação desse tipo de usina, adaptado às condições brasileiras; e (iii) sugestões de aprimoramento regulatório e ambiental. . Todos os três produtos com objetivo de incentivar e facilitar a inserção da fonte solar na matriz energética brasileira.

Técnica prevista foi implementada:

Não

Justificativa pela não implementação da técnica prevista:

As pesquisas desenvolvidas e apresentadas seguiram rigorosamente a técnica prevista originalmente.

Entretanto, previa-se originalmente a construção de uma usina solar de 3MW e, através dela, realizar pesquisas direcionadas à sua operação e manutenção. Como a usina não pôde ser construída, esta etapa do projeto não pôde ser concluída, não tendo os recursos previstos para isso sendo aplicados.

A razão para não construção da usina foi o atraso na configuração jurídica necessária ao desenvolvimento do projeto e à operação da usina uma vez concluído o projeto de P&D.

Descrição sucinta da técnica empregada:

Foram desenvolvidos projetos de engenharia, pesquisas referentes a viabilidade econômica dos projetos e suas principais variáveis, estudos de marcos regulatórios, um protótipo da caixa de junção inteligente e a elaboração de software para geração de energia.

Aplicabilidade prevista foi alcançada ou superada:

Sim

Descrição, sucinta, dos resultados dos testes de funcionalidade do produto principal e suas restrições:

Os testes desenvolvidos tiveram como objetivo principal o avanço nas pesquisas. Para desenvolvimento da caixa de junção inteligente foram feitos testes em laboratórios, e posteriormente em uma usina fotovoltaica. No caso das pesquisas referentes aos sistemas de concentração foram feitos testes no sistema CPV-T na universidade de Brasília.

Descrição da abrangência de aplicação do produto principal e suas restrições:

Os produtos desenvolvidos neste Projeto têm abrangência nacional, uma vez que as metodologias desenvolvidas, o inventário de áreas propícias à instalação de usina solares, o software desenvolvido que permite de maneira simples a consulta sobre vocação solar no território brasileiro, a análise de viabilidade econômica de usinas no país, proporcionam conhecimento prático e utilizável para todo investidor de usina fotovoltaica no Brasil. Além disso, para as empresas e universidades participantes do Projeto, as capacitações tecnológicas e profissionais obtidas através do Projeto proporcionaram a estas grande avanço e diferencial competitivo no mercado. Destaca-se, ainda, a abrangência mundial da caixa de junção inteligente desenvolvida que pode se tornar equipamento mais competitivo do que as tecnologias existentes.

Descrição do âmbito de aplicação do produto principal e suas restrições:

Os resultados encontrados com a Pesquisa podem ser aplicados a diferentes agentes envolvidos na promoção da tecnologia fotovoltaica. Com base nas metodologias desenvolvidas, é possível se otimizar projetos de energia para geradores e o setor elétrico. As pesquisas referentes aos gargalos nas regulações ambientais, para conexão à rede e para registro de usinas propiciam melhorias nos marcos regulatórios. O desenvolvimento da caixa de junção inteligente possibilita o avanço para desenvolvimento de novos produtos no Brasil. E por fim, as diversas pesquisas realizadas propiciam o avanço de pesquisas em universidades de forma que a tecnologia fotovoltaica possa ser consolidada no país possibilitando a otimização dos recursos e da sua tecnologia em si.

Descrição, sucinta, das atividades relacionadas à transferência / difusão tecnológica:

As atividades relacionadas a transferência tecnológica foram desenvolvidas através de trabalhos de mestrado, doutorado e graduação, além da publicação de diversos artigos referentes a tecnologia fotovoltaica e aplicação da tecnologia fotovoltaica no Brasil e seus principais fatores. Foram ainda desenvolvidos cursos com as cooperadas do Projeto e com alunos e pesquisadores dentro de universidades, afim de se promover o incentivo a pesquisa da tecnologia fotovoltaica.

Destaca-se, também, o intercâmbio com empresas estrangeiras projetistas e construtoras de usinas fotovoltaicas no mercado europeu que permitiram aquisição de *know how* prático para elaboração de projetos, construção e operação de usinas fotovoltaicas.

8.1 RESULTADOS

	RELATÓRIO N° 33 PROJETO P&D JAÍBA SOLAR ANEEL CHAMADA 013	Relatório de Acompanhamento das Atividades Junho/2016	Fl. 106/114
---	--	--	------------------------------

RESULTADOS DO PROJETO – Capacitação Profissional

Tipo PD – Pós – doutor.; DO - Doutorado; ME - Mestrado; ES – Especialização.	Concluída (“S” ou “N”)	Data da Conclusão (DDMMAAAA)	CPF do membro da equipe	CNPJ da Instituição Executora onde foi obtida a capacitação	Área de pesquisa da capacitação profissional (até 50 caracteres)	Título do trabalho que deu origem à capacitação profissional (até 200 caracteres)	Nome do arquivo em formato PDF que deu origem à capacitação profissional
DO	N	31082017	556.728.251-68	00.038.174/0001-43	Energia Elétrica	Identificação dos Arranjos Tecnológicos com Melhor Custo-Benefício para Produção de Energia Solar Fotovoltaica	Não disponível
ME	S	08052015	018.194.791-96	00.038.174/0001-43	Energia Elétrica	Análise Regulatória da Participação da Energia Solar Fotovoltaica e Estudo do Melhor Mecanismo de suporte para inseri-la na matriz Elétrica Brasileira	ENT 10 - MESTRADO - HELENA MIAN - MAIO 2015
ME	S	28072016	005.155.531-07	00.038.174/0001-43	Energia Elétrica	Método para a Identificação dos Limites de Geração Distribuída Fotovoltaica que Alteram a Necessidade de Reforços Detectada pelo Planejamento da Expansão de Sistemas de Distribuição de Média Tensão.	ENT 16 ITEM 2.2
ME	S	23112016	028.899.231-85	00.038.174/0001-43	Energia Mecânica	Modelo de Estimativa dos Componentes de Radiação Solar a Partir dos Dados Meteorológicos	ENT 16 ITEM 3.1

RESULTADOS DO PROJETO – Capacitação Tecnológica (Produção Técnico-Científica)

Tipo PN – Periódico Nacional; PI – Periódico Internacional; AN – Anais de Evento Nacional; AI – Anais de Evento Internacional	Confirmada Publicação? ("S" ou "N")	Data de Publicação (MMAAAA)	Nome do Periódico ou do evento da publicação (até 50 caracteres)	Endereço Eletrônico do Periódico ou do evento da publicação (até 50 caracteres)	País de Publicação da produção técnico-científica (até 30 caracteres)	Cidade de Publicação da produção técnico-científica (até 30 caracteres)	Título do trabalho que gerou a produção técnico-científica (até 200 caracteres)	Nome do arquivo em formato PDF que gerou a produção Técnico-científica
AN	S	31032014	V Congresso Brasileiro de Energia Solar		Brasil	Recife	Projeto Jaíba Solar: Objetivos, Metodologias para Definição do Local de Instalação, Tecnologias e Simulações Computacionais Através do PSyst	ENT 16 ITEM 6.1
AN	S	2016	XXII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica - SENDI		Brasil	Curitiba	Mensuração do Impacto Técnico e Dimensionamento do Reforço de Rede de uma Usina Solar Fotovoltaica Conectada à Rede de Distribuição. Estudo de Caso da Usina de Jaíba Solar	ENT 16 ITEM 6.2
AN	S	21082016	Congresso Nacional de Engenharia Mecânica - CONEM		Brasil	Fortaleza	Convecção Natural em Painéis Fotovoltaicos	ENT 16 ITEM 6.3
AN	S	08082016	XXIII Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica – XXIII CREEM		Brasil	Teresina	Avaliação de Modelos de Estimativa da Radiação Global e Difusa para Diferentes Cidades do Brasil	ENT 16 ITEM 6.4
AN	S	07112016	XIX Congresso Brasileiro de Meteorologia – CBMET 2016		Brasil	João Pessoa	Análise de Modelos de Previsão da Radiação Global e Difusa para Diferentes Cidades do Brasil	ENT 16 ITEM 6.5
	S	03072016	VI CBENS – Congresso Brasileiro de		Brasil	Belo Horizonte	Dynamical Modelling and Simulation of PV – Solar Pannels	ENT 16 ITEM 7.1

			Energia Solar					
AN	S	03072016	VI CBENS – Congresso Brasileiro de Energia Solar		Brasil	Belo Horizonte	Desenvolvimento de Ferramenta Computacional para a Estimativa da Produção de Energia Elétrica Através de Sistemas Fotovoltaicos – Software Jaíba Solar	ENT 16 ITEM 7.2
AN	S	03072016	VI CBENS – Congresso Brasileiro de Energia Solar		Brasil	Belo Horizonte	Estado da Arte dos Métodos para a Caracterização de Módulos e Arranjos Fotovoltaicos	ENT 16 ITEM 7.3
AN	S	03072016	VI CBENS – Congresso Brasileiro de Energia Solar		Brasil	Belo Horizonte	Correlação e Análise Estatística de Dados Solarimétricos Através de Imagens de Satélite e Estação Solarimétrica para a Região da Cidade de Jaíba - MG	ENT 16 ITEM 7.4
AN	S	03072016	VI CBENS – Congresso Brasileiro de Energia Solar		Brasil	Belo Horizonte	Modelos de Estimativa da Radiação Global em Função da Razão de Insolação e da Radiação Difusa em Função do Índice de Claridade para a Cidade de Brasília	ENT 16 ITEM 7.5
AN	S	03072016	VI CBENS – Congresso Brasileiro de Energia Solar		Brasil	Belo Horizonte	Análise Comparativa do Ganho dos Sistemas Fotovoltaicos com Seguidores de Sol e Concentrador Solar em Relação a Sistemas Fixos	ENT 16 ITEM 7.6
AN	S	03072016	VI CBENS – Congresso Brasileiro de Energia Solar		Brasil	Belo Horizonte	Método para Análise Comparativa dos Impactos Técnicos da Geração Distribuída Fotovoltaica Concentrada e Pulverizada	ENT 16 ITEM 7.7

RESULTADOS DO PROJETO – Capacitação Tecnológica (Apoio à infraestrutura)

Tipo LNS – Lab. Novo em Instituição de Ensino Superior; LES – Lab. Existente em Instituição de Ensino Superior; LNP – Lab. Novo em Instituição de Pesquisa; LEP – Lab. Existente em Instituição de Pesquisa; LNE – Lab. Novo em Empresa de Energia Elétrica; LEE – Lab. Existente em Empresa de Energia Elétrica;	CNPJ da Instituição participante receptora do apoio à infraestrutura	Nome do Laboratório receptor do apoio à infraestrutura (até 100 caracteres)	Área de pesquisa do Laboratório receptor do apoio à infraestrutura (até 50 caracteres)	Lista de materiais permanentes e equipamentos, separados por vírgula, destinados ao apoio à infraestrutura do Laboratório (até 300 caracteres)
LES	00.038.174/0001-43	Fontes Renováveis	Energia Solar	Computador DELL
LES	00.038.174/0001-43	Fontes Renováveis	Energia Solar	Software PVSyst
LES	00.038.174/0001-43	Fontes Renováveis	Energia Solar	Software Mcfee
LES	00.038.174/0001-43	Fontes Renováveis	Energia Solar	Windows 8.1
?	?	?	?	Estação solarimétrica
?	?	?	?	Componentes caixa de junção: osciloscópios, ponteiros de tensão e corrente, kits de desenvolvimento para sistemas embarcados (DSP e microcontroladores) e placas de aquisição de dados
?	?	?	?	Cabos
?	?	?	?	Medidores de potência

RESULTADOS DO PROJETO – Propriedade Intelectual

Tipo PI – Patente de Invenção; PU – Patente de Modelo de Utilidade; RS – Registro de Software RD – Registro de Desenho Industrial	Data do pedido / registro da propriedade intelectual no INPI (DDMMAAAA)	Número do pedido / registro da propriedade intelectual no INPI (até 15 caracteres)	Título da propriedade intelectual no INPI (até 200 caracteres)	CPF do Inventor cadastrado no INPI ou Passaporte (até 20 caracteres) no caso de estrangeiro	CNPJ da entidade participante do projeto cadastrada como depositante no INPI	Percentual destinado à entidade participante do projeto cadastrada como depositante no INPI (no formato 99,99)
RS	31032017	BR 51 2017 000308 4	Jaíba Solar Versão 1	072.790.626-79 031.254.686-63 966.891.106-72	23.274.194/0001-19	xx
PI			Caixa de junção inteligente	966.891.106-72 045.361.766-24 158.385.408-85	23.274.194/0001-19	xx

RESULTADOS DO PROJETO – Impactos Socioambientais

<p>Tipo</p> <p>ISA1 – Possibilidade de impactos ambientais (água, ar ou solo)</p> <p>ISA2 – Possibilidade de diversificação da matriz energética</p> <p>ISA3 – Possibilidade de desenvolvimento de nova atividade socioeconômica (lazer, turismo, pesca, agricultura, etc)</p> <p>ISA4 – Possibilidade de impactos na segurança ou na qualidade de vida da comunidade</p>	<p>Possibilidade de impacto, positivo ou negativo, com resultado do Projeto de P&D (“S” – Sim; “N” - Não)</p>	<p>Descrição do Impacto / mitigação do resultado do Projeto de P&D (até 500 caracteres)</p>
ISA2	S	Capacitação de profissionais e desenvolvimento de estudos inovadores para o Brasil na área solar referentes aos processos de licenciamento ambiental em Minas Gerais e os impactos decorrentes de instalação de plantas fotovoltaicas.
ISA2	S	Contribuições feitas ao órgão ambiental competente no estado de Minas Gerais afim de se propor melhorias na regulamentação para o processo de licenciamento ambiental, de forma que o mesmo possa permitir maior agilidade nos processos, sem que haja nenhum prejuízo para a comunidade e meio ambiente, promovendo assim incentivo a tecnologia fotovoltaica.
ISA2	S	Esclarecimento sobre os impactos na sociedade decorrentes da implantação de usinas fotovoltaicas através de reuniões com a prefeitura municipal de Jaíba, Secretaria municipal de meio ambiente, e com associações e organizações de classe e da sociedade civil atuantes no município, como escolas, polícia militar, sindicato dos trabalhadores rurais, COPASA, câmara de diretores lojistas, associação das artesãs de Jaíba, e Serviço Voluntário de Assistência Social (SERVAS); e distribuição de folhetos a toda a população, explicando sobre funcionamento de usinas fotovoltaicas e seus impactos na sociedade.

RESULTADOS DO PROJETO – Impactos Econômicos

Código do tipo de indicador econômico obtido como resultado do projeto (Nota 1)	Descrição do Benefício econômico para o indicador econômico selecionado	Unidade base do indicador econômico selecionado, para o cálculo do benefício financeiro Ex.: kVA, kW,kVAr, etc	Valor numérico do indicador econômico selecionado (usar o ponto como separador de milhar e a vírgula como separador de decimal)	Porcentagem do impacto par o indicador econômico selecionado (%)	Valor do benefício econômico para o indicador selecionado (R\$) (usar o ponto como separador de milhar e a vírgula como separador de decimal)
PR1, MEX	Desenvolvimento e capacitação dos pesquisadores envolvidos. A capacitação proporcionada pelo Projeto permite agora maior produtividade no desenvolvimento de projetos fotovoltaicos, e a melhoria dos processos operacionais e administrativos inerentes a este tipo de projeto. Conclui-se que as empresas participantes agora estão muito mais aptas a participarem do mercado solar.				
PR1, EEX	Capacitação tecnológica das universidades envolvidas. Os alunos e pesquisadores alcançados pelas atividades do Projeto puderam ter a oportunidade de desenvolver conhecimentos novos no país, permitindo avanço da capacidade brasileira de investir em energia solar.				
PR1, EE2	Inventário das regiões de Minas Gerais com o objetivo de se identificar quais são mais propícias para este tipo de instalação, que se trata de uma informação importante para decisão de investimento e aumento da capacidade do setor elétrico, reduzindo custos internos às empresas no trabalho de identificação e análise de pré-viabilidade de áreas para construção de usinas fotovoltaicas, seja de grande porte ou para geração distribuída.				
PR1, PR2, EEX	Metodologia para elaboração de Projeto Básico de usinas fotovoltaicas, a qual destaca as principais variáveis técnicas e conjunturais a serem consideradas para este tipo de Projeto. Com base nesta metodologia busca-se otimizar as decisões referentes aos estudos necessários para os Projetos, a definição dos modelos dos equipamentos, a forma de contratação dos equipamentos e serviços e ao tipo de fornecimento (local ou importado), resultando em melhor custo de investimento, auxiliando os profissionais e as empresas nestas etapas de desenvolvimento de um projeto fotovoltaico.				
PR2, PR2	O trabalho feito de maneira teórica, com base nas normas aplicáveis e nas melhores práticas internacionais, fez o dimensionamento da malha de aterramento permitindo a eliminação da necessidade de equalização da resistividade da primeira camada de solo com a utilização de brita. Além disto, considera-se a própria				

	estrutura metálica de sustentação dos módulos como eletrodo de aterramento, o que permite redução na quantidade de cabos.				
PR2	Por meio dos resultados alcançados no Projeto, foi possível apresentar à ANEEL justificativa que comprovou a não necessidade de leitura de irradiância difusa para o Requerimento de Outorga de usinas fotovoltaicas. Com isto, não será necessário o investimento em mais um equipamento de medição, que exigiria ou a manutenção semanal, como é o caso do anel de sombreamento, ou um equipamento com custo muito superior, para fazer o seguimento do sol. Essa contribuição, possível apenas após análise dos dados trabalhados no Projeto, trouxe benefícios econômicos não apenas para as empresas participantes, mas para todo o setor.				
PR2, EEE2	Eliminada a necessidade de apresentação das leituras de dados solarimétricos realizadas no local nesta fase do Projeto na qual está sendo analisada a viabilidade, e, portanto, aquisição de uma estação solarimétrica para acesso a informações referentes a disponibilidade de conexão à rede.				
PR2, PR3	Desenvolvimento da caixa de junção inteligente, que proporciona a realização de diagnósticos de falhas numa usina fotovoltaica de forma a agir rapidamente, quando uma avaria é detectada, evitando perda de desempenho da operação. O projeto da caixa de junção conseguiu reduzir o número de componentes dos equipamentos tradicionais, através da maior utilização de softwares e programações, reduzindo, assim, seu custo de fabricação. Uma vez patenteada, o equipamento poderá ser desenvolvido até a fase comercial, proporcionando benefícios às empresas participantes do Projeto e a todo o mercado, uma vez que poderá trazer redução de custo de plantas fotovoltaicas.				

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

As referências bibliográficas estão dispostas nos trabalhos anexos, conforme mencionado acima.

10 ANEXOS

Os Anexos estão disponibilizados abaixo, na seguinte ordem:

1. Anexo 01 – XXXX
 2. Anexo 02 – XXXX
 3. Anexo 03 - XXXX
 4. Anexo 04 - XXXX
 5. Anexo 05 - XXXX
-