



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ - UFPI
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO
NÚCLEO DE REFERÊNCIA DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS DO TRÓPICO
ECOTONAL DO NORDESTE (TROPEN)
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO
AMBIENTE (PRODEMA)

FABRICIO NEVES DE SÁ

ANÁLISE INTERDISCIPLINAR DO SISTEMA DE ENERGIA SOLAR
FOTOVOLTAICA DO INSTITUTO FEDERAL DO PIAUÍ – CAMPUS FLORIANO

TERESINA
2019

FABRICIO NEVES DE SÁ

**ANÁLISE INTERDISCIPLINAR DO SISTEMA DE ENERGIA SOLAR
FOTOVOLTAICA DO INSTITUTO FEDERAL DO PIAUÍ – CAMPUS FLORIANO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Piauí – PPGDMA – UFPI, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Francielle Pinheiro dos Santos

Co-orientador: Prof. Dr. Albemerc Moura de Moraes

**TERESINA
2019**

FICHA CATALOGRÁFICA

Serviço de Processamento Técnico da Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Comunitária Jornalista Carlos Castello Branco

N111a Sá, Fabricio Neves de.
Análise interdisciplinar do sistema de energia solar
fotovoltaica do Instituto Federal do Piauí – Campus Floriano /
Fabricio Neves de Sá. – 2019.
105 f.

Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio
Ambiente) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2019.
“Orientador: Prof. Dr. Francisco Francielle Pinheiro dos
Santos”.
“Co-orientador: Prof. Dr. Albemerc Moura de Moraes”.

1. Energia solar fotovoltaica. 2. Aspectos ambientais e
econômicos. 3. Instituto Federal do Piauí. I. Título.

CDD 621.47

FABRICIO NEVES DE SÁ

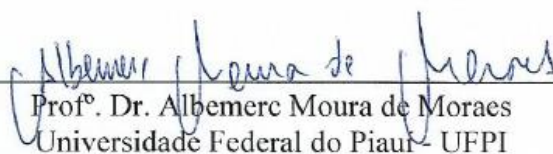
**ANÁLISE INTERDISCIPLINAR DO SISTEMA DE ENERGIA SOLAR
FOTOVOLTAICA DO INSTITUTO FEDERAL DO PIAUÍ – CAMPUS FLORIANO**

Dissertação apresentada ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Piauí (PRODEMA/UFPI/TROPEN), como requisito a obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Área de Concentração: Desenvolvimento do Trópico Ecotonal do Nordeste. Linha de Pesquisa: Biodiversidade e Utilização Sustentável dos Recursos Naturais.

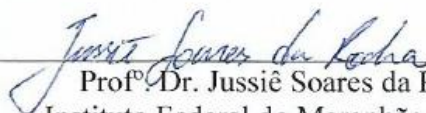
Aprovada em: 18 / 02 / 2019



Prof.^o Dr. Francisco Francielle Pinheiro dos Santos
(PRODEMA/UFPI)
Orientador



Prof.^o Dr. Albemerc Moura de Moraes
Universidade Federal do Piauí - UFPI
Co-orientador



Prof.^o Dr. Jussê Soares da Rocha
Instituto Federal do Maranhão – IFMA
Membro Externo



Prof.^o Dra. Elaine Aparecida da Silva
Universidade Federal do Piauí – (PRODEMA/UFPI)
Membro Interno

AGRADECIMENTOS

À minha mãe Dona Silvana, mulher guerreira e dedicada, quem abdicou de sonhos para que os filhos realizassem os deles. Ao meu pai Seu Severo, cujo trabalho duro me deu a oportunidade de uma boa educação e qualidade de vida. Minhas irmãs-companheiras, Fernanda e Caroline, que estão ao meu lado desde os primeiros passos na vida. À minha sobrinha Beatrice que fez surgir em mim uma nova forma de amor e para quem eu desejo um futuro justo e sustentável. Vocês sempre valorizaram em primeiro lugar o meu esforço antes da conquista. Acredito que a Família seja a verdadeira representação de Deus na Terra.

À minha namorada Jéssica, pelo carinho, companheirismo e por ser um exemplo de dedicação e coragem.

Ao meu orientador Dr. Francisco Pinheiro e meu co-orientador Dr. Albemerc de Moraes pela oportunidade de aprendizado e confiança durante a elaboração desta pesquisa.

Aos meus amigos da turma 2017-2019 do PRODEMA, em especial Lorena, Aieska e Luís, por compartilharem comigo momentos de alegria e angústia. Ao Osvaldo (do doutorado) pela disponibilidade em ajudar nesta pesquisa.

A todos os amigos que essa vida me deu, e são tantos, que seria injusto citar nomes aqui. Enfim, todos vocês me ajudaram de alguma forma nesta caminhada. Grato!

Ao Diretor do IFPI Floriano, Odimógenes Soares Lopes, pelo incentivo e disponibilidade quanto às informações passadas, as quais foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

À comunidade acadêmica do IFPI Floriano, em especial os meus alunos do curso Técnico em Meio Ambiente e meus amigos professores Roniel e Luis Filipe.

Ao IFPI, Instituição na qual me formei e que hoje tenho o orgulho imenso de ser professor.

Ao PRODEMA pela oportunidade de cursar o mestrado e pela importância deste Programa na pesquisa em prol do desenvolvimento sustentável do Estado do Piauí e do Nordeste.

Ao Grupo Interdisciplinar de Pesquisa em Energia Solar do Piauí (GIPES), pela troca de informações e por produzirem conhecimento sobre esta importante temática.

RESUMO

Fontes de energia renováveis, como a energia solar fotovoltaica (ESF), surgem como uma alternativa para amenizar a pressão sobre os recursos naturais. Sob o viés ambiental, a ESF apresenta baixos impactos durante sua operação e instalação, sendo importante considerar os impactos na fabricação e no descarte dos módulos fotovoltaicos. A tendência é que os custos de implantação dessa forma de energia continuem diminuindo, apesar de ainda serem relativamente altos. O presente trabalho propõe-se a analisar o sistema fotovoltaico conectado à rede (SFCR) do Instituto Federal do Piauí, Campus Floriano, dentro dos aspectos ambientais e econômicos, bem como seus resultados no contexto educacional vinculado aos projetos de ensino, pesquisa e extensão. Para isso, foi realizado o monitoramento da produção e do consumo de energia do Campus, no primeiro ano de uso do SFCR, bem como o cálculo do CO₂ evitado nesse período. Para a análise dos projetos, foram realizadas entrevistas com seus respectivos coordenadores, através de questionários, a fim de conhecer os resultados, assim como a influência da implantação do SFCR do Campus na criação desses projetos. Foi analisado o conhecimento da comunidade acadêmica sobre a temática, também através de questionários. Verificou-se que no primeiro ano de operação (2016-2017), o SFCR produziu um total de 255.991 kWh, atendendo a 32,44% do consumo do Campus. A economia nesse período foi de R\$ 84.047,09, gerando um Valor Presente Líquido de R\$ 468.562,90 ao final da vida útil do sistema (25 anos) e *payback* estimado em 18 anos. Quanto ao benefício ambiental, o Campus deixou de emitir 123,44 toneladas de CO₂ na atmosfera nesse primeiro ano de operação. No contexto do ensino, pesquisa e extensão, constatou-se que a implantação do SFCR do Campus influenciou a criação de diversos projetos. Quanto ao conhecimento da comunidade acadêmica acerca da temática da energia solar, observou-se que entre os cenários de professores e alunos, não houve tanta discrepância, exceto no quesito “funcionamento básico da ESF”, no qual os docentes apresentaram, em sua maioria, maior entendimento. Conclui-se que o investimento feito pela Instituição possui viabilidade econômica, apesar do tempo de retorno considerável. É necessário que o IFPI continue com a política de fomento em pesquisa e extensão, o que pode trazer benefícios para a Instituição e a sociedade. É importante, também, que o Campus Floriano planeje o destino ambientalmente correto dos módulos fotovoltaicos ao final da sua vida útil.

Palavras-Chave: Energia solar fotovoltaica; Aspectos ambientais e econômicos; Ensino, pesquisa e extensão; IFPI.

ABSTRACT

Renewable energy sources, such as solar photovoltaic (PSE), emerge as an alternative to ease the pressure on natural resources. Under the environmental context, the PSE presents low impacts during its operation and installation, being important to be aware of the impacts in the manufacture and the disposal of the photovoltaic modules. The trend is that the costs of implementing this form of energy will continue to decrease, although it still relatively high. The present work proposes to analyze the grid-connected photovoltaic system (GCPS) of the Federal Institute of Piauí, Campus Floriano, within the environmental and economic aspects, as well as its results in the educational context linked to teaching, research and extension projects. For this, the monitoring of the production and energy consumption of the Campus was carried out in the first year of operation, as well as the calculation of CO₂ not emitted during this period. For the analysis of the projects, interviews were conducted with their respective coordinators, through questionnaires, in order to know the results, as well as the influence of the implementation of the Campus's GCPS in the creation of these projects. It was analyzed the knowledge of the academic community on the subject, also through questionnaires. It was verified that in the first year of operation (2016-2017), the GCPS produced a total of 255,991 kWh, attending to 32.44% of Campus consumption. The savings in this period was R\$ 84,047.09, generating a Net Present Value of R\$ 468,562.90 at the end of the system's life (25 years) and an estimated payback time in 18 years. As for the environmental benefit, the Campus ceased to emit 123.44 tons of CO₂ in the atmosphere in the first year of operation. In the context of teaching, research and extension, it was verified that the implementation of the Campus GCPS influenced the creation of several projects. As for the knowledge of the academic community about solar energy, it was observed that there was not so much discrepancy between the scenarios of teachers and students, except for the "basic functioning of the PSE", in which the teachers presented, a better understanding. It is concluded that the investment made by the Institution has economic viability, despite the high payback time. It is necessary that the IFPI continue with the policy of fostering research and extension, which can bring benefits to the Institution and society. It is also important that the Floriano Campus plans the environmentally correct destination of the photovoltaic modules at the end of their useful life.

Keywords: Photovoltaic solar energy; environmental and economic aspects; teaching, research and extension; IFPI.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de módulo fotovoltaico do tipo silício cristalino	21
Figura 2 - Esquema de geração distribuída conectada à rede.....	22
Figura 3 - Custos totais médios de instalação de sistemas fotovoltaicos residenciais, por país, nos últimos anos	28
Figura 4 - Estimativa da viabilidade econômica da fonte fotovoltaica	29
Figura 5 - Total diário de irradiação global no Brasil	34
Figura 6 - Matriz elétrica brasileira por fonte	35
Figura 7 - Potência instalada em MW por fonte de geração distribuída no Brasil.....	35
Figura 8 - Potência instalada em MW de ESF conectada à rede por Estado.....	36
Figura 9 - Matriz elétrica do Estado do Piauí por fonte	38
Figura 10 - Geração distribuída no Piauí por classe e percentual de potência instalada.....	39
Figura 11 - Geração distribuída em Floriano por classe e percentual de potência instalada....	40
Figura 12 - Módulos sob o telhado de uma indústria no Município de Floriano-PI	41
Figura 13 - Módulos sob o telhado de uma lanchonete no município de Floriano-PI	41
Figura 14 - Quantidade de publicações sobre energia solar por ano no mundo.....	43
Figura 15 - Ranking mundial de publicações	43
Figura 16 - Disposição dos módulos fotovoltaicos no telhado do Campus Floriano.....	44
Figura 17 - Produção mensal de energia elétrica pelo sistema em kWh no primeiro ano de operação.....	53
Figura 18 - Estimativa de produção do SFCR do Campus durante a vida útil em kWh.....	55
Figura 19 - Consumo de energia elétrica do Campus Floriano no primeiro ano de operação do SFCR em kWh.....	56
Figura 20 - Limpeza dos módulos feita por funcionários do Campus Floriano.....	59
Figura 21 - Fatores de emissão do SIN no decorrer dos anos	62
Figura 22 - Exposição em escola da rede municipal de Floriano.....	64
Figura 23 - Palestra em escola da rede municipal de Floriano.....	64
Figura 24 - Módulo fotovoltaico de 95W adquirido pelo projeto	66
Figura 25 - Armazenamento da água captada e bomba de irrigação.....	66
Figura 26 - Bomba utilizada no projeto movida a energia fotovoltaica.....	66
Figura 27 - Irrigação de uma área verde do Campus com água reaproveitada dos ar-condicionados	66
Figura 28 - Implantação do sistema de aproveitamento de água em escola da rede estadual em Floriano.....	67

Figura 29 - Módulo fotovoltaico adquirido pelo projeto.....	68
Figura 30 - Obra em andamento do laboratório de energias renováveis.....	69
Figura 31 - Estação meteorológica adquirida pelo projeto.....	70
Figura 32 - Palestra sobre energia solar térmica com pesquisador do GIPES	72
Figura 33 - Minicurso de arborização e técnicas de plantio.....	72
Figura 34 - Conhecimento dos alunos sobre o funcionamento da ESF.....	74
Figura 35 - Conhecimento dos professores sobre o funcionamento da ESF.....	75
Figura 36 - Conhecimento dos alunos sobre os benefícios ambientais da ESF	76
Figura 37 - Conhecimento dos professores sobre os benefícios ambientais da ESF	77
Figura 38 - Conhecimento dos alunos sobre os aspectos ambientais negativos da ESF.....	78
Figura 39 - Conhecimento dos professores sobre os aspectos ambientais negativos da ESF ...	79
Figura 40 - Conhecimento dos alunos sobre os projetos do Campus.....	80
Figura 41 - Conhecimento dos professores sobre os projetos do Campus.....	80
Figura 42 - Interesse dos alunos em participar de projetos	81
Figura 43 - Interesse dos professores em participar de projetos	82
Figura 44 - Interesse dos alunos em fazer curso relacionado a energias renováveis	83
Figura 45 - Interesse dos professores em fazer curso relacionado a energias renováveis.....	84
Figura 46 - Professores que aplicaram atividade sobre ESF	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Informações sobre os SFV instalados em comunidades rurais em Florianópolis	40
Tabela 2 - Definição das amostras da população de alunos por estrato	49
Tabela 3 - Definição das amostras da população de professores por estrato.....	50
Tabela 4 - Economia financeira gerada pelo SFCR no primeiro ano de operação.....	57
Tabela 5 - Fluxos de caixa projetados e respectivo VPL.....	58
Tabela 6 - Quantidade de CO ₂ evitado pela operação do SFCR do Campus Florianópolis	62

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais impactos ambientais e medidas mitigadoras relacionadas às usinas fotovoltaicas	26
Quadro 2 - Respostas determinadas para as questões abertas, classificação e critério de análise	51
Quadro 3 - Comparação de análise econômica entre o SFCR de outras instituições públicas de ensino	60

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Fórmula do Valor Presente Líquido	45
Equação 2 - Fórmula da relação da TIR com o VPL	46
Equação 3 - Cálculo do fator de emissão combinado.....	47
Equação 4 - Cálculo da quantidade de CO ₂ evitado.....	47
Equação 5 - Cálculo do tamanho da amostra total	48
Equação 6 - Cálculo do tamanho da amostra no estrato.....	49

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

A3P	Agenda Ambiental da Administração Pública
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CDE	Conta de Desenvolvimento Energético
CNPE	Conselho Nacional de Pesquisa Energética
CO ₂	Dióxido de carbono
CONNEPI	Congresso Norte-Nordeste de Pesquisa e Inovação
CONFAZ	Conselho Nacional de Política Fazendária
CONSUP	Conselho Superior
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ESF	Energia Solar Fotovoltaica
GEE	Gases de Efeito Estufa
GW	Gigawatt
GWh	Gigawatt hora
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFPI	Instituto Federal do Piauí
IRENA	International Renewable Energy Agency
kW	Quilowatt
kWh	Quilowatt hora
kWp	Quilowatt pico
MCTIC	Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MW	Megawatt
MWh	Megawatt hora
O&M	Operação e Manutenção
PIBEX	Programa de Bolsas de Extensão
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PROAEX	Programa de Apoio à Extensão
PROAGRUPAR	Programa de Apoio à Pesquisa, Estruturação e Reestruturação
SELIC	Sistema Especial de Liquidação e de Custódia

SFCR	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede
SFV	Sistema(s) Fotovoltaico(s)
SIN	Sistema Interligado Nacional
TIR	Taxa Interna de Retorno
Ton	Toneladas
UNFCCC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima
VPL	Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1 Conceitos fundamentais sobre energia solar fotovoltaica	20
2.2 Aspectos ambientais da energia solar fotovoltaica	22
2.3 Aspectos econômicos da energia solar fotovoltaica	27
2.4 Aspectos legais e incentivos da energia solar fotovoltaica no Brasil	29
2.5 Panorama da energia solar fotovoltaica	33
2.5.1 Brasil	33
2.5.2 Piauí	37
2.5.3 Floriano	39
2.6 Produção científica sobre energia solar fotovoltaica	41
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	44
3.1 Área de estudo	44
3.2 Produção do sistema e atendimento ao consumo do Campus	45
3.3 Análise do retorno financeiro	45
3.4 Cálculo do CO₂ evitado	46
3.5 Análise dos resultados da implantação do sistema fotovoltaico no contexto do ensino, pesquisa e extensão	48
3.6 Análise do conhecimento da comunidade acadêmica do Campus sobre energia solar fotovoltaica, projetos de ensino, pesquisa e extensão e interesse sobre a temática	48
4 RESULTADOS	53
4.1 Produção do sistema fotovoltaico e atendimento ao consumo do Campus	53
4.2 Retorno financeiro	57
4.3 CO₂ evitado com a operação do sistema	61
4.4 Resultados no âmbito do ensino, pesquisa e extensão	63
4.4.1 Projeto “Educação ambiental e energias renováveis: o papel da energia solar como uma nova forma de pensar”	63
4.4.2 Projeto “Sistema de captação de água dos ares-condicionados do IFPI-Campus Floriano”	65
4.4.3 Projeto “Implantação do laboratório de energia solar fotovoltaica do IFPI-Campus Floriano”	67
4.4.4 Projeto “Monitoramento das variáveis meteorológicas que influenciam diretamente o funcionamento da usina fotovoltaica do IFPI, Campus Floriano”	70

4.4.5 Disciplina “Energias Renováveis” no curso técnico em eletromecânica	71
4.4.6 Semana de meio ambiente do Campus Floriano	72
4.5 Conhecimento da comunidade do Campus sobre energia solar fotovoltaica, projetos de ensino, pesquisa e extensão e interesse sobre a temática.....	73
4.5.1 Conhecimento sobre o funcionamento da ESF.....	73
4.5.2 Conhecimento sobre os benefícios ambientais da ESF	75
4.5.3 Conhecimento sobre os aspectos ambientais negativos da ESF.....	77
4.5.4 Conhecimento sobre os projetos do Campus.....	79
4.5.5 Interesse em participar de projetos que envolvam ESF.....	81
4.5.6 Interesse em fazer curso relacionado a energias renováveis	83
4.5.7 Aplicação de atividade ou avaliação sobre ESF pelos professores	84
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	86
REFERÊNCIAS	88
APÊNDICES	101
Apêndice A.....	102
Apêndice B.....	103
Apêndice C.....	104
Apêndice D.....	105

1 INTRODUÇÃO

A energia faz parte da história da humanidade e a sua disponibilidade é essencial para uma boa qualidade de vida. O crescimento da população mundial acarreta no aumento da demanda por energia, o que exige mais exploração dos recursos naturais. As fontes de energia menos impactantes e renováveis surgem como uma alternativa para amenizar a pressão sobre esses recursos. Segundo Hinrichs, Kleinbach e Reis (2016), a energia é um dos principais constituintes da sociedade moderna, sendo necessária para produzir e fornecer bens e serviços dos quais temos nos beneficiado, no entanto, a exploração dos recursos energéticos é um fator importante, que afeta negativamente o meio ambiente.

De acordo com Pereira *et al.* (2017), o aumento da demanda energética, em conjunto com a possibilidade de redução da oferta de combustíveis convencionais e a crescente preocupação com a preservação do meio ambiente estão impulsionando a transição para o uso de fontes energéticas menos poluentes e renováveis. Friman (2017) complementa que a educação é um passo fundamental para fazer essa transição, e afirma que as tecnologias de energia renovável ainda necessitam de reformas regulatórias e incentivos econômicos para que sua utilização se torne, cada vez mais, uma realidade.

Neste sentido, para Tolmasquim (2016), a geração fotovoltaica apresenta, como principal vantagem, a ocorrência de poucos impactos socioambientais. O autor cita também que durante a produção de energia não ocorre emissão de poluentes atmosféricos.

Relacionado aos custos, Miller e Spoolman (2015) afirmam que a instalação de um sistema de ESF ainda tem um custo relativamente alto, em compensação, os autores apontam vantagens como a não emissão de gases de efeito estufa (GEE) durante a operação dos módulos fotovoltaicos e a facilidade de instalar e mover esses módulos, se necessário. Em consonância, Reis, Fadigas e Carvalho (2012, p. 252) afirmam que “embora o custo de um sistema fotovoltaico ainda esteja elevado, ele vem decrescendo ao longo dos últimos anos. Os avanços tecnológicos [...] são os grandes responsáveis pela diminuição nos preços dos módulos fotovoltaicos”. Tolmasquim e Guerreiro (2014) ressaltam que a difusão da energia fotovoltaica distribuída traz benefícios não somente energéticos e ambientais, mas também econômicos e sociais.

Dados da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (2018b) demonstram que a ESF corresponde a menos de 1% da matriz elétrica brasileira. Segundo Villalva e Gazoli (2012), a participação da ESF na matriz energética brasileira é praticamente desprezível, apesar do grande potencial brasileiro para esse tipo de energia. Conforme os autores, tal fato revela que a ESF ainda carece de um maior incentivo por parte do poder público e também de

divulgação para a comunidade em geral. Além disso, estudos sobre o uso dessa fonte poderão trazer embasamento maior sobre o benefício de sua utilização.

Contextualizando a realidade do Estado do Piauí, Moraes (2013) aponta que ainda existem barreiras econômicas para o desenvolvimento do uso da ESF no Estado, como o alto custo inicial de implantação e a reduzida capacidade de investimento por parte da população, bem como, barreiras de recursos humanos, evidenciadas pela falta de capacitação técnica adequada. Em contrapartida, o autor aponta algumas potencialidades, como a grande abundância do recurso solar no Estado, como também a presença de diversas instituições com capacidade para qualificar recursos humanos e financiar projetos.

O Campus Floriano, do Instituto Federal do Piauí (IFPI), possui mais de vinte anos de existência e é um dos Campi mais antigos dessa Instituição. No início do ano de 2015, a direção geral do Campus decidiu investir na instalação de um sistema de minigeração de ESF conectado à rede, no intuito de atender parte de sua demanda de energia elétrica e na expectativa da utilização do sistema como ferramenta de aprendizado. Com isso, o Campus Floriano tornou-se, na época, a única Instituição pública no Estado a implantar um sistema desse porte. Após os processos licitatórios, o sistema foi instalado e entrou em operação em maio de 2016.

O Campus Floriano aderiu no início de 2017 à Agenda Ambiental na Administração Pública (A3P), programa do Ministério do Meio Ambiente (MMA). Segundo o MMA (2018a), a Agenda possui seis eixos temáticos: Uso racional dos recursos naturais e bens públicos; Gestão adequada dos resíduos gerados; Qualidade de vida no ambiente de trabalho; Sensibilização e capacitação dos servidores; Licitações sustentáveis; e Construções sustentáveis.

Ao implantar o SFCR e promover, a partir disso, projetos de ensino, pesquisa e extensão, o Campus vai ao encontro da A3P e dos objetivos descritos na Lei nº 11.892, de 2008, que cria os Institutos Federais. De acordo com essa norma, os Institutos têm por finalidades e características: desenvolver programas de extensão e de divulgação científica e tecnológica; realizar e estimular a pesquisa aplicada, a produção cultural, o empreendedorismo, o cooperativismo e o desenvolvimento científico e tecnológico; promover a produção, o desenvolvimento e a transferência de tecnologias sociais, notadamente as voltadas à preservação do meio ambiente. Ademais, a Portaria nº 23/2015 do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão (MOPG), que estabelece boas práticas de gestão ambiental nos órgãos e entidades da Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional, recomenda que esses Órgãos devem priorizar a utilização de fontes renováveis

de energia, como a eólica e a fotovoltaica, no intuito de proporcionarem economia no consumo anual de energia elétrica.

De acordo com a Resolução nº 07/2018 do Conselho Superior (CONSUP) do Instituto Federal do Piauí (IFPI, 2018, p. 10), que aprova a organização didática da Instituição, entende-se, por aula ou ensino, “toda atividade didático-pedagógica instrumentalizada por um ou mais professores que pode ser executada dentro ou fora do espaço físico da escola”.

Os conceitos de pesquisa e extensão estão definidos na Resolução nº 01/2009 do CONSUP do IFPI, que aprova o seu Estatuto. De acordo com essa norma (IFPI, 2009, p. 21), atividade de pesquisa se trata de “um processo educativo para a investigação e o empreendedorismo, visando à inovação e à solução de problemas científicos e tecnológicos, envolvendo todos os níveis e modalidades de ensino, com vistas ao desenvolvimento social”. Já as atividades de extensão “constituem cursos e atividades específicas que articulam o ensino e a pesquisa, onde há a relação entre o Instituto Federal do Piauí e a sociedade, visando apoiar o desenvolvimento social” (IFPI, 2009, p. 21).

A ideia desta pesquisa surgiu pouco antes da implantação do SFCR do Campus, quando se percebeu a relevância de analisar o sistema do ponto de vista econômico e ambiental, bem como verificar e acompanhar os possíveis desdobramentos resultantes desta implantação. A importância da utilização de fontes sustentáveis de energia e o atual cenário de crescimento da ESF também constituíram uma condição propícia para a realização desta pesquisa.

Este trabalho poderá dar maior embasamento à Instituição, quando da decisão sobre futuros investimentos, a qual deverá analisar certos parâmetros técnicos e econômicos antes da implantação de determinados projetos. A divulgação dos resultados desta pesquisa poderá incentivar a implantação de sistemas fotovoltaicos em outras instituições, públicas ou privadas, contribuindo para o desenvolvimento sustentável local no tocante à questão energética. Como contribuição científica, os dados de produção energética do SFCR apresentados, poderão ser comparados com simulações computacionais em estudos mais aprofundados nos aspectos técnicos. Este trabalho também poderá instigar a implantação de novos projetos de ensino, pesquisa ou extensão sobre a temática pela comunidade acadêmica.

Este estudo permeia conteúdos relacionados à Física, no âmbito da eletricidade; às Ciências Ambientais, englobando os aspectos ambientais da energia solar e sua inclusão no contexto das mudanças climáticas; à Economia, em se tratando dos aspectos econômicos relacionados ao SFCR em questão; e à Educação, quando trata de projetos e ensino, pesquisa e extensão, demonstrando, assim, o caráter interdisciplinar desta pesquisa.

Partindo do contexto apresentado, é possível fazer os seguintes questionamentos: O sistema fotovoltaico está trazendo retorno financeiro para a Instituição? A implantação do sistema pode ter influenciado a criação de projetos de ensino, pesquisa e extensão no Campus? Os aspectos ambientais relacionados à ESF são conhecidos pela comunidade do Campus? Quanto de carbono a Instituição está deixando de emitir para a atmosfera, devido à operação do sistema?

No intuito de responder aos questionamentos levantados, o objetivo geral deste estudo é analisar o sistema de geração de energia solar fotovoltaica do IFPI - Campus Florianópolis dentro dos aspectos ambientais e econômicos, bem como os resultados da sua implantação no contexto educacional. Para atingir o objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos: verificar o atendimento à demanda de consumo de energia elétrica do Campus pelo SFCR; analisar o retorno financeiro do investimento; quantificar o carbono evitado, devido à operação do sistema; avaliar o conhecimento da comunidade acadêmica do Campus sobre energia solar fotovoltaica, seus projetos e nível de interesse sobre a temática; identificar e analisar os resultados da implantação do sistema fotovoltaico no contexto de ensino, pesquisa e extensão.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Conceitos fundamentais sobre energia solar fotovoltaica

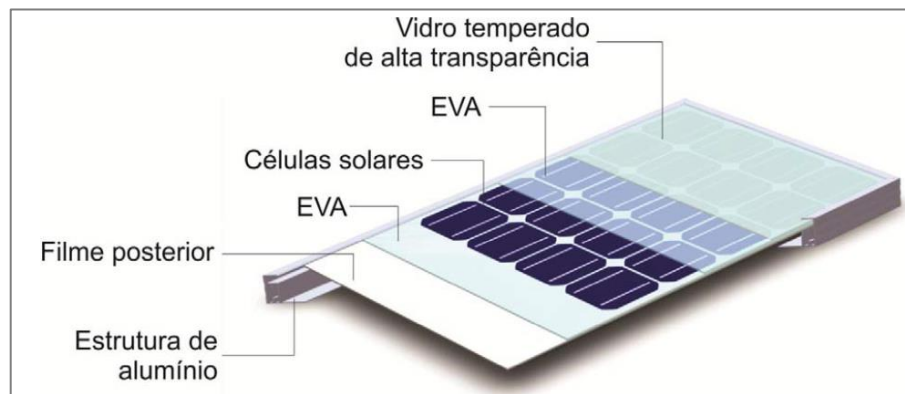
Segundo Hussin, Issabayeva e Aroua (2017), o Sol é uma fonte de energia abundante, e a possibilidade de aproveitá-lo para beneficiar as pessoas inspirou cientistas e pesquisadores de todo o mundo, com o desenvolvimento de metas para melhorar o desempenho, a sustentabilidade e a acessibilidade da tecnologia fotovoltaica ao longo dos anos. Conforme Pinho e Galdino (2014), o efeito fotovoltaico foi descoberto por Edmond Becquerel, no ano de 1839. Em 1876, foi concebido o primeiro aparato fotovoltaico, e apenas em 1956, iniciou-se a produção industrial, seguindo o crescimento da eletrônica. De acordo com os autores, inicialmente, o desenvolvimento da tecnologia foi incentivado por empresas do setor de telecomunicações, que necessitavam de fontes de energia para sistemas instalados em localidades remotas. “A geração fotovoltaica [...] recebeu um grande impulso na década de 1950, por causa de sua utilização no programa espacial norte-americano” (HINRICHS, KLEINBACH e REIS, 2016, p. 478).

Poganietz (2015) aponta que o uso da tecnologia elétrica solar está se desenvolvendo rapidamente, assim como os custos de sua implantação estão diminuindo, podendo, dessa forma, atender às necessidades humanas de produção e consumo.

O uso da energia solar para a geração de eletricidade pode se dar de duas formas: indiretamente, pelo uso do calor para gerar vapor que, expandido em sua turbina a vapor, acionará um gerador elétrico; e diretamente, pelo uso de painéis¹ fotovoltaicos” (REIS, FADIGAS e CARVALHO, 2012). “A energia solar fotovoltaica é a energia obtida através da conversão direta da luz em eletricidade [...], sendo a célula fotovoltaica [...] a unidade fundamental desse processo de conversão” (PINHO e GALDINO, 2014, p. 50). A Figura 1 demonstra o esquema dos componentes de um módulo fotovoltaico do tipo c-Si (silício cristalino), que é o mesmo utilizado no SFCR do IFPI Campus Floriano.

¹ Os termos “placa” ou “painel” também são comumente utilizados no lugar de “módulo”.

Figura 1 - Esquema de módulo fotovoltaico do tipo silício cristalino

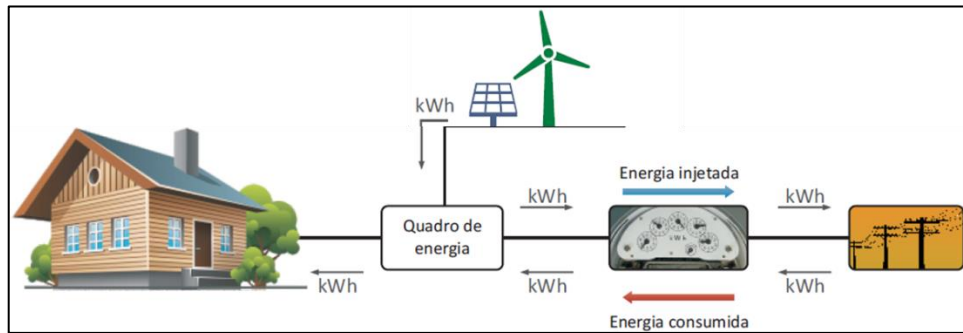


Fonte: Pinho e Galdino (2014).

Diferente de fontes convencionais de energia, a ESF é intermitente e apresenta forte relação com condições meteorológicas locais (cobertura de nuvens e concentração de gases atmosféricos, por exemplo) e fatores astronômicos associados aos movimentos da Terra (PEREIRA *et al.*, 2017). Complementando, Kipper, Gasparin e Krenzinger (2018) afirmam que a ESF é uma fonte intermitente de energia dependente de diversos fatores, tais como disponibilidade de radiação solar, inclinação do módulo fotovoltaico, temperatura de operação da célula, eficiência dos módulos, eficiência dos inversores, degradação do sistema ao longo do tempo, recobrimento dos módulos por partículas, dentre outros.

Consoante Faria Júnior, Trigo e Cavalcanti (2017), a geração fotovoltaica pode se apresentar de duas maneiras: geração distribuída, na qual o sistema é conectado diretamente na rede pública de distribuição (exemplo na Figura 2), que é principalmente usado por consumidores do tipo residencial e comercial, podendo exportar eventuais excedentes de energia para a rede; e geração centralizada, na qual o sistema opera de forma não conectada e independente da rede pública de energia. Shayani, Oliveira e Camargo (2006) afirmam que a sua utilização de forma distribuída apresenta as vantagens de redução de gastos com os sistemas de transmissão e distribuição, além de permitir desenvolvimento social para localidades não eletrificadas. Pinho e Galdino (2014) complementam afirmando que os sistemas fotovoltaicos conectados dispensam o uso de acumuladores, pois a energia por eles produzida pode ser consumida diretamente ou injetada na rede elétrica, para ser utilizada por outras unidades consumidoras conectadas a essa rede.

Figura 2 - Esquema de geração distribuída conectada à rede



Fonte: ANEEL (2016).

De acordo com Brehm (2014), uma das grandes vantagens da ESF distribuída é o fato de a mesma não apresentar perdas durante a transmissão, já que a geração é feita na própria unidade consumidora; além disso, não há necessidade, portanto, de novos investimentos em transmissão de energia. Pereira *et al.* (2017) afirmam que o Sistema Interligado Nacional (SIN) apresenta uma perda de 15% do total de energia produzida durante a transmissão e a distribuição de energia, e que a distância entre as grandes usinas e os principais centros de consumo é um dos principais fatores que contribuem para essas perdas.

Por outro lado, há algumas desvantagens associadas ao aumento da quantidade de pequenos geradores espalhados na rede de distribuição, tais como: o aumento da complexidade de operação da rede, a dificuldade na cobrança pelo uso do sistema elétrico, a eventual incidência de tributos e a necessidade de alteração dos procedimentos das distribuidoras para operar, controlar e proteger suas redes (ANEEL, 2016, p. 7).

No entanto, sistemas fotovoltaicos podem apresentar perdas internas durante a conversão das correntes e nos cabeadamentos. De acordo com Pinho e Galdino (2014), a eficiência dos inversores varia, normalmente, na faixa de 50 a 95%, podendo diminuir quando estão funcionando abaixo da sua potência nominal. Segundo com os autores, há a possibilidade de perdas de energia nos cabeadamentos, variando entre 1 e 3%. Conforme Valadares (2016), os inversores do SFCR do IFPI Floriano possuem eficiência máxima de 98,2%, e perda aceitável por cabeamento inferior a 4%.

2.2 Aspectos ambientais da energia solar fotovoltaica

A utilização intensa do carvão mineral, possibilitada, principalmente, pelo aparecimento da máquina a vapor, no começo do século XIX, pode ser considerada o marco de uma nova ordem no consumo de energia e, conseqüentemente, dos impactos ambientais associados (REIS, FADIGAS e CARVALHO, 2012).

A demanda global por energia triplicou nos últimos 50 anos, e pode triplicar novamente nos próximos 30 anos. A maioria dessa demanda aumentada no passado ocorreu nos países industrializados, e 90% dela foi satisfeita por combustíveis fósseis. [...] O crescimento da utilização desses combustíveis observado desde o início da era industrial causou o aumento da concentração de dióxido de carbono atmosférico em torno de 30%, assim como a elevação da temperatura global (HINRICHS, KLEINBACH e REIS, 2016, p. 9).

Segundo Reis e Silveira (2012), o uso direto da ESF para satisfazer as necessidades humanas é vantajoso, pois não interfere no equilíbrio térmico da Terra, sendo que não há liberação de gases de efeito estufa pelos módulos fotovoltaicos durante a produção de eletricidade. No contexto brasileiro, Buiatti *et al.* (2016b) afirmam que ao considerar o potencial de crescimento real de utilização da energia solar fotovoltaica conectada à rede, o cenário de redução de emissões de CO₂ também deve ser impactado significativamente, ao reduzir a participação das termelétricas na matriz energética. O autor conclui que, no Brasil, as emissões de carbono pelo Sistema Interligado Nacional (SIN) são relativamente baixas, devido à alta participação das usinas hidrelétricas na composição da matriz energética. Carvalho (2016) complementa que a demanda brasileira por eletricidade tem crescido mais rapidamente que a produção de energia primária, resultando no acionamento das usinas termelétricas, o que faz aumentar o fator de emissão de CO₂ pela geração de energia elétrica no SIN.

Como resposta à ameaça da mudança climática, a comunidade internacional vem desenvolvendo e implementando inúmeras iniciativas para diminuir as concentrações de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera (DIAS e ARROJA, 2012). Durante a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro em 1992, a Rio 92, representantes de 179 países consolidaram uma agenda global a fim de minimizar os problemas ambientais mundiais. Crescia a ideia do desenvolvimento sustentável, buscando um modelo de crescimento econômico e social aliado à conservação ambiental e ao equilíbrio climático em todo o planeta. Nesse cenário, foi elaborada a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (MMA, 2018b). Diante disso, o Brasil criou a Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima, através do Decreto Presidencial de 7 de julho de 1999, que de acordo com essa norma, a Comissão tem por finalidade articular as ações de governo decorrentes da referida Convenção e seus instrumentos subsidiários

Em continuidade à Convenção-Quadro, foi criado o Acordo de Paris, em 2015, com o compromisso de manter o aumento da temperatura média global em bem menos de 2°C acima dos níveis pré-industriais e de envidar esforços para limitar o aumento da temperatura a

1,5°C acima dos níveis pré-industriais, consoante o MMA (2018). Segundo a IRENA (2018a), está implícita, nesse acordo, a necessidade de uma transição para um setor energético de baixo carbono.

Por outro lado, Bogacka, Pikón e Landrat (2017) afirmam que a introdução da ESF pode trazer impactos ambientais negativos, devido à geração de resíduos associados à produção e ao descarte de sistemas fotovoltaicos. Segundo os autores, este fluxo de resíduos ainda pode se agravar, se forem considerados o progresso tecnológico e o aumento da eficiência das células fotovoltaicas, o que por sua vez, poderá resultar em pressão para substituir módulos obsoletos por outros modernos mais rapidamente.

As células solares não emitem gases de efeito estufa, embora não sejam livres de carbono, pois os combustíveis fósseis geralmente são usados para produzir e transportar os painéis. Mas essas emissões são pequenas quando comparadas com aquelas do uso de combustíveis fósseis. As células convencionais contêm materiais tóxicos que devem ser recuperados quando estiverem gastas depois de 20 a 25 anos de uso ou quando forem substituídas por novos sistemas (MILLER e SPOOLMAN, 2015, p. 311).

Ainda sobre o viés ambiental, Malandrino *et al.* (2017) complementam que durante todo o seu ciclo de vida, desde a produção de módulos fotovoltaicos até sua disposição final, quantidades consideráveis de recursos não renováveis são utilizados, e que na composição dos módulos fotovoltaicos (embora em pequenas quantidades) são utilizados alguns metais tóxicos, por exemplo, o cádmio.

A legislação ambiental brasileira não dispõe de norma específica sobre o descarte de módulos fotovoltaicos de nenhum tipo. No entanto, em determinada situação que necessite o gerenciamento de módulos que contenham materiais tóxicos ou outra característica que possa ser danosa à saúde humana ou ao meio ambiente, esses poderiam ser classificados como resíduos perigosos, de acordo com a Lei 12.305, de 2010, que dispõe sobre a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

Resíduos perigosos: aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica (BRASIL, 2010, p. 6).

Vale destacar que os módulos fotovoltaicos também não são contemplados no artigo 33 da PNRS, que versa sobre a logística reversa de resíduos. Esse artigo engloba agrotóxicos, seus resíduos e embalagens; pilhas e baterias; pneus; óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens; lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista; e produtos eletroeletrônicos e seus componentes. Apesar de características semelhantes, os módulos não

podem ser tratados como produto eletroeletrônico que, por definição, de acordo com a Associação Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI, 2013, p. 17), “são todos aqueles produtos cujo funcionamento depende do uso de corrente elétrica ou de campos eletromagnéticos”, como exemplo, refrigeradores, televisores, aparelhos celulares e computadores.

De acordo com Hussin, Issabayeva e Aroua (2017), o problema da geração de resíduos de módulos fotovoltaicos tem recebido muita atenção nos últimos anos. Vellini, Gambini e Prattella (2017) apontam para a importância do processo de reciclagem desses módulos no final da sua vida útil, o qual envolve a recuperação de matérias-primas, e a redução das emissões de materiais que seriam prejudiciais ao meio ambiente, caso fossem despejados em aterros sanitários. Em complemento, BioIS (2011) alerta para os potenciais impactos em disposição inadequada de módulos fotovoltaicos, como a poluição do solo, do ar e da água, causado pelo chumbo e cádmio presentes nos componentes de alguns tipos de módulos.

No entanto, a própria reciclagem desses módulos pode trazer impactos negativos, conforme afirmam Latunussa *et al.* (2016), que elencam como principais, a poluição de recursos hídricos através dos efluentes gerados nos processos químicos, podendo causar danos à saúde humana, bem como poluição atmosférica, causada pela emissão de material particulado e gases de efeito estufa. Ademais, Bezerra, Lira e Silva (2016), ao aplicarem a técnica de Avaliação do Ciclo de Vida ao processo de fabricação de módulos fotovoltaicos, concluíram que grande parte da energia utilizada na produção desses equipamentos é proveniente de fontes não renováveis, principalmente fósseis, tendo em vista os países em que esses módulos são fabricados.

Dubey, Jadhav e Zakirova (2013) afirmam que o desenvolvimento dessa fonte de energia, de forma centralizada, pode requerer grandes quantidades de espaço, podendo competir com outros usos, como a agricultura, mas, no entanto, é possível utilizar terras não agricultáveis para a implantação de usinas fotovoltaicas. Ainda sobre a geração centralizada, no Quadro 1 são elencados os principais impactos ambientais e suas respectivas medidas mitigadoras nas fases de planejamento, operação e construção de usinas fotovoltaicas no âmbito da Avaliação de Impactos Ambientais, de acordo com Tolmasquim (2016).

Quadro 1 - Principais impactos ambientais e medidas mitigadoras relacionadas às usinas fotovoltaicas

Tema	Impactos	Fase	Medidas mitigadoras
Uso e ocupação do solo	Alteração da paisagem;	Construção; operação	Busca pela melhor alternativa locacional;
			Implantação de sistemas de drenagem;
	Alteração do uso do solo;		Manutenção das vias de acesso;
			Programas de Educação Ambiental;
	Interferência na flora e fauna.		Criação de Reserva Legal;
			Programa de monitoramento e resgate de fauna.
População	Geração de expectativas na população	Planejamento; construção; operação	Programa de comunicação;
	Interferência na infraestrutura local (estradas, habitação, saneamento, transporte, saúde, outros);		Programa de Articulação Institucional;
	Interferência/perturbação da população (modo de vida, serviços etc.).		Adequação da infraestrutura local e redimensionamento dos equipamentos e serviços sociais.
Empregos	Geração de empregos temporários durante as obras (positivo);	Construção; operação	Programas de capacitação da mão de obra local;
	Geração de empregos permanentes durante a operação da usina (positivo);		Programas de realocação de trabalhadores.
	Perda dos postos de trabalho temporários após as obras.		
Receita	Aumento na arrecadação de tributos (positivo);	Construção; operação	Ações para capacitação da gestão pública e privada;
	Incremento na economia local (positivo).		Fomento das atividades econômicas locais.

Fonte: Tolmasquim (2016), adaptado pelo autor.

Quanto à geração distribuída, Tolmasquim (2016) afirma que a alteração da paisagem é o principal impacto decorrente da instalação de módulos fotovoltaicos para a geração de energia elétrica, já que os mesmos serão um elemento novo na paisagem. O autor complementa que esse impacto pode ser mitigado através de soluções de arquitetura e *design*, ou através da evolução tecnológica dos módulos.

Uma das questões fundamentais para o desenvolvimento sustentável está na inovação e desenvolvimento de tecnologias de conversão e aproveitamento de recursos energéticos naturais. A necessidade de energia para o desenvolvimento de um país é inquestionável, porém, a aplicação de tecnologias que buscam o incremento da eficiência energética e a

sustentabilidade da produção asseguram e possibilitam um desenvolvimento com impactos ambientais reduzidos (PEREIRA *et al.*, 2017, p. 11).

Devido ao aumento das demandas mundiais por energia e ao futuro esgotamento das reservas de combustíveis fósseis, é necessário desenvolver ainda mais o uso de fontes de energia renováveis (ÇELIKLER e AKSAN, 2015). No entanto, para Hussin, Issabayeva e Aroua (2017), é necessário maior interação entre agências governamentais, ONGs, comunidade de pesquisa e indústria para assegurar esta transição completa nas próximas décadas.

2.3 Aspectos econômicos da energia solar fotovoltaica

Consoante Acikgoz (2011), a energia é essencial para o desenvolvimento socioeconômico, e a sua disponibilidade de forma abundante, a preços acessíveis e com baixos riscos ambientais, é condição para uma economia sustentável. Conforme Rocha *et al.* (2017), o Brasil tem um bom potencial de radiação solar em todo o seu território; no entanto, devido ao atual estágio de evolução e à cadeia produtiva da indústria fotovoltaica brasileira, os altos custos limitam a expansão dessa tecnologia de geração de energia, uma vez que o custo do investimento impacta diretamente a viabilidade de um projeto.

Uma das principais barreiras para a difusão da ESF, no Brasil, são os custos de investimento inicial. Entretanto, esses custos têm apresentado reduções significativas, fazendo com que a geração fotovoltaica já comece a se tornar competitiva com relação a outras fontes de geração de eletricidade (PINHO e GALDINO, 2014). Ao mesmo tempo em que esses custos têm diminuído, parcerias entre governo e setor privado têm sido firmadas para solucionar problemas de fabricação que interferem no custo dos módulos e na sua eficiência. A inclusão da ESF no mercado global será basicamente determinada por decisões políticas e econômicas (HINRICHS, KLEINBACH e REIS, 2016).

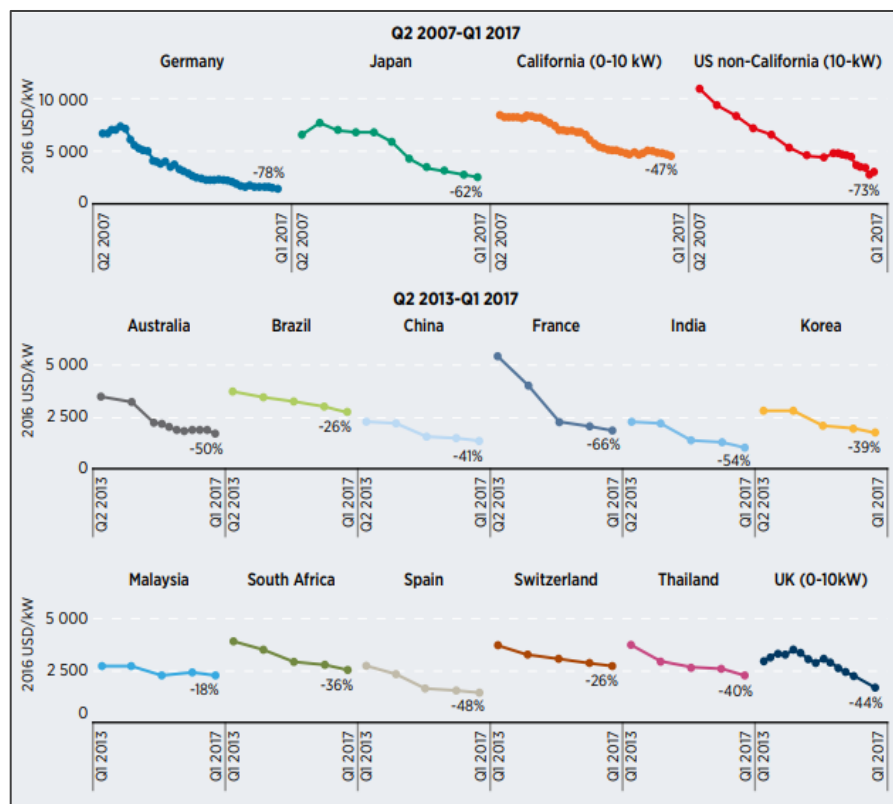
Ainda sobre custos, Reis, Fadigas e Carvalho (2012, p. 252) reafirmam que “os avanços tecnológicos que promovem um aumento na eficiência de conversão energética e as melhorias nos métodos de produção industriais são os grandes responsáveis pela diminuição nos preços dos módulos fotovoltaicos”. Chandel, Naik e Chandel (2015) acrescentam que o aumento da eficiência das células solares reduzirá os custos de instalação de um sistema, ao diminuir o número de módulos necessários, e, também, como consequência, uma menor área física será requerida para esta instalação.

Paralelamente, empresas que atuam no ramo da instalação de SFCR, começam a oferecer mecanismos de financiamento, através dos quais um cliente pode pagar o custo da

instalação com a economia de energia gerada pelo próprio sistema. Com o histórico de crescimento das tarifas de energia, essa opção fica cada vez mais viável para o consumidor (PEREIRA *et al.*, 2017).

De acordo com dados da IRENA (2018), os custos de instalação de projetos fotovoltaicos diminuíram em 68% entre 2010 e 2017, a nível global, tendo como um dos fatores o declínio dos preços dos módulos fotovoltaicos. Os custos médios da instalação de sistemas solares fotovoltaicos residenciais, por país, são demonstrados na Figura 3.

Figura 3 - Custos totais médios de instalação de sistemas fotovoltaicos residenciais, por país, nos últimos anos



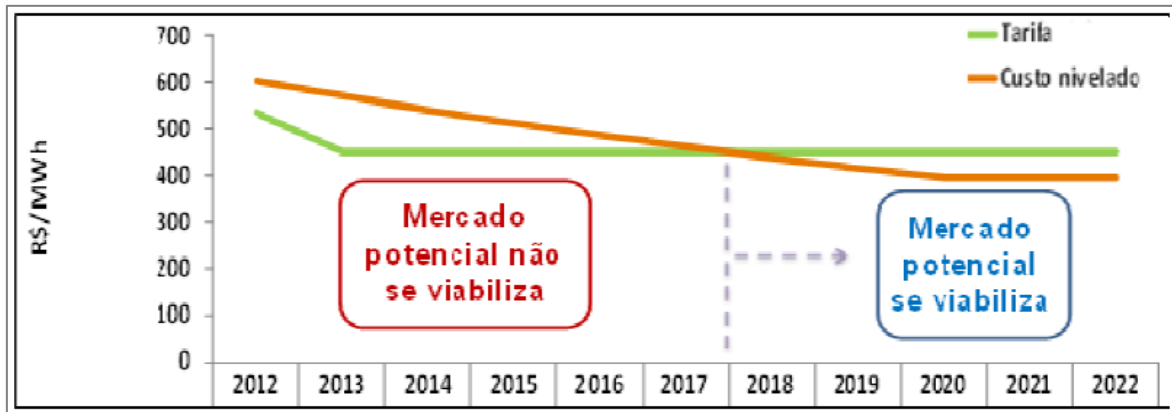
Fonte: IRENA (2018).

Percebe-se, na Figura 3, que o Brasil segue a tendência mundial quanto à queda dos custos de instalação de sistemas fotovoltaicos. Segundo IRENA (2018), o aumento da eficiência dos módulos fotovoltaicos (de 12% para 17% na última década), associado à melhoria dos processos de produção dos mesmos, é o principal fator responsável pelo declínio dos custos de implantação de sistemas.

Consoante Nakabayashi (2014), o nível de irradiação solar disponível também influencia no custo de sistemas, e em algumas cidades brasileiras já ocorre a chamada paridade tarifária, que é a equiparação dos preços entre a energia elétrica gerada por SFCR e a

tarifa de energia elétrica convencional. De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2016), há perspectiva de que para a geração fotovoltaica, a paridade tarifária seja atingida ainda nesta década, conforme Figura 4.

Figura 4 - Estimativa da viabilidade econômica da fonte fotovoltaica



Fonte: EPE (2016).

“A queda nos preços dependerá não apenas da evolução tecnológica, mas também por meio de incentivos governamentais e esclarecimento do consumidor quanto ao funcionamento e benefícios da tecnologia” (REIS, FADIGAS e CARVALHO, 2012, p. 252). Faria Júnior, Trigoso e Cavalcanti (2016) concluem que a falta de tecnologia produzida em solo brasileiro continua sendo uma das principais barreiras ao desenvolvimento da energia solar, e que a produção de módulos fotovoltaicos e outros equipamentos, no Brasil, seria um grande salto para o barateamento dessa fonte.

2.4 Aspectos legais e incentivos da energia solar fotovoltaica no Brasil

A disponibilidade das fontes de energia de uma nação tem uma importância que vai além da questão econômica, pois engloba o bem-estar da população, a defesa e a soberania nacional. Segundo Acikgoz (2011), muitos países desenvolvidos, e em desenvolvimento, mudaram suas políticas de energia para implementar fontes de energia renováveis e menos impactantes do ponto de vista ambiental. Simioni (2011) afirma que para garantir o provisão energético é necessário planejamento das decisões políticas, tendo em conta o cumprimento das condições necessárias para evitar a dependência de uma matriz às flutuações econômicas, políticas e militares da sociedade mundial.

A Constituição Federal Brasileira de 1988 não cita especificamente outra fonte de energia renovável, que não seja a energia hidráulica, a qual representa mais de 60% da matriz elétrica do país na atualidade. Vale ressaltar que no período em que foi criada a Constituição,

as demais fontes renováveis de geração elétrica ainda não eram amplamente conhecidas no Brasil.

No intuito de regulamentar as atividades relacionadas ao petróleo, seus derivados e aos biocombustíveis, foi criada a Política Energética Nacional, pela Lei nº 9.478, de 1997. Um dos objetivos dessa Lei é fomentar a pesquisa e o desenvolvimento relacionados à energia renovável, não exemplificando as fontes. A energia solar é citada no artigo que cria o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), o qual tem como um dos seus objetivos estabelecer diretrizes para programas específicos, como os de uso do gás natural, do carvão, da energia termonuclear, dos biocombustíveis, da energia solar, da energia eólica e da energia proveniente de outras fontes alternativas. Quanto ao estado do Piauí, foi criada, em 2009, a Lei Ordinária nº 5.936, que institui a política estadual de incentivo ao aproveitamento da energia solar. Essa Lei possui um caráter geral e de pouca aplicabilidade, propondo apenas uma base legal para o incentivo da energia solar no estado. Dentre os objetivos da citada Lei, propõe-se a estimular os investimentos e a implantação dos sistemas de energia solar, englobando o desenvolvimento tecnológico, em empreendimentos particulares e públicos, residenciais, comunitários, comerciais e industriais.

Outro evento importante nesse contexto foi a criação do Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios (PRODEEM), através do Decreto Presidencial de 27 de dezembro de 1994. Um dos objetivos desse Programa é complementar a oferta de energia dos sistemas convencionais, com a utilização de fontes de energia renováveis descentralizadas. Essa Norma também definiu o Ministério de Minas e Energia como responsável por coordenar e promover o desenvolvimento do referido Programa.

A fim de regular os serviços públicos de energia elétrica, foi promulgada a Lei nº 9.427, em 1996, a qual cria a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que tem por finalidade, regular e fiscalizar a produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica, em conformidade com as políticas e diretrizes do governo federal. Um fato importante na política energética brasileira foi a criação da Lei nº 10.848, de 2004. Essa norma, que dispõe sobre a comercialização da energia elétrica, possibilita que as empresas distribuidoras de energia atendam o mercado considerando também a energia elétrica proveniente de geração distribuída, conforme o texto a seguir:

Art. 2º As concessionárias, as permissionárias e as autorizadas de serviço público de distribuição de energia elétrica do Sistema Interligado Nacional – SIN deverão garantir o atendimento à totalidade de seu mercado, mediante contratação regulada, por meio de licitação, conforme regulamento, o qual,

observadas as diretrizes estabelecidas nos parágrafos deste artigo, disporá sobre:

§ 8º No atendimento à obrigação referida no caput deste artigo de contratação da totalidade do mercado dos agentes, deverá ser considerada a energia elétrica:

a) geração distribuída, observados os limites de contratação e de repasse às tarifas, baseados no valor de referência do mercado regulado e nas respectivas condições técnicas (BRASIL, 2004, p. 3).

Segundo Nascimento (2017), a ANEEL deu um grande passo para ampliar a utilização de energia solar fotovoltaica em unidades consumidoras, ao editar a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, que estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, criando o sistema de compensação de energia, no qual se injeta a energia produzida na rede, sendo tal energia abatida do consumo da própria unidade ou de outra do mesmo titular.

A resolução 482, de 2012, foi alterada pela resolução 687, de 2015, definindo microgeração e minigeração distribuída e o sistema de compensação de energia da seguinte forma:

Art. 2º Para efeitos desta Resolução ficam adotadas as seguintes definições:

I - microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;

II - minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5MW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;

III - sistema de compensação de energia elétrica: sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa (ANEEL, 2015, p. 2).

De acordo com Menezes *et al.* (2016), essa resolução foi um marco importante para o início da implementação da micro e minigeração distribuída por fontes renováveis no Brasil. Zanetti Neto, Costa e Vasconcelos (2014) afirmam que a resolução nº 482, de 2012, inaugurou um novo modelo para o sistema elétrico brasileiro, ao permitir a geração distribuída, além de criar as condições para que as distribuidoras de energia aceitem a instalação e operação de sistemas de energia em paralelo a suas redes de distribuição. Concluem que a legislação brasileira alinhou-se às práticas similares já adotadas em outros países.

Uma década antes da resolução nº 482/2012, o governo brasileiro, através da Lei nº 10.438, de 2002, instituiu o Programa Nacional de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia (Proinfa), e segundo a ANEEL (2017b), esse programa tem o objetivo de aumentar a participação de fontes alternativas renováveis (pequenas centrais hidrelétricas, usinas eólicas e empreendimentos termelétricos a biomassa) na produção de energia elétrica, privilegiando empreendedores que não tenham vínculos societários com concessionárias de geração, transmissão ou distribuição. Nesse programa, não há menção sobre a energia solar, tanto térmica como fotovoltaica, porém, a Lei nº 10.438, de 2002, que criou o Proinfa, instituiu, em seu artigo 13º, a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), que dentre outros objetivos, visa promover a competitividade da energia produzida a partir de fontes eólica, termossolar, fotovoltaica, pequenas centrais hidrelétricas, biomassa, outras fontes renováveis e gás natural.

De acordo com a ANEEL (2018d), os recursos da CDE são arrecadados principalmente das quotas anuais pagas por todos os agentes que comercializam energia elétrica como consumidor final, mediante encargo tarifário incluído nas tarifas de uso dos sistemas de distribuição e transmissão de energia, além dos pagamentos anuais realizados pelos concessionários e autorizados a título de Uso de Bem Público – UBP, das multas aplicadas pela ANEEL e da transferência de recursos do Orçamento Geral da União.

Como incentivo à geração distribuída, a Lei nº 13.169, de 2015, isenta a contribuição ao Programa de Integração Social – PIS e à Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social – COFINS incidentes sobre a energia elétrica ativa fornecida pela distribuidora à unidade consumidora, na quantidade correspondente à soma da energia elétrica ativa injetada na rede de distribuição pela mesma unidade consumidora com os créditos de energia ativa originados na própria unidade consumidora no mesmo mês, em meses anteriores ou em outra unidade consumidora do mesmo titular, nos termos do Sistema de Compensação de Energia Elétrica para microgeração e minigeração distribuída, conforme regulamentação da ANEEL.

Com a publicação da Lei nº 13.169, de 2015, que foi resultado de várias gestões da ANEEL junto ao Ministério de Minas e Energia e ao Ministério de Planejamento, Orçamento e Gestão, a incidência do PIS e da COFINS passou a acontecer apenas sobre a diferença positiva entre a energia consumida e a energia injetada pela unidade consumidora com micro ou minigeração distribuída. Tendo em vista que o PIS e a COFINS são tributos federais, a regra estabelecida pela lei vale igualmente para todos os Estados do país (ANEEL, 2016). Já o Convênio ICMS 16/2015 do Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ) autoriza, mas não obriga os estados a concederem isenção do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços – ICMS incidente sobre a energia elétrica fornecida pela distribuidora à unidade consumidora, na quantidade correspondente à soma da energia elétrica injetada na rede de

distribuição pela mesma unidade consumidora com os créditos de energia ativa originados na própria unidade consumidora ou em outra unidade consumidora do mesmo titular, nos termos do Sistema de Compensação de Energia Elétrica. De acordo com esse Convênio, desde 1º de julho de 2018, a totalidade dos Estados brasileiros já havia aderido à Norma, sendo que a adesão do Piauí aconteceu em setembro do ano de 2016.

Para ampliar o uso de energia solar fotovoltaica na matriz energética do Brasil, Wanderley e Afonso (2015) propõem que devem ser tomadas medidas que atendam às características do sistema elétrico do país, bem como: política e financiamento tributário, consolidação de uma cadeia produtiva, desenvolvimento de pesquisas e projeto de inovação tecnológica, políticas de longo prazo dos governos, uma boa estrutura regulatória e a dispersão de instalações de geração de energia solar fotovoltaica para grandes áreas geográficas. Ocetkiewicz, Tomaszewskab e Mróz (2017) complementam afirmando que a política energética deve ter uma abordagem holística, considerando parâmetros como tecnologia, economia, política, sociedade e educação.

2.5 Panorama da energia solar fotovoltaica

2.5.1 Brasil

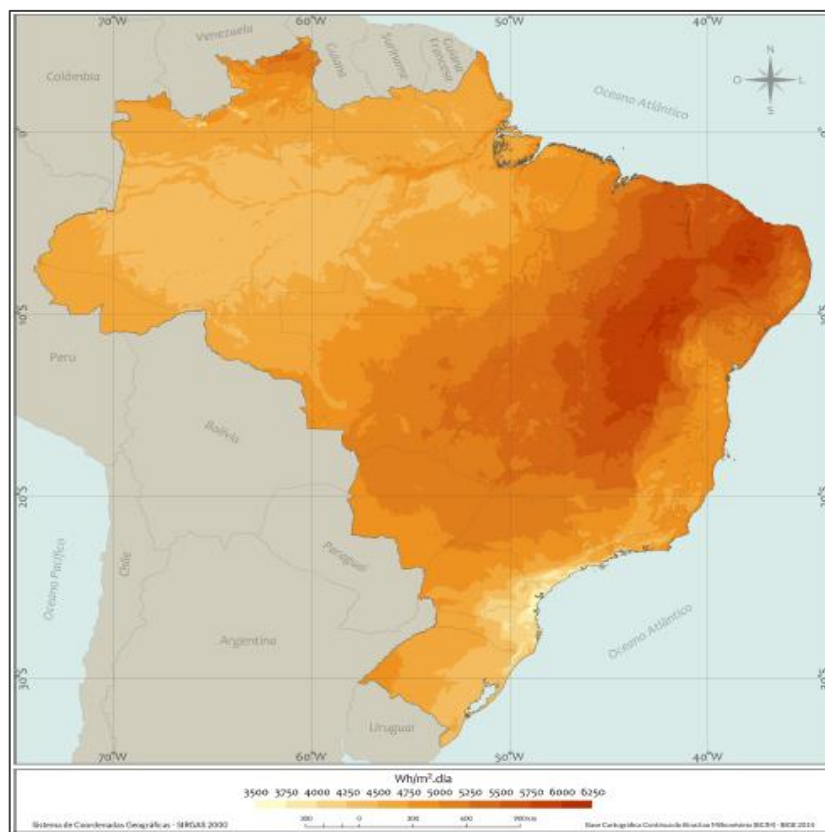
Segundo Rosa e Gasparin (2016), a ESF já é uma fonte bem desenvolvida tecnologicamente para produção de energia elétrica, e os desafios existentes no Brasil vêm sendo superados lentamente; no entanto, ainda há diversos desafios para que essa fonte de energia seja estabelecida amplamente.

Quanto aos recursos naturais, o Brasil possui vantagens, tais como altos níveis de insolação e grandes reservas de quartzo, que podem gerar competitividade na produção de silício para fabricação de células solares (EPE, 2012). De acordo com Moraes (2015), a inserção de outras fontes de energia na matriz brasileira, como solar e eólica, dará mais flexibilidade à geração hidrelétrica, no caso de possível diminuição do nível dos seus reservatórios. O autor ressalta que os períodos de maior escassez de água, em algumas regiões, coincidem com os períodos de maior vento e irradiação solar.

Dada sua localização geográfica, o Brasil é particularmente privilegiado por ter níveis de irradiação solar superiores aos de nações desenvolvidas e, portanto, dispõe de grande potencial para o aproveitamento da energia solar. O país possui ótimos níveis de irradiação solar, principalmente na região Nordeste, especificamente no semiárido. Esse fator coloca esta região em posição de destaque em relação a regiões do mundo com maior potencial de energia solar (MONTENEGRO, 2013, p. 3)

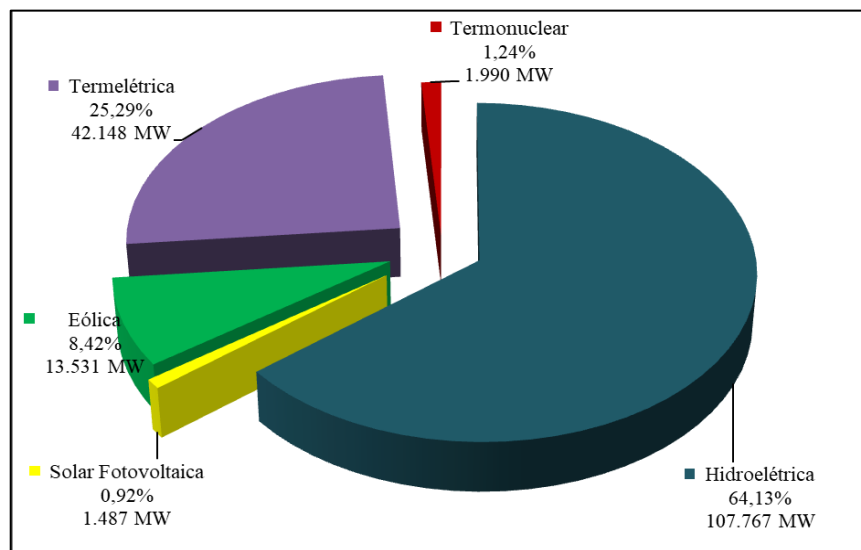
A Figura 5 representa o total diário de irradiação solar, em média, por ano no Brasil, que foi de 5.153 Wh/m² por dia, com destaque para a região Nordeste, cujo valor observado foi de 5.483 Wh/m² por dia, com base no Atlas Brasileiro de Energia Solar, elaborado por Pereira *et al.* (2017). De acordo com esses autores, os índices demonstram o alto nível de irradiação solar do país, ao se comparar, por exemplo, com o que se observa em países onde a tecnologia solar já está bem consolidada, como Alemanha, Espanha, Itália, Portugal e França.

Figura 5 - Total diário de irradiação global no Brasil



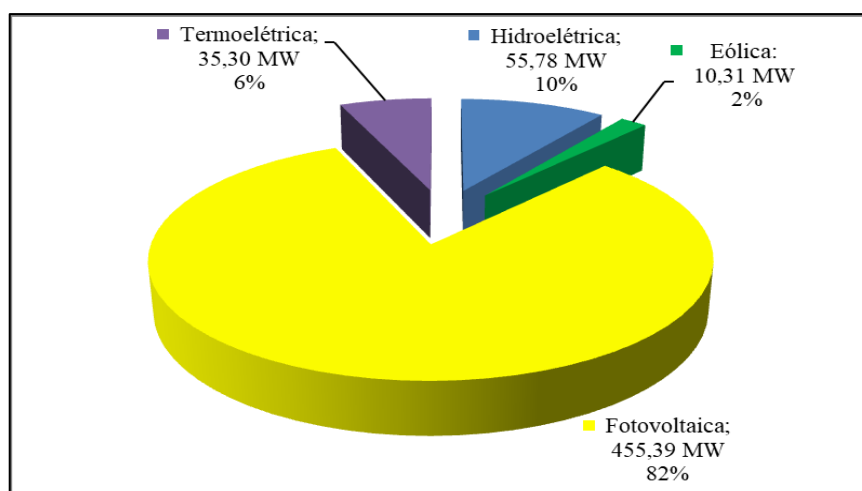
Fonte: Pereira *et al.* (2017).

Kipper, Gasparin e Krenzinger (2018) apontam para a necessidade de diversificação da matriz elétrica, uma vez que a matriz do país se dá majoritariamente por meio de hidroelétricas, cuja disponibilidade varia conforme o período de chuvas, o que necessita, muitas vezes, do acionamento das termelétricas, quando da escassez de chuvas em determinadas épocas do ano. Os autores citam a energia solar como uma alternativa viável. “O problema é que a operação do sistema de energia é muito sensível a secas que podem reduzir drasticamente os níveis de armazenamento de água dos reservatórios e levar a um período de racionamento” (FARIA JÚNIOR, TRIGOSO, CAVALCANTI, 2016, p. 470). A Figura 6 apresenta a matriz elétrica brasileira por fonte.

Figura 6 - Matriz elétrica brasileira por fonte

Fonte: Elaborada pelo autor, com base nos dados da ANEEL (2018b).

Percebe-se, pela Figura 6, que dentre as fontes de energia presentes no sistema elétrico brasileiro, a solar fotovoltaica é a que tem a menor capacidade instalada, aparecendo de forma pouco expressiva como matriz elétrica do país, com apenas 0,92% do total. Observa-se, ainda, a predominância da fonte hidroelétrica, que representa 64,13% da matriz. No gráfico, não está incluída a geração fotovoltaica distribuída conectada à rede, porém, a Figura 7 apresenta a potência instalada (MW e percentual) por fonte de energia distribuída no Brasil.

Figura 7 - Potência instalada em MW por fonte de geração distribuída no Brasil

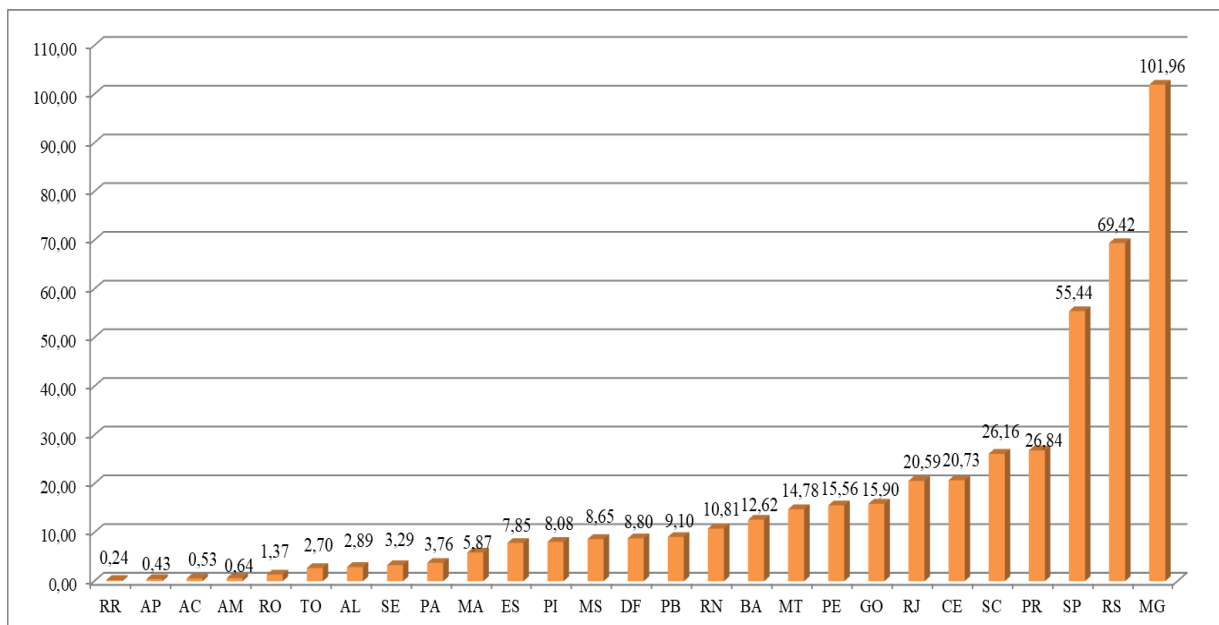
Fonte: Elaborada pelo autor, com base nos dados da ANEEL (2018a).

Quanto à geração solar distribuída, o Brasil possui um total de 45.011 sistemas fotovoltaicos conectados à rede, que corresponde a uma potência instalada de 455,5 MW. O Estado mais representativo é Minas Gerais, com potência instalada de 101,96 MW, conforme ilustra a Figura 8. O Piauí aparece na 14ª colocação dentre os estados brasileiros, com uma

potência instalada de 8,08 MW. De acordo com a ANEEL (2017a), devido à flexibilização das normas relacionadas à geração distribuída, estima-se que até 2024, no Brasil, terão sido instalados mais de 1,2 milhão de SFCR conectados à rede, dentro da classificação de micro e minigeração distribuída.

Desta forma, no cenário atual, a energia solar e outras energias renováveis não serão empregadas imediatamente em substituição aos combustíveis fósseis ou à energia hidráulica, e sim, gradativamente inseridas, de forma a complementar às atuais fontes através de sistemas energéticos híbridos e de geração distribuída. As limitações ao uso da energia solar tendem a ser reduzidas ou até mesmo eliminadas com o tempo, principalmente em resposta ao crescimento da demanda de energia mundial, devido ao crescimento das economias de países em desenvolvimento, ao aparecimento de novas tecnologias de armazenamento de energia e ao crescimento da escala de mercado das mesmas (LIMA *et al.*, 2018).

Figura 8 - Potência instalada em MW de ESF conectada à rede por Estado



Fonte: Elaborada pelo autor, com base nos dados da ANEEL (2018a).

Consoante Pereira *et al.* (2017), o recurso solar no Brasil se torna uma opção para complementação de fontes convencionais de energia já consolidadas. Os autores ressaltam o importante papel que essa fonte pode desempenhar na expansão da matriz elétrica brasileira, aumentando sua resiliência com a diversificação das fontes que a compõem. Em complemento, a EPE (2012, p.1) enfatiza a atuação do poder público no contexto da diversificação da matriz brasileira: “[...] cabe ao Estado, em sua função de planejador,

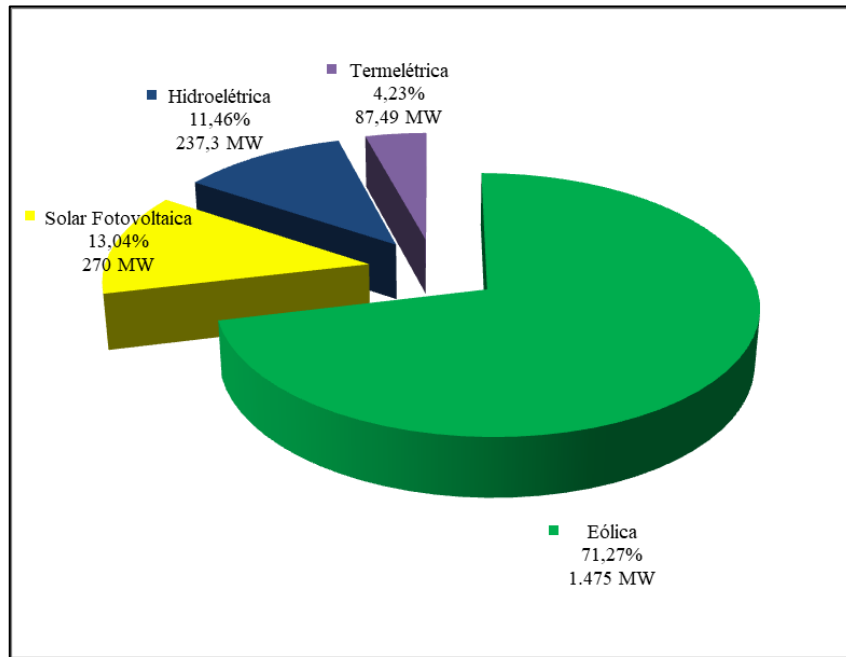
encontrar os meios de incentivar a tecnologia solar para que esta possa contribuir para o objetivo nacional de desenvolvimento econômico e de sustentabilidade da matriz energética”.

2.5.2 Piauí

Segundo Moraes (2013), o uso da energia fotovoltaica no Piauí não é algo recente, e uma das primeiras aplicações dessa fonte no Estado foi na década de 80, implantada em estações repetidoras de sinal pela empresa estatal de telecomunicações, a antiga TELEPISA. De acordo com Moraes, Firmeza e Lira (2018), nos últimos anos a, ESF no Piauí vem crescendo de forma exponencial, tanto na geração centralizada quanto na geração distribuída. A primeira proporcionada pela realização de leilões de energia de reserva (LER), e a segunda após a publicação da resolução da Aneel nº 482, de 2012, que permite a micro e minigeração distribuída no país.

Tratando-se de geração centralizada, foi inaugurado, em novembro de 2017, o Parque Solar Nova Olinda, na cidade de Ribeira do Piauí, a 380 km de Teresina. De acordo com a empresa responsável (Enel Green Power Brasil), a usina é a maior do gênero na América Latina, e foram investidos, na construção, cerca de R\$ 1 bilhão (G1, 2017). A Usina Nova Olinda tem potência instalada de 292 MWp. Tal empreendimento foi resultado de um leilão de energia de reserva realizado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) no ano de 2015. Além disso, no Piauí, foram aprovadas 179 MW em novas usinas fotovoltaicas no último leilão de energia, em abril de 2018 (MORAES, FIRMEZA, LIRA, 2018).

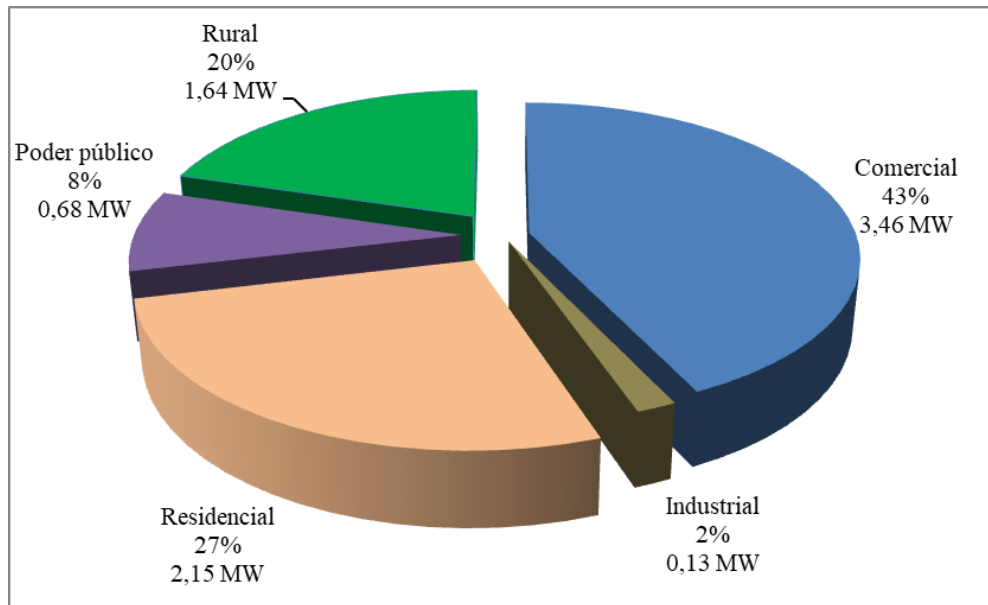
Conforme dados da ANEEL (2018c), a matriz elétrica do Estado do Piauí, hoje se destaca a energia eólica, com mais de 70% de participação quanto à potência instalada. A geração solar fotovoltaica de forma centralizada apresenta um percentual maior de participação quando comparada à sua participação na matriz elétrica nacional, com 13,04% de participação, chegando a superar, inclusive, a fonte hidroelétrica, a qual predomina no país, conforme observado na Figura 9.

Figura 9 - Matriz elétrica do Estado do Piauí por fonte

Fonte: Elaborada pelo autor, com base nos dados da ANEEL (2018c).

Quanto à geração distribuída no Piauí, a totalidade corresponde SFCD, existindo 455 sistemas no Estado, que corresponde a um total de 8,08 MW de potência instalados. Desse total, destacam-se os sistemas de classe Comercial, com 43%, conforme se pode observar na Figura 10. De acordo com os dados da ANEEL (2018a), o SFCD do IFPI Campus Floriano encontra-se na classe “poder público” e é o terceiro maior do Estado dentre os sistemas de geração distribuída, com potência instalada de 150 kW. Nessa classe também se encontra o SFCD da Universidade Federal do Piauí, Campus Petrônio Portela, em Teresina (35,34 kW), e da Secretaria Municipal de Educação do Município de Sebastião Leal (8 kW). Na classe “rural”, o grande destaque é o SFCD da Fazenda Progresso, também em Sebastião Leal (1.600 kW). Interessante relatar que os sistemas dessa fazenda, da Secretaria Municipal de Educação e do IFPI Campus Floriano foram instalados pela mesma empresa.

Figura 10 - Geração distribuída no Piauí por classe e percentual de potência instalada



Fonte: Elaborada pelo autor, com base nos dados da ANEEL (2018a).

Moraes, Firmeza e Lira (2018) concluem que o Piauí possui condições ideais para o aproveitamento da energia solar, porém, políticas públicas voltadas para o setor das energias renováveis são cruciais para sua expansão. Os autores acreditam que a expansão da ESF no Estado trará ganhos em termos de desenvolvimento e ambientais.

2.5.3 Floriano

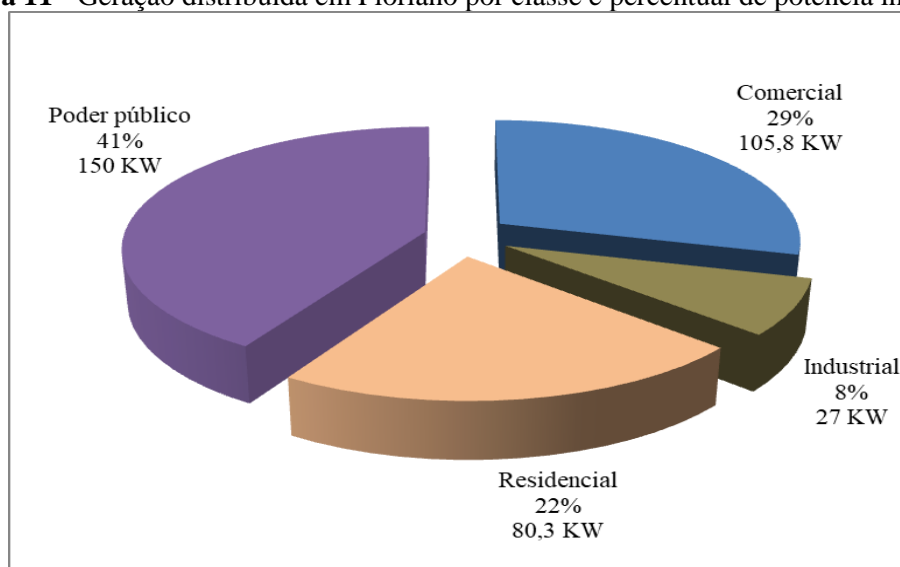
De acordo com Moraes (2013), o histórico de aplicação da ESF no Município de Floriano remonta à época da atuação do Centro de Educação São Francisco de Assis, uma Organização Não Governamental que possuía sede em Floriano. No fim dos anos 2000, essa Organização implantou sistemas fotovoltaicos para eletrificação rural, iluminação, eletrificação de cercas para pecuária e bombeamento de água em comunidades rurais da região. Durante a pesquisa de Moraes (2015), foram visitados alguns SFCR para bombeamento de água em diversas comunidades rurais no Estado do Piauí, inclusive no Município de Floriano, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Informações sobre os SFV isolados instalados em comunidades rurais em Floriano

Comunidade	Entidade participante	Potência (Wp)	Ano de Instalação	Situação do SFV
Cabaceiro	Diocese de Floriano	360	2008	Operativo
B. Entrada	Diocese de Floriano	450	2008	Operativo
Poço do Peixe	Diocese de Floriano	450	2007	Operativo
Betânia	Diocese de Floriano	540	2010	Operativo
Uica	Diocese de Floriano	520	2008	Operativo
Morro do Tiro	Diocese de Floriano	450	2007	Operativo

Fonte: Moraes (2015), adaptada pelo autor.

No panorama atual, o Município de Floriano possui um total de 21 SFCR, o que representa uma potência instalada de 363,1 kW. Enquanto no Estado a classe “comercial” tem maior destaque quanto à potência instalada; no município, a classe “poder público” apresenta maior representatividade em potência instalada. Ressalta-se que nessa classe só existe apenas um SFCR, que é o do IFPI Campus Floriano, correspondendo à grande parcela da potência no Município, sendo o único de minigeração desse. Percebe-se, também pela Figura 11, que não existem SFCR da classe “rural” em Floriano, de acordo com os dados da ANEEL (2018a).

Figura 11 - Geração distribuída em Floriano por classe e percentual de potência instalada

Fonte: Elaborada pelo autor, com base nos dados da ANEEL (2018a).

A Figura 12 mostra os módulos de um SFCR (27 kW de potência) sobre o telhado de uma indústria de panificação, e a Figura 13 apresenta um exemplo da classe “comercial”, sobre o telhado de uma lanchonete, de 12,5 kW de potência instalada, no município de Floriano-PI.

Figura 12 - Módulos sob o telhado de uma indústria no Município de Floriano-PI



Fonte: O autor (2018).

Figura 13 - Módulos sob o telhado de uma lanchonete no Município de Floriano-PI



Fonte: O autor (2018).

2.6 Produção científica sobre energia solar fotovoltaica

No Brasil, há diversos grupos de pesquisa e entidades voltadas à pesquisa sobre energia solar. Dentre as entidades, a Empresa de Pesquisa Energética – EPE, de acordo com a sua Lei de criação nº 10.847, de 2004, tem por finalidade prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético, tais como energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados, carvão mineral, fontes energéticas renováveis e eficiência energética, dentre outras.

Antes da realização da pesquisa principal, foram levantadas publicações de análise bibliométrica sobre ESF com as palavras-chave “*photovoltaic energy*” e “*bibliometric*”, utilizando operador booleano “*and*”. Nessa consulta, foram encontradas 18 publicações do tipo bibliométrica. Algumas publicações abordavam sobre energias renováveis ou energia solar de forma mais generalizada, mas nenhuma que tratasse especificamente de ESF foi encontrada. Dentre estas análises bibliométricas encontradas, destaca-se Du *et al.* (2014), que fizeram um levantamento sobre a literatura relacionada à energia solar entre os anos de 1992 e 2011, utilizando as palavras-chave “*solar energy*” e “*solar energies*”, mas não especificando o operador booleano, encontrando 7.835 documentos. Os autores ressaltam o valor das técnicas bibliométricas e métodos de análise de palavras-chave para revelar as tendências de pesquisa sobre um determinado tema, a nível global.

Outro trabalho em destaque foi o de Casado *et al.* (2014), que utilizando a base de dados *Web of Science*, realizaram um estudo bibliométrico das publicações científicas na Espanha e Alemanha, e segundo os autores, são os países da União Europeia que possuem a maior capacidade instalada de ESF. Apesar disso, concluíram que os Estados Unidos é o país com o maior número de publicações sobre energia solar, de acordo com a pesquisa. Dong *et*

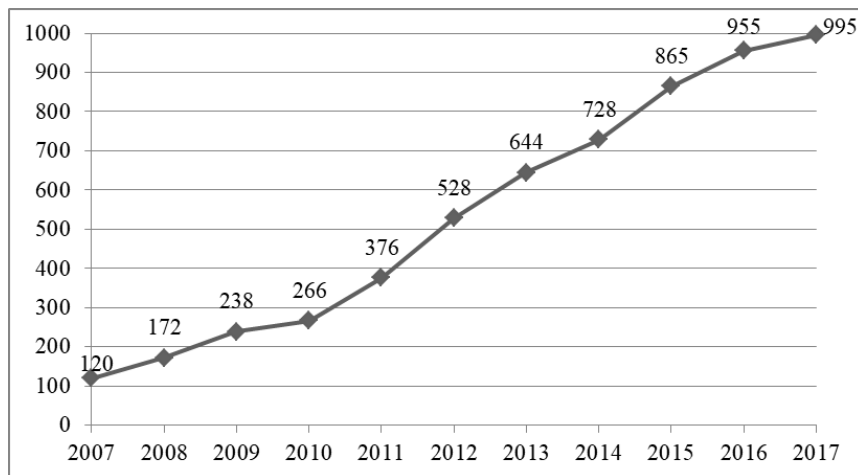
al. (2012) fizeram um estudo bibliométrico sobre energia solar, entre os anos de 1991 e 2010, utilizando o *Science Citation Index*, com as palavras-chave “*Solar cell*”, “*solar energy*”, “*solar power*”, “*solar radiation*” e “*solar thermal*” para sua pesquisa. Foram encontrados 45.559 artigos, em 2.924 periódicos. De acordo com esse estudo, os EUA mostraram a maior contagem de artigos no mundo sobre energia solar nesse período.

Esta seção tem como objetivo fazer um levantamento bibliométrico sobre publicações que abordam a temática energia solar fotovoltaica no mundo e no Brasil. A base de dados utilizada nesta pesquisa foi o *Web of Science*, através do acesso remoto pelo portal da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, autorizado para o Instituto Federal do Piauí (IFPI). No estudo bibliométrico de Silva (2016), afirma-se que a *Web of Science* é uma base de dados desenvolvida pela Thomson Reuters, na qual são indexados periódicos do mundo todo.

Foram utilizadas as palavras-chave “*solar energy*” e “*photovoltaic*” com o operador boleano “*and*”, a fim de especificar energia solar fotovoltaica dentro do escopo da energia solar, na qual se inclui também a energia solar térmica. Foram filtradas as publicações entre os anos de 2007 e 2017. Na consulta geral, foram registradas 5.887 publicações no total.

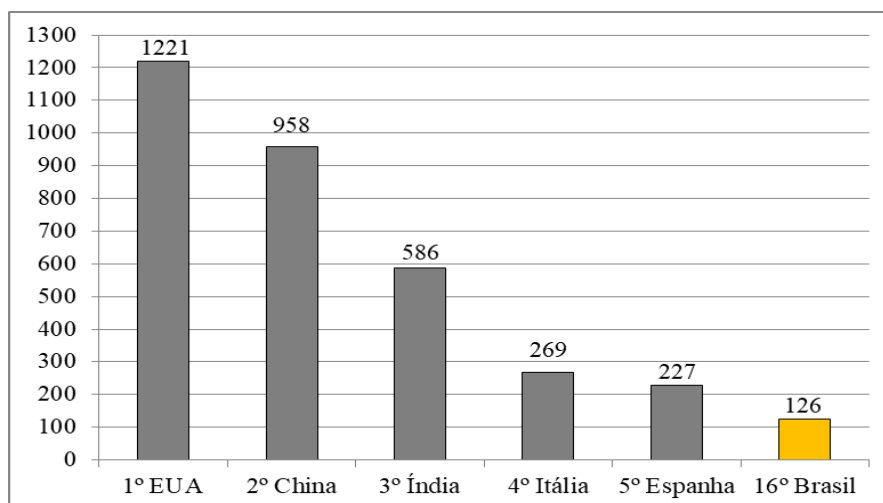
Os periódicos em maior destaque na pesquisa foram: *Renewable Sustainable Energy Reviews*, com 281 publicações; *Solar Energy* (188); *Energy Procedia* (142). Esses periódicos foram analisados na Plataforma Sucupira da CAPES, a fim de conhecer o Qualis nos quais estão enquadrados. Foi selecionada a classificação no quadriênio mais atual, que é de 2013-2016. O Qualis afere a qualidade dos artigos e de outros tipos de produção, a partir da análise da qualidade dos veículos de divulgação, ou seja, periódicos científicos. A classificação de periódicos é realizada pelas áreas de avaliação e passa por processo anual de atualização. Esses veículos são enquadrados em estratos indicativos da qualidade - A1, o mais elevado; A2; B1; B2; B3; B4; B5; C - com peso zero (CAPES, 2018). Os periódicos com melhores classificações do Qualis-Capes foram o *Renewable Sustainable Energy Reviews* (A1), seguido por *Solar Energy* (A1 e A2), *Energy Procedia* (B5 e C).

Utilizando o filtro “país/território”, foram identificadas 126 publicações no Brasil, nesse período de 10 anos. Para uma análise mais detalhada dos temas, foi utilizada a ferramenta “analisar resultados”, do *Web of Science*, a fim de conhecer os dados estatísticos e/ou *ranking* sobre um determinado tema. A Figura 14 demonstra a quantidade de publicações sobre energia solar fotovoltaica no mundo entre os anos de 2007 e 2017. É possível perceber que houve um grande crescimento do número de publicações nesse período.

Figura 14 - Quantidade de publicações sobre energia solar por ano no mundo

Fonte: *Web of Science* (2018), adaptado pelo autor.

Utilizando o filtro “países/territórios” e, em seguida, a ferramenta “analisar resultados”, foi encontrado um total de 97 países que já publicaram sobre energia solar fotovoltaica. A Figura 15 representa a participação dos cinco primeiros países, mais o Brasil, no *ranking* de publicações no período de 2007 à 2017.

Figura 15 - Ranking mundial de publicações

Fonte: *Web of Science* (2018), adaptado pelo autor.

A pesquisa bibliométrica em ESF ainda é escassa, estando mais presente em análises sobre energia solar de forma geral, as quais incluem também a energia solar térmica. Esse tipo de pesquisa pode auxiliar no embasamento bibliográfico e oportunizar pesquisa em locais onde a ESF é relativamente pouco difundida.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 Área de estudo

A área de estudo é o Campus do IFPI situado em Floriano-PI, município que possui 57.690 habitantes, segundo o IBGE (2010). De acordo com Brito e Costa (2012), a região apresenta clima subúmido seco; e segundo Pereira *et al.* (2017), a irradiação solar média é entre 5,5 e 5,75 kWh/m². De acordo com dados cedidos pela direção geral, o Campus possui em torno de 80 professores, 62 técnico-administrativos, 39 servidores terceirizados e um total de 1.178 alunos, funcionando nos turnos manhã, tarde e noite. Em termos de estrutura física, o Campus conta com 10 salas de aula, laboratórios, setor médico, refeitório, biblioteca, auditórios, salas administrativas, áreas de esporte, academia e áreas verdes.

De acordo com Valadares (2016), o SFCR em estudo ocupa, aproximadamente, 1.122 m² de telhado do Campus e possui uma potência instalada de 150 kWp, distribuídos em 5 arranjos fotovoltaicos. Existem arranjos de 34 módulos, de 60 módulos, de 110 módulos, e outros dois arranjos de 228 módulos, resultando em 660 módulos no total. O investimento total foi na ordem de R\$ 1.150.500, que envolveu os equipamentos, a elaboração do projeto e o treinamento com funcionários do Campus. A Figura 16 apresenta imagem aérea do IFPI Campus Floriano, com destaque para o sistema de minigeração fotovoltaica implantado sobre o telhado da Instituição.

Figura 16 - Disposição dos módulos fotovoltaicos no telhado do Campus Floriano



Fonte: IFPI (2016).

3.2 Produção de energia do sistema e atendimento ao consumo do Campus

A produção de energia do sistema foi conhecida através do software *Sunny* de monitoramento dos inversores (SMA Sunny Tripower - SIW500). O consumo de energia do Campus foi verificado através das contas de energia emitidas pela Concessionária Eletrobrás Piauí, que mostram, também, a quantidade de energia injetada na rede pelo sistema. Os dados coletados foram processados no *software* Excel e demonstrados em forma de gráfico, sendo possível, assim, conhecer o atendimento da demanda de consumo de energia da Instituição pelo seu sistema fotovoltaico. A estimativa é de produção para os próximos 25 anos, que corresponde à vida útil dos módulos fotovoltaicos, proposta no projeto técnico apresentado pela empresa que instalou o sistema. Essa projeção foi feita com base na produção do primeiro ano de operação e considerando a perda gradativa de produção dos módulos fotovoltaicos no decorrer do tempo, que se estima em 0,5% ao ano, de acordo com Montenegro (2013); Pinho e Galdino (2014); e Nakabayashi (2014).

3.3 Análise do retorno financeiro

Para a realização do retorno financeiro, foram utilizados os critérios *payback* descontado, Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR), no intuito de analisar a viabilidade econômica do investimento no SFCR do Campus Floriano. Segundo Brigham e Houston (1999, p. 381), o *payback*, ou período de recuperação do investimento, pode ser definido como “o número de anos que se espera ser necessário para recuperar o investimento original.” Neste trabalho, foi utilizado o *payback* descontado, onde nos benefícios gerados, será descontado o custo de operação e manutenção (O&M) do sistema, que será considerado de 1% ao ano, sobre o valor de investimento do sistema, de acordo com Montenegro (2013); Pinho e Galdino (2014); e Nakabayashi (2014).

Segundo Brigham e Houston (1999), o VPL é a diferença entre a soma dos benefícios (fluxo de caixa descontado) gerados pelo projeto, subtraído pelo valor inicial investido, conforme mostra a Equação 1.

Equação 1 - Fórmula do Valor Presente Líquido

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{F_{Ct}}{(1+r)^t} - I_0 \quad (1)$$

Em que:

- FC_t : é o fluxo de caixa descontado no período t ;
- r : é a taxa de desconto;
- I_0 : é o investimento inicial do sistema;
- n : é a vida útil do projeto.

Os ganhos gerados pelo SFCR do Campus correspondem à economia financeira anual, tanto pelo consumo direto da energia produzida pelo mesmo como pelo crédito financeiro gerado, devido à injeção de energia excedente na rede pública.

A TIR é “a taxa de desconto que iguala o valor presente das entradas de caixa esperadas de um projeto ao valor presente dos custos esperados do projeto, ou seja, é a taxa que iguala o VPL a zero”, conforme Brigham e Houston (1999, p. 384). A equação 2 demonstra a relação da TIR com o VPL.

Equação 2 - Fórmula da relação da TIR com o VPL

$$\sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + TIR)^t} = 0 \quad (2)$$

Em que:

- FC_t : é o fluxo de caixa descontado no período t ;
- TIR : é a Taxa Interna de Retorno
- I_0 : é o investimento inicial do sistema;
- n : é a vida útil do projeto.

3.4 Cálculo do carbono evitado

O cálculo da emissão evitada de CO₂ pela operação do sistema foi realizado com base na metodologia proposta em *Tool to calculate the emission factor for an electricity system*, criada pela Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima no ano de 2007, com base no Protocolo de Kyoto de 1997, o qual o Brasil ratifica através do Decreto Legislativo nº 144, de 2002.

Os projetos que ofertam energia elétrica para a rede ou que reduzem ou eliminam o consumo de energia da rede devem utilizar o fator de emissão de CO₂ associado à rede para

calcular as reduções obtidas com a implantação do projeto (MCTIC, 2017). Conforme o MCTIC (2018), o fator de emissão é uma combinação do fator de emissão da margem de operação, que reflete a intensidade das emissões de CO₂ geradas pelas usinas em operação no Sistema Interligado Nacional (SIN), com o fator de emissão da margem de construção, que reflete a intensidade das emissões de CO₂ das últimas usinas construídas.

De acordo com a metodologia *Tool to calculate the emission factor for an electricity system* (UNFCCC, 2007), deve-se atribuir pesos para os fatores de emissão em cada margem, sendo de 75% para a margem de operação, e 25% para a margem de construção, para que se tenha o chamado fator de emissão combinado. Ambos os fatores são disponibilizados no *website* do Ministério de Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicações (MCTIC); no entanto, o fator da margem de construção é disponibilizado somente no ano subsequente. A Equação 3 demonstra o cálculo do fator de emissão combinado para o respectivo ano.

Equação 3 - Cálculo do fator de emissão combinado

$$FC = (FMO \times 0,75) + (FMC \times 0,25) \quad (3)$$

Em que:

- *FC*: é o fator de emissão combinado a ser calculado;
- *FMO*: é o fator de emissão da margem de operação do SIN;
- *FMC*: é o fator de emissão da margem de construção do SIN.

Portanto, multiplica-se a produção de energia do sistema fotovoltaico pelo fator de emissão combinado do respectivo ano, conforme a Equação 4.

Equação 4 - Cálculo da quantidade de CO₂ evitado

$$CO2_{Evitado} = E \times FC \quad (4)$$

Em que:

- *CO2_{Evitado}*: é a quantidade de CO₂ evitado a ser calculado em toneladas;
- *E*: é a quantidade de energia produzida pelo sistema fotovoltaico em MWh;
- *FC*: é o fator de emissão combinado do SIN em toneladas por MWh.

3.5 Análise dos resultados da implantação do sistema fotovoltaico no contexto do ensino, pesquisa e extensão

No âmbito do ensino, foram consideradas disciplinas, aulas práticas, visitas técnicas ou estágios que envolvam a temática da energia solar. Essas informações foram coletadas através da aplicação de questionários abertos com professores (Apêndice B). Quanto à pesquisa, foi verificada a existência de projetos instituídos; e no âmbito da extensão, foram considerados projetos e a realização de eventos científicos no Campus. A lista dos projetos de pesquisa e extensão foi conhecida através de informações do banco de dados cedidos pela coordenação de pesquisa e extensão do Campus. De posse dessa relação, os seus respectivos coordenadores foram entrevistados, através de questionários abertos (ver Apêndice C), em que foi possível conhecer os objetivos, os resultados esperados, ou já consolidados, dos projetos, bem como a influência da instalação do sistema fotovoltaico do Campus sobre o respectivo coordenador a desenvolver tal projeto.

3.6 Análise do conhecimento da comunidade acadêmica sobre ESF, projetos de ensino, pesquisa e extensão

O nível de conhecimento da comunidade acadêmica (professores e alunos) foi analisado através de questionários (Apêndices A e B), com o intuito de avaliar o conhecimento sobre a energia solar fotovoltaica, os projetos do Campus que envolvam o tema, como também o interesse dessa comunidade em adquirir conhecimento sobre a temática. Importante ressaltar que esta pesquisa foi submetida e aprovada pelo Comitê de Ética e Pesquisa da UFPI (CAAE Nº 82557618.4.0000.5214).

Para a definição das amostras foi utilizado o método aleatório estratificado proporcional. Conforme Martins e Domingues (2014), esse método é utilizado quando a população heterogênea pode ser dividida em subpopulações (estratos), em que o número de amostras por estrato é determinado de forma proporcional ao tamanho destes correspondentes na população.

O tamanho da amostra foi calculado no *software* Office Excel, a partir de Martins e Domingues (2014), conforme mostrado na Equação 5.

Equação 5 - Cálculo do tamanho da amostra total

$$n = \frac{N \times Z^2 \times p \times (1-p)}{(N-1) \times e^2 + Z^2 \times p \times (1-p)} \quad (5)$$

Em que:

- n : é o número de unidades da amostra a ser calculado;
- N : é o número de unidades da população;
- Z : é o desvio do valor médio aceitado para alcançar o nível de confiança desejado de acordo com a distribuição de Gauss;
- e : é a margem de erro máximo permitida;
- p : é a proporção.

Definiu-se um nível de confiança de 95% ($Z = 1,96$) e margem de erro máximo permitido de 5% ($e = 0,05$) e $p = 0,5$. Obtendo-se o tamanho da amostra total, pode-se obter o número de amostras por estrato, com base em Martins e Domingues (2014), como apresentado na Equação 6.

Equação 6 - Cálculo do tamanho da amostra no estrato

$$\frac{N_a}{N} = \frac{n_a}{n} \rightarrow n_a = \frac{n}{N} \times N_a \quad (6)$$

Em que:

- N é o número de unidades da população;
- n é o número de unidades da amostra;
- N_a é o número de unidades do estrato A;
- n_a é o número de unidades da amostra do estrato A.

A população de alunos foi agrupada de acordo com o respectivo curso, conforme registros das matrículas efetivadas cedidos pela Coordenação de Controle Acadêmico do Campus. Aplicando a Equação 5 para definir a amostra total (n), onde o a população de alunos (N) é de 1.137 indivíduos, o nível de confiança estabelecido de 95%, margem de erro máxima permitida (e) de 5%, foi encontrado o valor de 287 para a amostra. A partir de então, aplica-se a Equação 6 para definir a amostra proporcional (n_a) em cada curso (estrato), conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Definição das amostras da população de alunos por estrato

Cursos técnicos integrados ao médio		
Curso (estrato)	Quantidade de alunos (N_a)	Amostra (n_a)
Edificações	135	34
Eletromecânica	128	32
Informática	129	33

Meio Ambiente	121	31
Cursos técnicos subsequentes		
Curso (estrato)	Quantidade de alunos (Na)	Amostra (na)
Edificações	81	20
Eletromecânica	75	19
Informática	50	13
Cursos superiores		
Curso (estrato)	Quantidade de alunos (Na)	Amostra (na)
Licenciatura em Biologia	127	32
Licenciatura em Matemática	150	38
Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas	112	28
Curso de pós-graduação		
Curso (estrato)	Quantidade de alunos (Na)	Amostra (na)
Mestrado Profissional em Matemática	29	7
TOTAL	1.137	287

Fonte: Elaborada pelo autor (2018).

A população de professores em exercício foi agrupada em estratos, de acordo com sua respectiva área de conhecimento, definida pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), e conforme os dados cedidos pela Direção de Ensino do Campus. Aplicando a Equação 5 para definir a amostra total (n), no qual a população de professores (N) é de 77 indivíduos, o nível de confiança estabelecido de 95%, margem de erro máxima permitida (e) de 5%, foi encontrado o valor de 64 para a amostra. A partir de então, aplica-se a Equação 6 para definir a amostra proporcional (na) em cada área de conhecimento (estrato), conforme Tabela 3.

Tabela 3 - Definição das amostras da população de professores por estrato

Área/subárea do conhecimento CAPES (estrato)	Quantidade de professores (Na)	Amostra (na)
Ciências exatas e da terra (Matemática; Ciências da Computação; Física; Química)	28	23
Ciências biológicas (Biologia)	6	5
Engenharias (Civil; Elétrica; Mecânica)	14	12
Ciências sociais aplicadas (Administração; Arquitetura e Urbanismo)	3	3
Ciências humanas (Filosofia; Sociologia; História; Geografia; Educação)	13	11
Linguística, letras e artes (Letras Português; Letras Inglês; Letras Espanhol; Artes; Música)	10	8
Multidisciplinar (Ciências Ambientais)	3	3
TOTAL	77	64

Fonte: Elaborada pelo autor (2018).

Os questionários foram aplicados com todos os alunos em sala de aula, mas somente a quantidade determinada pelo método estatístico foi analisada. Esses questionários foram escolhidos de forma aleatória, dentro do envelope em que foram recolhidos. As respostas das questões abertas foram analisadas de acordo com as opções de resposta e, em seguida, classificadas de acordo com critérios predeterminados, conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 - Respostas determinadas para as questões abertas, classificação e critério de análise

Questão	Respostas corretas	Classificação / Critério
1) <i>Explique como funciona a energia solar fotovoltaica.</i>	<p>a) "Conversão direta da luz solar em eletricidade".</p> <p>b) "A produção de eletricidade se dá através do efeito fotovoltaico".</p> <p>c) "A luz do Sol incide nas células fotovoltaicas para produzir eletricidade".</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Não respondida: quando o avaliado deixar a resposta em branco ou afirmar que não sabe. ▪ Resposta errada: quando o avaliado responder de forma divergente das opções "a" ou "b" ou "c". ▪ Resposta parcialmente satisfatória: quando o avaliado responder de forma parcialmente divergente das opções "a" ou "b" ou "c". ▪ Resposta satisfatória: quando o avaliado responder de forma igual ou semelhante às opções "a" ou "b" ou "c".
2) <i>Cite os benefícios ambientais do uso da energia solar fotovoltaica.</i>	<p>a) "Não emite gases de efeito estufa".</p> <p>b) "Energia renovável"</p> <p>c) "Energia limpa"</p> <p>d) "Fonte abundante"</p> <p>e) "Pouco ou nenhum impacto social".</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Não respondida: quando o avaliado deixar a resposta em branco ou afirmar que não sabe. ▪ Resposta errada: quando o avaliado responder de forma divergente das opções "a", "b", "c", "d" e "e". ▪ Resposta parcialmente satisfatória: quando o avaliado citar 1 ou 2 benefícios dentro das opções de "a" a "e". ▪ Resposta satisfatória: quando o avaliado citar 3 ou mais benefícios dentro das opções de "a" a "e".
3) <i>Cite os aspectos ambientais negativos da energia solar fotovoltaica.</i>	<p>a) "Impactos na extração das matérias-primas das placas".</p> <p>b) "As placas se transformam em resíduos no fim da vida útil"</p> <p>c) "As placas podem conter materiais tóxicos".</p> <p>d) "Usinas fotovoltaicas podem destruir ecossistemas"</p> <p>e) "Alteração da paisagem".</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Não respondida: quando o avaliado deixar a resposta em branco ou afirmar que não sabe. ▪ Resposta errada: quando o avaliado responder de forma divergente das opções "a", "b", "c", "d" e "e". ▪ Resposta parcialmente satisfatória: quando o avaliado citar 1 ou 2 aspectos negativos dentro das opções de "a" a "e". ▪ Resposta satisfatória: quando o avaliado citar 3 ou mais aspectos negativos dentro das opções de "a" a "e".
4) <i>Cite abaixo os projetos do IFPI Campus Floriano que envolvem a temática da energia solar fotovoltaica.</i>	<p>a) "Educação ambiental e energias renováveis: o papel da energia solar como uma nova forma de pensar".</p> <p>b) "Sistema de captação de água dos ar-condicionados do IFPI - Campus Floriano".</p> <p>c) "Implantação do laboratório de energia solar fotovoltaica do IFPI-Campus Floriano".</p> <p>d) "3ª Semana de Meio Ambiente do Campus Floriano".</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Não conhece: quando o avaliado deixar em branco ou afirmar que não conhece. ▪ Conhece parcialmente: quando o avaliado citar de 1 a 3 projetos dentro das opções de "a" a "d". ▪ Conhece todos: quando o avaliado citar todos os projetos dentro das opções de "a" a "d".

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

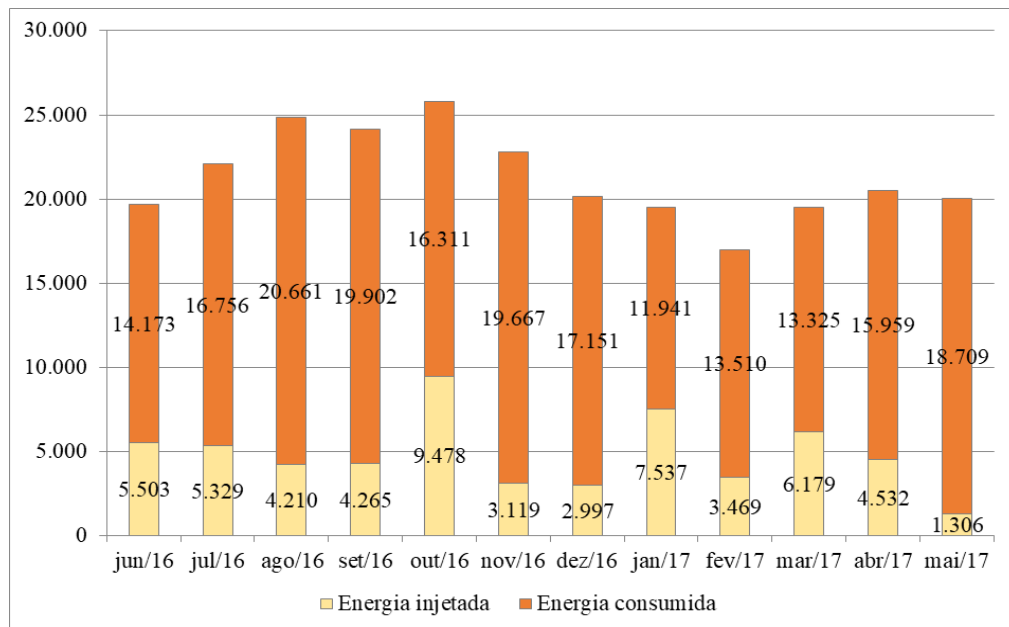
Durante a análise, não foi necessário que o avaliado respondesse exatamente como nas opções da coluna “respostas corretas”. Foram aceitos como satisfatório ou parcialmente satisfatório os sinônimos e outros termos, desde que fossem cabíveis a interpretação como correto. As repostas satisfatórias determinadas para a questão nº 1, que trata do funcionamento básico da energia solar fotovoltaica, estão de acordo com: Reis, Fadigas e Carvalho (2012); Pinho e Galdino (2014); Miller e Spoolman (2015); Hinrichs, Kleinbach e Reis (2016). Para a questão nº 2, que trata dos benefícios ambientais, foram adotados: Reis e Silveira (2012); Lopez (2012); Miller e Spoolman (2015); Poganietz (2015); Tolmasquim (2016). Para a questão nº 3, que discorre sobre os aspectos ambientais negativos, foi aceito como resposta o proposto por Miller e Spoolman (2015); Latunussa *et al.* (2016); Tolmasquim (2016). E para a questão nº 4, foram considerados os projetos de pesquisa e extensão identificados até o momento, que envolvam a energia solar fotovoltaica no IFPI Campus Floriano. Para esse quesito, também não necessitaria que o avaliado respondesse exatamente como nas opções da coluna “resposta”, logo, também foram aceitos como satisfatório ou parcialmente satisfatório os sinônimos e outros termos em que fosse possível identificar o referido projeto. A disciplina de “Energias renováveis” e o projeto “Monitoramento das variáveis meteorológicas que influenciam diretamente o funcionamento da usina fotovoltaica do IFPI, Campus Floriano”, não foram incluídos como opções respostas por ainda não terem sido iniciados até o momento da aplicação dos questionários.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Produção de energia do sistema e atendimento ao consumo do Campus

Após coleta dos dados gerados pelo *software* Sunny do sistema, foi possível verificar a energia elétrica gerada pelo mesmo. A Figura 17 apresenta o gráfico de produção mensal do dia 1º de junho de 2016, quando do início da operação do sistema, até o dia 30 de maio de 2017, ao completar um ano de operação.

Figura 17 - Produção mensal de energia elétrica pelo sistema em kWh no primeiro ano de operação



Fonte: *Software* Sunny e contas de energia da Eletrobras Piauí (2017), adaptado pelo autor.

Percebe-se, na Figura 17, que nos meses de agosto, setembro e outubro foi o período de maior produção do SFCR, o que se deve ao fato do baixo índice de nebulosidade no município de Floriano no referido período. Nos meses de janeiro e fevereiro de 2017, o sistema teve menor produção, devido às chuvas e à presença de nuvens. No período de 12 meses, a média mensal de produção pelo SFCR foi de 21.333 kWh, totalizando, no ano, 255.991 kWh. A produtividade (produção por potência instalada) foi de 1.706 kWh/kWp. Desse total produzido, 198.066 kWh, equivalente a 77,37%, foram consumidos diretamente pelo Campus, e o restante, 57.925 kWh, equivalente a 22,63%, foram injetados na rede. Essa energia injetada na rede foi produzida essencialmente em domingos e feriados, quando a produção do sistema é maior que o consumo do Campus.

Menezes *et al.* (2016) estudaram durante um ano um SFCR com potência de 21,75 kWp, instalado em uma empresa na cidade de Palmas-TO. Nesse estudo, foi apontada uma produção anual total de 30.661 kWh, sendo uma média mensal de 2.555 kWh. A produtividade anual encontrada foi de 1.410 kWh/kWp/ano, que é inferior à produtividade do SFCR do Campus Floriano. Os autores concluem que esses resultados se mostraram satisfatórios, principalmente quando comparados com outros diversos no Brasil e no mundo.

Lima, Ferreira e Morais (2017) monitoraram o desempenho de um SFCR com 2,2 kWp de potência, instalado na Universidade Federal do Ceará, na cidade de Fortaleza, entre os anos de 2013 e 2014. Nesse estudo, foi demonstrado que no período de 12 meses o sistema produziu 3.708,2 kWh, sendo a média mensal de 309,0 kWh e produtividade de 1.685,5 kWh/kWp. Os autores concluem que os resultados de desempenho mostram o bom potencial de produzir eletricidade através de energia solar fotovoltaica no Estado do Ceará.

Buiatti *et al.* (2016a) analisaram, durante o ano de 2014, um SFCR instalado na Reitoria do Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN), onde há um total de 250 módulos e potência instalada de 56,4 kWp. A produção anual total encontrada foi de 92.965 kWh, sendo 7.747 kWh em média por mês. A produtividade anual encontrada foi de 1.648 kWh/kWp/ano, também inferior ao do SFCR do Campus Floriano. Os autores afirmam que estudos sobre o desempenho de sistemas fotovoltaicos são fundamentais para se ter maior conhecimento sobre a produtividade real, dando, assim, maior segurança ao investidor.

Ainda sobre o IFRN, após atingir a meta de levar energia fotovoltaica para todas as unidades da Instituição, este lançou, em março de 2018, o Centro de Pesquisa em Energia Solar Fotovoltaica, instalado no Campus Natal-Central, no intuito de se firmar quanto à produção dessa tecnologia. O IFRN possui 21 SFCR, com potência instalada de 2.139 kWp, nos quais foram investidos aproximadamente R\$ 17.000.000 (IFRN, 2018).

Anteriormente à pesquisa de Buiatti *et al.* (2016a), Wanderley e Afonso (2015) analisaram o mesmo sistema e concluíram que com esta iniciativa o IFRN conseguiu reduzir seus gastos com energia elétrica, confirmando também que a região Nordeste é bastante favorável para o uso da energia solar. Os autores complementam que do ponto de vista acadêmico, essa implantação possibilita o desenvolvimento de pesquisas no setor de energia solar fotovoltaica.

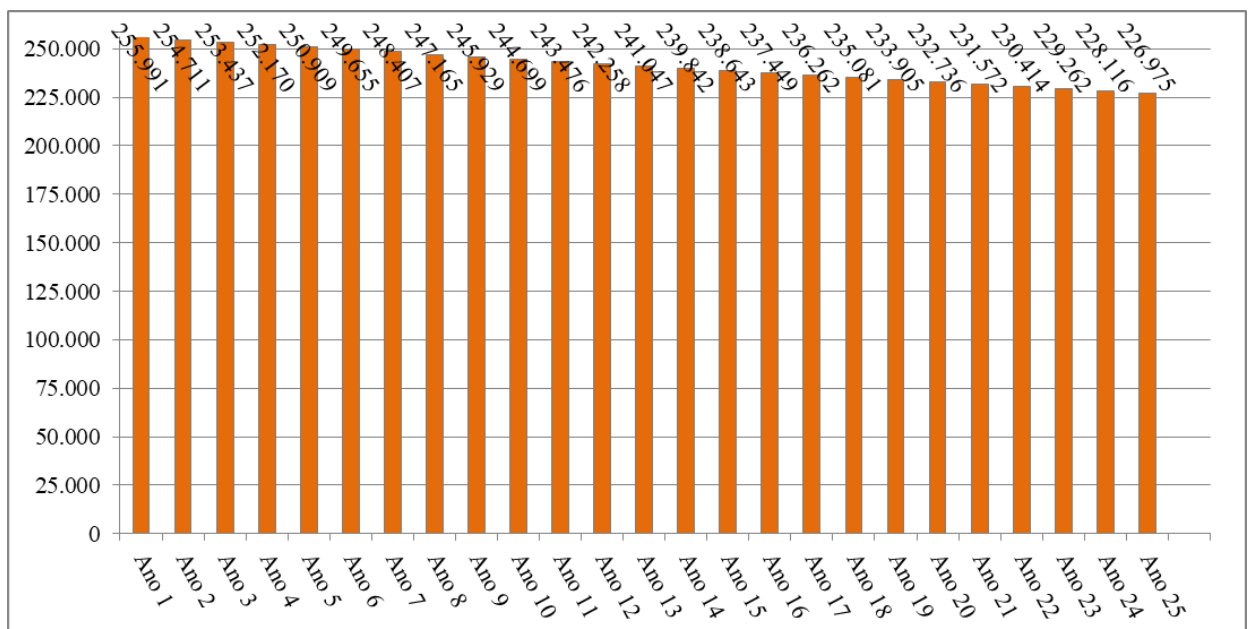
Morais *et al.* (2018), ao realizarem uma análise técnico-econômica do SFCR do Campus Floriano, concluíram que o sistema apresenta uma excelente performance quando comparado com outros sistemas instalados em regiões diferentes do país, inclusive da região Nordeste. No entanto, recomendam o aprofundamento nos estudos sobre a influência da

temperatura dos módulos e do sombreamento causado pela orientação e o posicionamento dos mesmos.

É importante relatar que, em setembro de 2017, foi identificado um problema em um dos inversores do sistema, e os registros quanto à sua produção ficaram incertos. A empresa que instalou o sistema para o IFPI foi notificada, no intuito de resolver o problema, mas segundo informação repassada pela direção geral do Campus, está havendo um impasse de cunho burocrático entre essa empresa e a Instituição, logo, o resultado disso é a não solução do problema até então. Outro ponto a se relatar é que a empresa responsável fica situada no Estado de Minas Gerais, dificultando ainda mais a logística para o reparo do problema. Sendo assim, os resultados preliminares deste trabalho, relacionados à produção do SFCR do Campus, serão relatados com base no primeiro ano de operação do sistema, quando não houve problemas de cunho técnico ou burocrático.

Com base na produção do primeiro ano de operação, foi possível estimar a produção pelos próximos 25 anos (tempo de vida útil estimado pelo fabricante), considerando a perda gradativa de produção dos módulos de 0,5% ao ano, segundo Montenegro (2013); Pinho e Galdino (2014); Nakabayashi (2014), conforme demonstra a Figura 18.

Figura 18 - Estimativa de produção em kWh do SFCR do Campus durante a vida útil



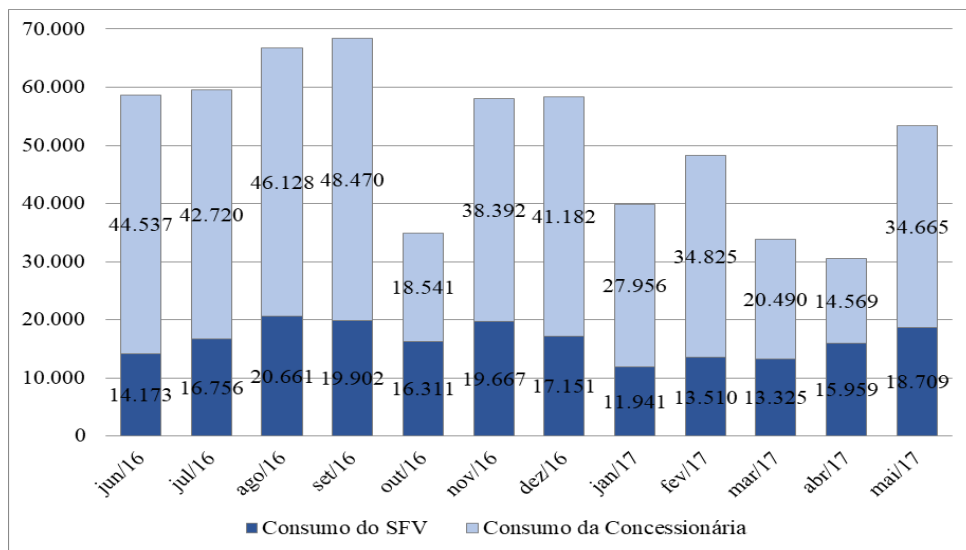
Fonte: O autor (2018), com base em Montenegro (2013); Pinho e Galdino (2014); Nakabayashi, (2014).

De acordo com Chandel, Naik e Chandel (2015), os módulos fotovoltaicos são propensos à degradação, devido à umidade, temperatura e radiação solar, e que durante a exposição prolongada ao ar livre, a eficiência de um módulo fotovoltaico solar diminui

continuamente, porque seus componentes envelhecem. Segundo os autores, a degradação do módulo afeta a produção de energia e, portanto, tem um impacto no desempenho dos sistemas, que devem operar de forma confiável por pelo menos 20 a 25 anos. De acordo com Olalla *et al.* (2016), dependendo da forma de instalação e condições ambientais, os módulos fotovoltaicos podem ter vida útil maior que 25 anos.

Até o final de sua vida útil (25 anos), o sistema terá gerado 6,03 GWh, e a produção terá caído 11,3% nesse período, correspondendo a uma perda de 29.016 kWh. Não foram levadas em consideração possíveis alterações de fatores climáticos no decorrer dos anos, como incidência de chuvas, nebulosidade e irradiação solar. O consumo de energia foi verificado através da análise das contas emitidas pela concessionária estadual de energia (Eletrobras PI) e pelo software *Sunny* do sistema. A Figura 19 demonstra a quantidade de energia consumida mensalmente no Campus, evidenciando o consumo a partir do SFCR e da Concessionária de energia, dentro do total.

Figura 19 - Consumo de energia elétrica do Campus Floriano no primeiro ano de operação do SFCR em kWh



Fonte: *Software Sunny* e contas de energia (2018), adaptado pelo autor.

Pelo exposto na Figura 19, percebe-se que nos meses de agosto e setembro de 2016 houve o maior consumo de energia. Isso se deve ao fato de ser o período de maior calor na região, sendo necessário manter os aparelhos de ar condicionado do Campus ligados numa potência maior, bem como outros equipamentos de refrigeração. Nos meses de outubro de 2016, março e abril de 2017, houve o menor consumo dentro do período, devido às férias acadêmicas, quando funcionavam apenas as salas administrativas e a iluminação noturna do Campus. A quantidade de energia elétrica consumida pelo Campus nos primeiros doze meses

de operação do SFCR foi de 610.541 kWh, e desse montante, 198.066 kWh foi fornecido pela sistema do Campus, atendendo a 32,44% do consumo. É importante ressaltar que o consumo de energia do Campus Floriano deve aumentar nos próximos anos, pois está em fase de construção um novo prédio com 8 salas, 2 laboratórios e outras dependências. Até o momento, não há previsão de ampliação do sistema, logo, esse percentual de atendimento à demanda deve diminuir.

4.2 Retorno financeiro

Para analisar o retorno financeiro do sistema ao longo da sua vida útil, foi feita uma análise dos ganhos no primeiro ano de operação do SFCR, no intuito de estimar os ganhos futuros durante sua vida útil. A Tabela 4 está diretamente relacionada à Figura 17, que demonstra a produção mensal de eletricidade do SFCR, discriminando a energia consumida pelo Campus e a energia injetada na rede.

Tabela 4 - Economia financeira gerada pelo SFCR no primeiro ano de operação

Mês/ano	Economia pela operação do SFCR (R\$)	Crédito financeiro gerado pelo SFCR (R\$)	Economia mensal (R\$)
Jun/16	5.010,00	1.349,70	6.359,70
Jul/16	5.892,31	1.307,01	7.199,32
Ago/16	7.300,21	1.032,59	8.332,80
Set/16	6.843,85	1.045,99	7.889,84
Out/16	5.234,67	3.041,72	8.276,39
Nov/16	6.578,35	1.043,25	7.621,59
Dez/16	5.655,28	988,22	6.643,50
Jan/17	3.869,24	2.442,20	6.311,44
Fev/17	4.178,02	1.072,77	5.250,79
Mar/17	4.570,86	2.119,53	6.690,40
Abr/17	5.058,49	1.436,52	6.495,00
Mai/17	6.521,12	455,21	6.976,33
TOTAL (R\$)	66.712,38	17.334,71	84.047,09

Fonte: Elaborada pelo autor (2018), com base nas contas de energia do Campus.

De acordo com a Tabela 4, o valor economizado com o consumo direto da energia gerada no sistema foi de R\$ 66.712,38, e de créditos R\$ 17.334,71, perfazendo um total de R\$ 84.047,09 nos primeiros doze meses, o que equivale a uma média mensal de R\$ 7.004. No ano de 2015, o Conselho Nacional da Política Fazendária - Ministério da Fazenda (CONFAZ), através da Norma de Ajuste SINIEF 2, de 2015, delegou a cada estado brasileiro

a decisão de tributar a energia solar que é injetada na rede da distribuidora. O Estado do Piauí aderiu a esse ajuste somente a partir de outubro de 2016. Até então, o valor da tarifa de energia injetada era inferior à tarifa de energia consumida.

A Tabela 5 detalha a projeção dos fluxos de caixa no período de vida útil do sistema, que é de 25 anos, de acordo com a garantia oferecida pelo fabricante. A coluna “ganho anual bruto” representa os ganhos através de custos evitados de energia elétrica projetados com base na produção do primeiro ano do sistema, considerando a perda gradativa de produção de 0,5% ao ano e o aumento na tarifa de energia de 9,69% ao ano, que corresponde ao reajuste médio da concessionária de energia dos últimos 10 anos, de acordo com a ANEEL (2018e).

Tabela 5 - Fluxos de caixa projetados e respectivos VPL

Ano (t)	Ganho anual bruto	Fluxo de caixa com custo de O&M	Fluxo de caixa descontado (Fct)	Valor Presente Líquido (VPL)
0		-R\$ 1.150.500,00	-R\$ 1.150.500,00	-R\$ 1.150.500,00
1	R\$ 84.047,09	R\$ 84.047,09	R\$ 84.047,09	-R\$ 1.066.452,91
2	R\$ 94.104,70	R\$ 82.868,70	R\$ 67.954,21	-R\$ 998.498,70
3	R\$ 102.707,33	R\$ 91.471,33	R\$ 67.924,08	-R\$ 930.574,62
4	R\$ 112.096,37	R\$ 100.860,37	R\$ 67.822,26	-R\$ 862.752,35
5	R\$ 122.343,72	R\$ 111.107,72	R\$ 67.656,40	-R\$ 795.095,96
6	R\$ 133.527,83	R\$ 122.291,83	R\$ 67.433,39	-R\$ 727.662,56
7	R\$ 145.734,34	R\$ 134.498,34	R\$ 67.159,50	-R\$ 660.503,07
8	R\$ 159.056,72	R\$ 147.820,72	R\$ 66.840,35	-R\$ 593.662,72
9	R\$ 173.596,97	R\$ 162.360,97	R\$ 66.481,07	-R\$ 527.181,65
10	R\$ 189.466,42	R\$ 178.230,42	R\$ 66.086,25	-R\$ 461.095,40
11	R\$ 206.786,59	R\$ 195.550,59	R\$ 65.660,07	-R\$ 395.435,33
12	R\$ 225.690,09	R\$ 214.454,09	R\$ 65.206,29	-R\$ 330.229,04
13	R\$ 246.321,66	R\$ 235.085,66	R\$ 64.728,30	-R\$ 265.500,74
14	R\$ 268.839,28	R\$ 257.603,28	R\$ 64.229,18	-R\$ 201.271,56
15	R\$ 293.415,36	R\$ 282.179,36	R\$ 63.711,69	-R\$ 137.559,87
16	R\$ 320.238,07	R\$ 309.002,07	R\$ 63.178,34	-R\$ 74.381,52
17	R\$ 349.512,79	R\$ 338.276,79	R\$ 62.631,38	-R\$ 11.750,14
18	R\$ 381.463,68	R\$ 370.227,68	R\$ 62.072,84	R\$ 50.322,69
19	R\$ 416.335,37	R\$ 405.099,37	R\$ 61.504,54	R\$ 111.827,24
20	R\$ 454.394,88	R\$ 443.158,88	R\$ 60.928,15	R\$ 172.755,39
21	R\$ 495.933,61	R\$ 484.697,61	R\$ 60.345,15	R\$ 233.100,54
22	R\$ 541.269,63	R\$ 530.033,63	R\$ 59.756,87	R\$ 292.857,41
23	R\$ 590.750,07	R\$ 579.514,07	R\$ 59.164,52	R\$ 352.021,92
24	R\$ 644.753,78	R\$ 633.517,78	R\$ 58.569,17	R\$ 410.591,10
25	R\$ 703.694,27	R\$ 692.458,27	R\$ 57.971,80	R\$ 468.562,90

Fonte: Elaborada pelo autor (2018).

A coluna “Fluxo de caixa com custo de O&M” demonstra os ganhos considerando os gastos com operação e manutenção (O&M) de 1% ao ano sobre o valor do investimento

inicial sobre o sistema (módulos, inversores, cabeamento e equipamentos em geral), não incidindo, esse percentual, sobre o que foi gasto com elaboração do projeto, portanto, um valor de desconto fixo de R\$ 11.236. Quando do período de análise econômica do sistema, não foi identificado gastos com O&M, porém, foi realizado um serviço de limpeza dos módulos (Figura 20) no ano de 2017. Esse serviço foi feito por funcionários do campus, não havendo necessidade de contratação de serviço de terceiros. De acordo com Pinho e Galdino (2014), períodos muito longos sem limpeza podem prejudicar significativamente o desempenho do sistema, e que perdas de até 10% no desempenho já foram verificadas em sistemas instalados no Brasil em regiões de muita poeira.

Figura 20 - Limpeza dos módulos feita por funcionários do IFPI Campus Florianiano



Fonte: Acervo do autor (2017).

Na coluna “Fluxo de caixa descontado” aplicou-se a Equação 1 numa planilha do *software* Excel para determinar o Valor Presente Líquido (VPL) na coluna seguinte, considerando a taxa de desconto (r) de 10,43% ao ano, que corresponde à taxa anual de juros equivalente à taxa referencial do Sistema Especial de Liquidação e de Custódia (SELIC) para títulos federais dos últimos 10 anos, com base nos dados da Receita Federal (2018). Ressalta-se que no ganho de R\$ 84.047,09 no ano 1, não incidiu a perda de produção gradativa, custos com O&M e taxa de juros, pois se trata de um valor consolidado, conforme demonstrado na Tabela 4; logo, as projeções de fluxo de caixa foram calculadas para os anos seguintes.

Pelo exposto na Tabela 4, nota-se que o VPL é de R\$ 468.562,90, que representa o lucro gerado pelo sistema ao final dos 25 anos. De acordo com Brigham e Houston (1999), se um projeto tem o VPL positivo, então, ele está gerando mais caixa do que é necessário para o

pagamento da sua dívida. Segundo Nakabayashi (2014), os projetos onde o VPL for positivo são os considerados economicamente viáveis.

Na Tabela de fluxos de caixa é possível identificar o *payback* (tempo de retorno de investimento) de 18 anos, que representa o período em que os benefícios do sistema terão superado o valor do seu investimento. Vieira, Shayani e Oliveira (2016), ao analisarem os aspectos econômicos baseados na regulação brasileira sobre energia elétrica, considerando o atual cenário, afirmam que para sistemas em que a compensação de energia é realizada no próprio local de geração, o *payback* estimado é de 12 a 14 anos em alguns estados da região nordeste, como o Piauí.

Wanderley e Afonso (2015) analisaram o SFCR da Reitoria do IFRN e encontraram um *payback* de 14 anos e VPL de R\$ 16.555 para um período de 25 anos, e corroboraram que o uso de energia solar fotovoltaica é economicamente viável.

A Taxa Interna de Retorno encontrada, aplicando a Equação 2 no *software* Excel, é de 14%, que é maior que a taxa de desconto, significando que o sistema tem rentabilidade anual maior que a taxa de desconto estipulada (10,43%). Consoante Montenegro (2013), para que o investimento seja viável, é necessário que o VPL ao final de 25 anos seja positivo, o que, por consequência, leva também a resultados de TIR acima da taxa de desconto (taxa de anual de juros) e a um tempo de retorno do investimento inferior a 25 anos.

Rodrigues *et al.* (2016) afirmam que a viabilidade de um projeto de sistema fotovoltaico depende de uma combinação entre o custo de investimento, tarifa de eletricidade, incentivos governamentais e radiação solar. Vieira, Shayani e Oliveira (2016) complementam que o retorno financeiro advém da economia nas faturas de energia elétrica, tarifas altas implicam em maior economia. O Quadro 3 apresenta a comparação dos resultados econômicos desta pesquisa com outros estudos atuais sobre sistemas fotovoltaicos em instituições públicas de ensino.

Quadro 3 - Comparação da análise econômica entre SFCR de outras instituições públicas de ensino

Instituições	IFPI - Campus Florianópolis	IFPI - Campus Florianópolis (MORAIS <i>et al.</i> , 2018)	Escola pública no Distrito Federal (DUARTE <i>et al.</i> , 2018)	IFGO - Campus Itumbiara (SILVA, S. <i>et al.</i> , 2018)	IFGO - Campus Uruçuí (SILVA, S. <i>et al.</i> , 2018)	Escola Municipal - Paulo Afonso- BA (SILVA, M. <i>et al.</i> , 2018)
Investimento inicial	R\$ 1.150.500,00	R\$ 1.150.500,00	R\$ 297.037,21	R\$ 1.294.148,02	R\$ 1.437.942,24	R\$ 195.988,80
Potência do SFCR	150 kWp	150 kWp	40,28 kWp	194,4 kWp	216 kWp	37,4 kWp
Custo por kWp instalado	R\$ 7.670,00	R\$ 7.670,00	R\$ 7.374,31	R\$ 6.657,14	R\$ 6.657,14	R\$ 5.240,34

Vida útil estimada	25 anos	25 anos	25 anos	25 anos	25 anos	25 anos
Payback	18 anos	15 anos	8,74 anos	11 anos	11 anos	7,58 anos
VPL	R\$ 468.562,90	R\$ 657.996,88	R\$ 235.402,19	Não calculado	Não calculado	Não calculado
TIR	14%	Não calculado	14,96%	Não calculado	Não calculado	Não calculado
Relação custo benefício	2,46	1,75	1,26	Necessita do VPL para ser calculado	Necessita do VPL para ser calculado	Necessita do VPL para ser calculado
Custos com O&M	1% ao ano sobre o investimento do sistema	Não considera	1% ao ano sobre o investimento do sistema	1% ao ano sobre o investimento do sistema	1% ao ano sobre o investimento do sistema	Não considera
Perda gradativa de produção do SFCR	0,5% ao ano	Não considera	0,89% ao ano	Não considera	Não considera	Não considera
Variação da tarifa de energia	9,69% ao ano	9,69% ao ano	Não considera	Não considera	Não considera	Não considera
Taxa de desconto	10,43% ao ano	10,93% ao ano	7,5% ao ano	Não considera	Não considera	Não considera

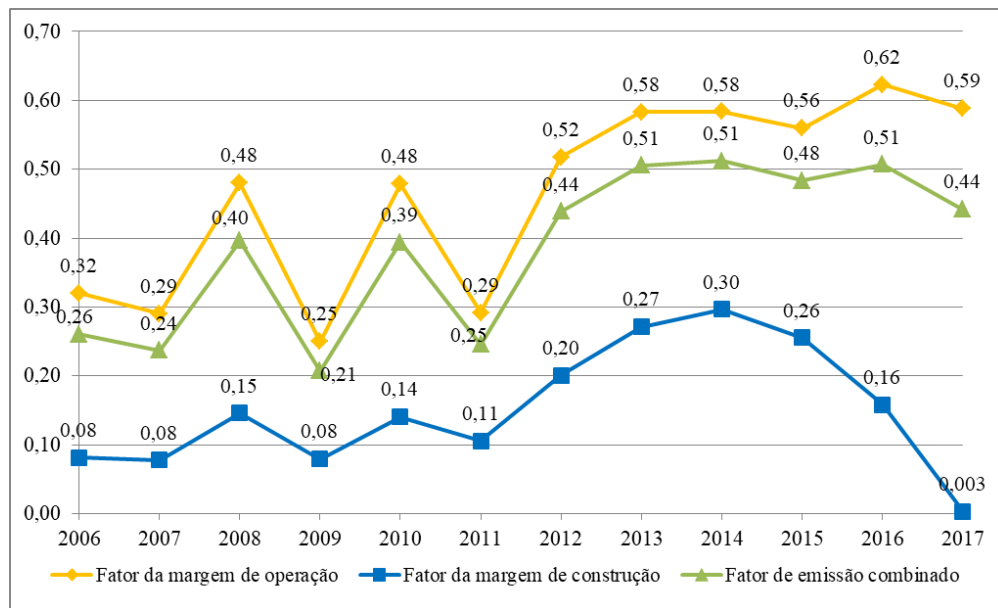
Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Conforme apresentado no Quadro 3, percebe-se que o SFCR do Campus Florianópolis apresenta um tempo de retorno maior de o dos outros sistemas apresentados. No entanto, o presente estudo considera fatores não apresentados em algumas das outras pesquisas, como a de Moraes *et al.* (2018), que não leva em consideração a perda gradativa de produção dos módulos ao longo do tempo e custos de operação e manutenção.

4.3 Carbono evitado com a operação do sistema

O cálculo do CO₂ evitado foi realizado somente para o primeiro ano de operação do sistema, pois não é possível fazer uma projeção segura para os anos seguintes, devido à incerteza quanto aos fatores de emissão. A Figura 21 mostra os fatores de emissão das margens de operação e construção divulgados pelo MCTIC no decorrer dos anos e os fatores de emissão combinados após aplicação da Equação 3.

Nota-se, na Figura 21, a variação dos fatores de emissão, os quais dependem de como procede a geração de energia elétrica no país em determinado período. Consoante Buiatti *et al.* (2016b), o fator de emissão do SIN é uma variável dependente de fatores climáticos, uma vez que a menor disponibilidade de água nos reservatórios das hidroelétricas pode demandar maior geração por termoelétricas a gás natural. Dessa forma, ocorre uma alteração do fator de emissão de CO₂ por MWh produzido pelo SIN, não sendo possível prever o fator de emissão para os anos seguintes.

Figura 21 - Fatores de emissão do SIN no decorrer dos anos

Fonte: Autor com base nos dados do MCTIC (2018).

De acordo com a EPE (2017), o fator de emissão no Brasil ainda é relativamente baixo, devido à grande participação da fonte hidrelétrica e o crescimento da solar e eólica. Quando comparado a outros países, o setor elétrico brasileiro emite 2,3 vezes menos carbono que o europeu, 3 vezes menos do que o setor elétrico norte americano e 4,8 vezes menos do que o chinês.

Para calcular o CO₂ evitado do primeiro ano de operação do SFCR do Campus, foram utilizados os fatores de emissão do ano de 2016 e 2017 e a produção energética do SFCR nesses respectivos anos, aplicando a equação 4, conforme demonstrado na Tabela 6. É possível observar que no ano de 2016 a quantidade de carbono evitado foi maior, visto que tanto a produção do sistema como o fator de emissão foram maiores nesse ano. O total de CO₂ evitado para a atmosfera foi de 123,44 toneladas.

Tabela 6 - Quantidade de CO₂ evitado pela operação do SFCR do Campus Floriano

Ano	Energia produzida pelo SFCR (MWh)	Fator de emissão combinado (ton/MWh)	CO ₂ evitado (ton)
2016 (junho-dezembro)	159,52	0,51	80,82
2017 (janeiro- maio)	96,47	0,44	42,62
TOTAL			123,44

Fonte: Elaborada pelo autor (2018), com base nos dados do MCTIC.

Buiatti *et al.* (2016b), também aplicando a metodologia da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a mudança do Clima (2007), calcularam o carbono evitado para

atmosfera de um SFCR comercial de 6,58 kWp em Uberlândia, Minas Gerais, durante alguns anos e encontraram o total de 3,9 ton de CO₂ evitado no ano de 2013; 4,3 ton em 2014; e 4 ton em 2015. Os autores concluem afirmando que a maioria dos inversores de mercado não são adaptados para o cálculo adequado das emissões evitadas, devendo haver uma consulta periódica dos fatores de emissão disponibilizados no site do MCTIC. Essa realidade se aplica ao *software* de monitoramento dos inversores do SFCR do campus Florianópolis, em que o fator de emissão registrado é um valor internacional de fábrica, não condizendo com a realidade das emissões pelo Sistema Interligado Nacional brasileiro. Logo, é necessário que os responsáveis por este monitoramento fiquem atentos, para que não haja equívoco na divulgação desses dados.

Dentro do cenário exposto, é importante destacar os benefícios provenientes de evitar emissões de carbono para a atmosfera. Miller e Spoolman (2015) apontam benefícios advindos da postura de pessoas, empresas e instituições de ensino que trabalham localmente adotando formas de mitigar suas emissões de carbono: economia de energia; redução da poluição atmosférica; geração de empregos no setor de energia solar e eólica; e descarbonização da economia, ao diminuir a dependência de fontes convencionais de energia mais poluentes. Dentro do contexto climático, Aroonsrimorakot *et al.* (2013) afirmam que organizações, incluindo Instituições de Ensino, que quantificam e adotam medidas para reduzir suas emissões de GEE, colaboram para mitigar o problema do aquecimento global. Davis (2017) aponta que a diminuição do CO₂ resultante de atividades humanas pode mitigar os impactos adversos na biodiversidade.

Consoante Krakauer (2014), investimento em energia renovável tem o duplo benefício de reduzir os danos causados pelas mudanças climáticas e colocar a economia mundial em uma base mais sustentável para o crescimento contínuo da produção. Em complemento, Spirovski *et al.* (2012) concluem que uma das maneiras mais eficazes de reduzir as emissões de GEE é por meio da mudança de hábitos e comportamentos que consomem energia.

4.4 Resultados no âmbito do ensino, pesquisa e extensão

4.4.1 Projeto “Educação ambiental e energias renováveis: o papel da energia solar como uma nova forma de pensar”

Esse projeto de extensão teve como proposta colocar em prática a educação ambiental com relação às fontes de energias renováveis, especialmente a energia solar, tendo como público-alvo alunos de ensino fundamental menor (1º ao 5º ano) e maior (6º ao 9º ano)

da área urbana do município de Floriano, Piauí. Foram realizadas atividades teóricas (explicação sobre conceitos fundamentais de energia solar) e práticas, como manuseio de brinquedos movidos a ESF, conforme demonstrado nas Figuras 22 e 23.

De acordo com a coordenadora, a instalação do SFCR do Campus motivou a criação desse projeto, aliado à vontade de replicar o conhecimento passado por uma ONG que instalou um SFCR em uma creche no município de Sebastião Leal, no Piauí, em 2017. Esta atividade contou com a participação de alunos do Campus Floriano, os quais passaram por treinamento e ajudaram na instalação do sistema da creche.

Figura 22: Exposição em escola da rede municipal de Floriano



Fonte: Acervo do autor (2018).

Figura 23: Palestra em escola da rede municipal de Floriano



Fonte: Reis, Arruda e Pereira (2018).

O projeto foi aprovado pelo subprograma de Bolsas para Projetos de Extensão (PIBEX) do Programa Institucional de Apoio à Extensão (ProAEx) do IFPI, o qual recebeu uma verba no valor de R\$ 4.500 para compra de equipamentos e material de consumo, e mais R\$ 1.200 para o pagamento de um bolsista. O projeto foi finalizado e foram visitadas duas escolas municipais em Floriano, atingindo cerca de 75 alunos. Segundo a coordenadora do projeto, a Secretaria Municipal de Educação de Floriano se interessou pelas ações desenvolvidas, o qual foi inserido no calendário de atividades dessa Secretaria; sendo assim, o projeto tem potencial para ser expandido, atingindo um maior número de escolas do município, mas, no entanto, não houve visitas em escolas além do que foi proposto inicialmente no projeto.

A coordenadora e as alunas bolsistas produziram artigo científico, intitulado “Estudo da energia solar de forma interativa no ensino fundamental”, que foi publicado no Congresso Norte-Nordeste de Pesquisa e Inovação (CONNEPI), realizado pelo Instituto Federal de Pernambuco, no ano de 2018. Esse trabalho, produzido por Reis, Arruda e Pereira (2018), concluiu que os estudantes da rede pública que participaram do projeto puderam refletir e aprender sobre o conteúdo proposto. Ressaltaram, também, que a cidade de Floriano possui

um grande potencial para a implantação e o desenvolvimento da ESF, em virtude dos altos índices de radiação solar na região.

Conforme Acikgoz (2011), programas de conscientização ambiental sobre energia renovável para jovens devem ser implantados, quando da busca pelo desenvolvimento sustentável. Kandpal e Broman (2014) afirmam que conceitos sobre fontes e tecnologias de energia renovável devem ser introduzidos desde as classes primárias até todos os estágios da educação, o que promove uma sociedade ciente das questões relacionadas com energia e ambiente. Segundo Karatepe *et al.* (2012), a aplicação de informação insuficiente por determinados programas impede que os níveis desejados de consciência ambiental e energética sejam desenvolvidos.

Energia solar é um tema bastante relevante a ser tratado, no entanto, outras temáticas ambientais também devem ser implantadas em programas de educação ambiental. Conforme Gill e Lang (2018), a educação ambiental para estudantes, incluindo lições sobre reciclagem, conservação de água e redução de energia, aumenta o conhecimento e promove comportamentos pró-ambientais.

É importante frisar que não é possível concluir com clareza que os alunos absorveram o conteúdo sobre energia solar proposto, sendo que não houve aplicação de qualquer atividade avaliativa ou *feedback* com os mesmos após a execução do projeto. Em complemento às atividades práticas, os alunos e professores das escolas públicas poderiam ter sido levados a visitar o Campus e conhecer o SFCR, bem como outros projetos relacionados à energia solar. Ressalta-se também a importância da continuidade do projeto e a replicação do conteúdo junto aos professores das escolas-alvo, assim, o conhecimento aplicado durante as visitas nessas escolas pode ser efetivamente consolidado.

4.4.2 Projeto “Sistema de captação de água dos ar-condicionados do IFPI - Campus Floriano”

Esse projeto de extensão tem como objetivo reaproveitar a água despejada pelos aparelhos de ar-condicionado do Campus para irrigação das áreas verdes da Instituição. O coordenador relata que a inquietação quanto ao desperdício de água foi a principal motivação, mas que o conhecimento adquirido através do treinamento realizado pela empresa que instalou o SFCR do Campus foi essencial para a implantação do projeto, em que a etapa de bombeamento da água para irrigação dos jardins (Figura 27), que fica armazenada em um reservatório (Figura 25), utiliza como fonte a ESF (Figura 24) para funcionar a bomba (Figura 26). De acordo com Chandel, Naik e Chandel (2015), a tecnologia de bombeamento fotovoltaico de água para irrigação é uma alternativa confiável e economicamente viável,

quando comparado ao bombeamento movido à eletricidade da rede pública ou combustível fóssil.

Figura 24 - Módulo fotovoltaico de 95W adquirido pelo projeto



Fonte: Acervo do autor (2018).

Figura 25 - Armazenamento da água captada e bomba de irrigação



Fonte: Acervo do autor (2018).

Figura 26 - Bomba utilizada no projeto movida a energia fotovoltaica



Fonte: Acervo do autor (2018).

Figura 27 - Irrigação de área verde do Campus com água reaproveitada



Fonte: Acervo do autor (2018).

O recurso para a compra de equipamentos foi provido em 2017, também pelo subprograma PIBEX do IFPI, no valor de R\$ 3.800. O projeto entrou em execução no ano de 2018 e continua em andamento, contando com a participação direta de quatro alunos da Instituição, e como resultado, consegue reaproveitar cerca de 3.000 litros de água por mês. Como resultado acadêmico, foram elaborados dois artigos científicos, o primeiro intitulado com o mesmo nome do projeto, elaborado por Correia *et al.* (2018), foi apresentado no V Simpósio de Gestão Ambiental do IFPI Campus Corrente, na VIII Semana de Produção Científica do Instituto Federal do Distrito Federal (IFDF) e no IX Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, na cidade de São Bernardo do Campo, São Paulo. Todos esses eventos aconteceram no ano de 2018. O segundo artigo, intitulado “Automação da irrigação dos

jardins do IFPI Campus Floriano”, produzido por Correia, Granzotti e Reis (2018), foi publicado no XII Congresso Norte-Nordeste de Pesquisa e Inovação (CONNEPI), realizado pelo Instituto Federal de Pernambuco (IFPE), no ano de 2018. Segundo Correia *et al.* (2018), esse projeto ajudou no processo ensino-aprendizagem, trabalhando de forma prática e englobando diversas áreas do conhecimento, podendo desenvolver a consciência ambiental.

Conforme relatou o coordenador na entrevista, o projeto despertou interesse da Unidade Escolar Bucar Neto, da rede estadual de Floriano, a qual realizou a implantação do mesmo sistema de reaproveitamento de água dos aparelhos de ar-condicionado (Figura 28). A implantação contou com a participação dos integrantes do projeto do Campus Floriano no treinamento e execução.

Figura 28 - Implantação do sistema de aproveitamento de água em escola da rede estadual em Floriano



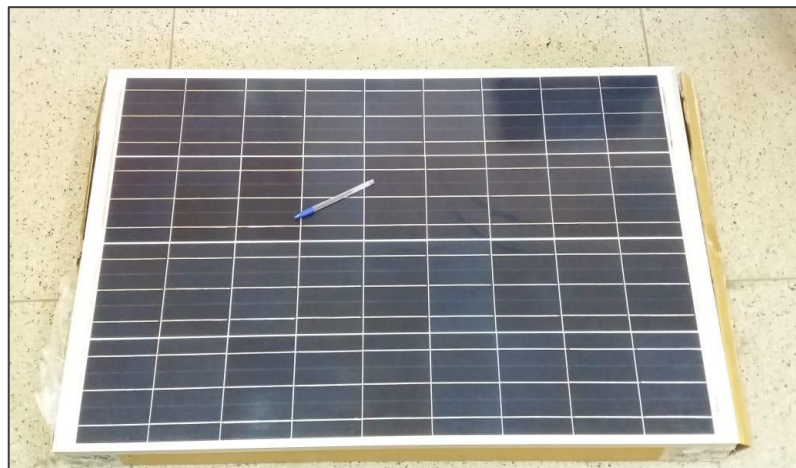
Fonte: Correia *et al.* (2018).

Algumas oportunidades de melhoria foram identificadas quando da análise do projeto, como a importância de quantificar a energia elétrica e o valor financeiro economizado com a utilização do bombeamento fotovoltaico, bem como mensurar o CO₂ evitado. Seria importante, também, realizar análise da qualidade da água reaproveitada, no intuito de verificar a sua adequabilidade. O projeto foi implantado em apenas um dos prédios do campus, mas tem potencialidade para expansão, se houver investimento em material e mão de obra, bem como interesse e disponibilidade por parte dos idealizadores. De acordo com Correia *et al.* (2018), o projeto tem o potencial para utilizar a água da chuva ou de outros pontos onde possa ocorrer desperdício.

4.4.3 Projeto “Implantação do laboratório de energia solar fotovoltaica do IFPI - Campus Floriano”

O projeto do laboratório de energia solar fotovoltaica visa a modernização curricular do curso técnico de eletromecânica do Campus Floriano, ampliando as competências de professores e alunos, através do conhecimento de novas tecnologias, no intuito de promover a melhoria da qualidade do ensino. O coordenador afirma que a expansão das energias renováveis, no Brasil e no Piauí, assim como a instalação do SFCR do Campus, foram os motivadores para o desenvolvimento do projeto do laboratório. O projeto teve financiamento aprovado a partir de edital do Programa de Apoio à Pesquisa, Estruturação e Reestruturação (ProAgrupar) do IFPI, no valor de R\$ 7.500, com a obrigação de ser executado até novembro de 2018. O laboratório está na fase de implantação e parte dos equipamentos necessários adquiridos (Figura 29), o que tem gerado expectativa por parte dos alunos, assim relata o coordenador.

Figura 29 - Módulo fotovoltaico adquirido pelo projeto



Fonte: Acervo do autor.

O laboratório de energia solar deve atender cerca de 120 alunos por ano, dos cursos técnicos de eletromecânica e meio ambiente, havendo a possibilidade de abertura para visitas de outras instituições. Segundo o coordenador, está prevista a ampliação do laboratório, a fim de englobar também a energia eólica, e a verba para essa ampliação também deverá ser provida através dos próximos editais de apoio do IFPI. O laboratório ainda está sendo construído, em local que antes servia para dispor aparelhos de ar-condicionado obsoletos ou danificados, como é possível visualizar na Figura 30. A etapa de construção tem passado por dificuldades financeiras, sendo que a verba é destinada para a compra de material de funcionamento. No entanto, o coordenador relatou que alguns professores do Campus estão colaborando financeiramente para a obra do laboratório.

Figura 30 - Obra em andamento do laboratório de energia solar fotovoltaica



Fonte: Acervo do autor (2018).

No intuito de se criar um laboratório mais estruturado, poderia-se buscar uma parceria com empresas privadas do ramo de energia e o Poder Público, como exemplo o que foi realizado pelo IFPI Campus Parnaíba. Segundo Moraes, Firmeza e Lira (2018), o Reitor do IFPI, o governador do Estado do Piauí e o presidente da Ômega Engenharia firmaram uma parceria cujo objetivo era a criação do curso técnico em energias renováveis no Campus Parnaíba. O IFPI se responsabilizou pelo espaço físico, professores da área técnica e pela elaboração do projeto pedagógico do curso. Já a empresa garantiu material e experiências práticas em laboratórios, assim como a oferta de estágios remunerados para os alunos. Assim, foi criado um laboratório de energias renováveis que está equipado com kits didáticos de energia solar, eólica e célula de hidrogênio, *softwares* de simulação computacional avançados e instrumentos de medição.

Nesse contexto, Kandpal e Broman (2014) acreditam que um laboratório de energia renovável destina-se a proporcionar experiências que conduzam ao desenvolvimento de habilidades cognitivas, como a compreensão de conceitos, a elaboração de inferências, a verificação de relações teóricas, procedimentos para a realização de trabalhos experimentais. Spirovski *et al.* (2012) concluíram que o papel dos laboratórios e centros de pesquisa para o estudo da temática em energética renovável é essencial.

É importante que além das aulas práticas no laboratório, os professores conduzam os alunos para visitas técnicas em usinas de energias renováveis, onde será possível verificar *in loco* o conhecimento adquirido nas aulas laboratoriais. Se o laboratório for utilizado de forma adequada, envolvendo professores e alunos das áreas de conhecimento afins, espera-se que haverá um grande impacto positivo no ensino da instituição, no tocante a energias renováveis.

4.4.4 Projeto “Monitoramento das variáveis meteorológicas que influenciam diretamente o funcionamento da usina fotovoltaica do IFPI, Campus Floriano”

O objetivo deste projeto é a aquisição de uma estação meteorológica automática para monitoramento das variáveis que influenciam diretamente o funcionamento do sistema fotovoltaico do Campus Floriano, e aproveitá-lo para fins didáticos e de pesquisa. De acordo com a coordenadora do projeto, a estação coleta e processa dados de variáveis meteorológicas necessárias para o monitoramento de um sistema, como radiação global, radiação direta e difusa. Segundo a coordenadora, o projeto da estação deve ser complementar ao laboratório de energia solar, e que também foi motivado pela implantação do SFCR do Campus. Esse projeto também obteve verba do Programa de Apoio à Pesquisa, Estruturação e Reestruturação (ProAgrupar) do IFPI, e o valor concedido foi de R\$ 7.500. O equipamento já foi comprado e recebido pela Instituição (Figura 31). De acordo com as especificações do produto apresentadas na embalagem, o mesmo fornece dados de temperatura, umidade, velocidade e direção do vento, pressão barométrica, índice pluviométrico, radiação solar e radiação UV.

Figura 31 - Estação meteorológica adquirida pelo projeto



Fonte: Acervo do autor (2018).

Segundo Nóbrega *et al.* (2018), o monitoramento de variáveis meteorológicas é importante para o desenvolvimento de projetos que visam a captação e a conversão da energia solar. Pinho e Galdino (2014) complementam afirmando que para avaliar o potencial da conversão fotovoltaica em um determinado lugar, é muito útil que se disponha de dados confiáveis da irradiação solar. No entanto, Pereira *et al.* (2017) afirmam que para manter a

confiabilidade dos dados coletados, é de grande importância operações de manutenção destas estações meteorológicas.

É importante que os dados coletados durante o monitoramento sejam analisados e publicados através de trabalhos científicos com a participação dos alunos, assim, o conhecimento adquirido poderá ser repassado e utilizado por possíveis interessados em implantar a ESF na região. Recomenda-se que a Estação meteorológica seja complementar ao laboratório de energias renováveis (descrito no item 4.4.3), e que o equipamento possa ser utilizado em disciplinas que envolvam climatologia.

4.4.5 Criação da disciplina “Energias Renováveis” no curso técnico em eletromecânica

O novo projeto pedagógico do curso técnico em eletromecânica subsequente, aprovado pelo Conselho Superior do IFPI, em fevereiro de 2018, apresenta a disciplina “Energias Renováveis”, que apresenta na ementa os conteúdos: introdução à energia; composição física e fabricação dos dispositivos fotovoltaicos; conceitos elétricos; configuração de sistemas; dimensionamento de sistemas; ligações e dimensionamento de condutores e cabos; instalação e manutenção de sistemas fotovoltaicos; história da energia eólica; energia e potência extraídas do vento; turbinas eólicas; sistema elétrico de um aerogerador; aplicações de sistemas eólicos. Segundo o coordenador do curso técnico em eletromecânica, a ideia da criação da disciplina também segue o preceito da modernização curricular do curso, para que o mesmo acompanhe o crescimento das energias renováveis no Brasil. A disciplina terá carga horária de 40 horas, mas ainda não teve início, já que os alunos ingressantes ainda não atingiram o módulo na qual será ministrada, até o momento desta pesquisa.

Segundo Kandpal e Broman (2014), durante o estágio inicial as estruturas dos programas de ensino sobre energia renovável frequentemente têm o viés subjetivo dos profissionais que desenvolvem e implementam o currículo. De acordo com os autores, na maioria das vezes, os currículos são fortemente impulsionados pela experiência dos professores. Karatepe *et al.* (2012) afirmam que programas de ensino em energias renováveis devem ser apoiados para promover o desenvolvimento de um futuro energético estável, e que temas baseados em energia devem ser incluídos nos currículos escolares para aumentar o nível de conscientização dos alunos sobre o tema.

O projeto da disciplina não prevê a temática sobre os aspectos ambientais das fontes, o que seria de suma importância no contexto de uma compreensão mais abrangente das energias renováveis, logo, seria interessante que um determinado percentual da carga horária

fosse ministrado por um docente da área de ciências ambientais. O projeto da disciplina também deveria incluir outras fontes, como a hidrelétrica, considerando que, de acordo com a ANEEL (2018b), mais de 60% da matriz elétrica brasileira provém dessa fonte, e o estado do Piauí dispõe de uma usina.

4.4.6 Semana de Meio Ambiente do Campus Floriano

A 3ª Semana de Meio Ambiente do Campus Floriano, cujo tema foi “Energias renováveis e seu papel no desenvolvimento sustentável”, foi um evento realizado no mês de junho de 2016, obtendo um total de 180 estudantes inscritos. Na ocasião, foram realizadas atividades como palestras, exposições, minicursos com temáticas diversas e mesas redondas (Figuras 32 e 33), contando com a presença de pesquisadores, engenheiros e autoridades do governo estadual, na ocasião o Secretário de mineração, petróleo e energias renováveis do Piauí, assim como o próprio Reitor do IFPI. Foi convidado o pesquisador do Grupo Interdisciplinar de Pesquisa em Energia Solar do Piauí (GIPES) para palestra específica sobre ESF, porém, devido a uma incompatibilidade de agenda, não foi possível sua participação. O evento foi realizado concomitantemente à inauguração do SFCR do Campus, e de acordo com o coordenador do curso técnico em meio ambiente na ocasião, a implantação do sistema influenciou diretamente no tema da Semana. O evento teve financiamento através de edital da Fundação de Amparo à Pesquisa do Piauí (FAPEPI), no valor de R\$ 5.000, destinado à compra de material de consumo. IRENA (2014) reforça que a difusão da temática sobre fontes de energia renováveis deve ser incentivada através do apoio financeiro.

Figura 32 - Palestra sobre energia solar térmica com pesquisador do GIPES



Fonte: Acervo do autor (2016).

Figura 33 - Minicurso de arborização e técnicas de plantio



Fonte: Acervo do autor (2016).

Kandpal e Broman (2014) apontam para a importância de se organizar cursos ou *workshops* de curta duração, para que se forneçam informações básicas sobre energia renovável, dentre outros tópicos relevantes. Reiteram que é necessário assegurar a introdução de tópicos de energias renováveis, ao nível escolar, para garantir que os conhecimentos e as habilidades dos professores sejam atualizados periodicamente. Oetkiewicz, Tomaszewska e Mróz (2017) complementam que o público, especialmente os jovens, é um elemento importante do processo inicial de implementação das energias renováveis.

Apesar de o evento ter contado com mesas redondas, palestras e minicursos interdisciplinares, poderia ter havido a possibilidade de submissão de artigos científicos, bem como exposição desses trabalhos, o que incentivaria a pesquisa sobre a temática de energias renováveis. Seria importante, também, uma pesquisa de *feedback* com o público, no intuito de se analisar as oportunidades de melhoria do evento, para que os próximos possam ser melhor organizados.

4.5 Conhecimento da comunidade sobre ESF, projetos de ensino, pesquisa e extensão e interesse sobre a temática

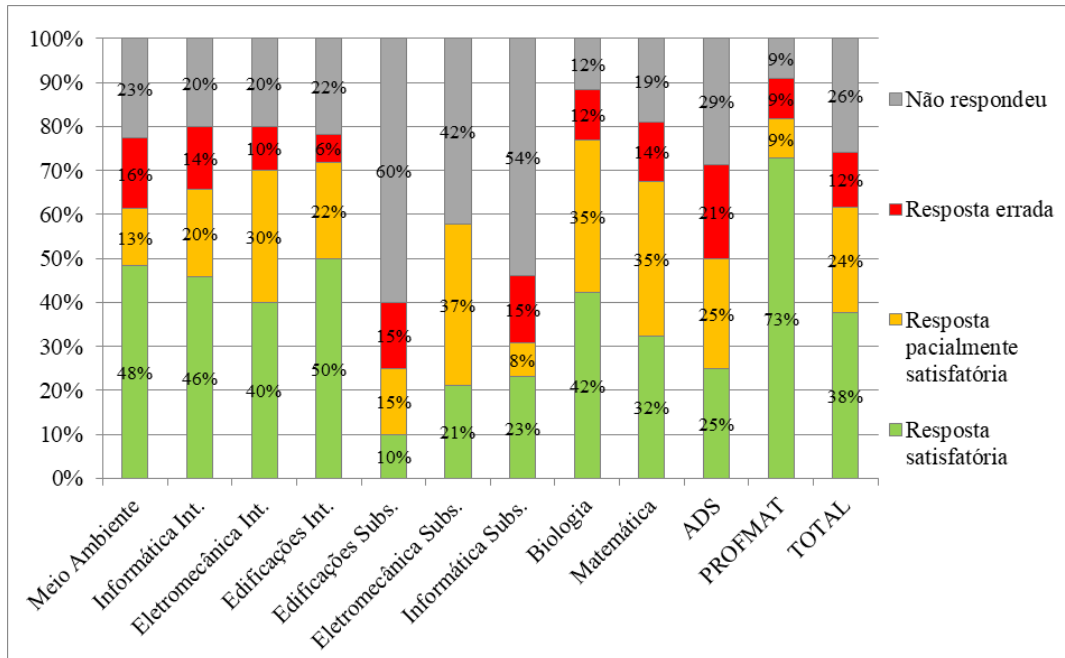
Para a construção da análise do conhecimento da comunidade acadêmica sobre ESF e os projetos do Campus, foram aplicados 287 questionários com os alunos regularmente matriculados, e 64 com os professores em exercício. Os questionários com os alunos foram aplicados em sala de aula, e percebeu-se boa disposição dos mesmos em participar, o que facilitou a realização dessa etapa. Com os professores, que também colaboraram sem grandes problemas, foram aplicados na sala restrita aos docentes, ou concomitante à aplicação com os alunos em sala de aula. Durante a etapa de aplicação foi explanado o objetivo da pesquisa e apresentados, para assinatura, os Termos de Consentimento de Livre e Esclarecido – TCLE (Apêndice D), conforme exigência do Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Piauí.

4.5.1 Conhecimento sobre o funcionamento da ESF

Após a análise dos questionários, observou-se que somente 38% do total de alunos apresentaram respostas satisfatórias quanto ao funcionamento da ESF, como pode ser observado na Figura 34. Os alunos do curso de mestrado profissional em matemática (PROFMAT) apresentaram o melhor desempenho, com 73% de respostas satisfatórias nesse quesito, acima da média de respostas satisfatórias. Esse cenário pode ser reflexo do maior

tempo de vivência acadêmica dos alunos da pós-graduação, apesar de o tema energia solar não fazer parte do plano de curso do PROFMAT.

Figura 34 - Conhecimento dos alunos sobre o funcionamento da ESF



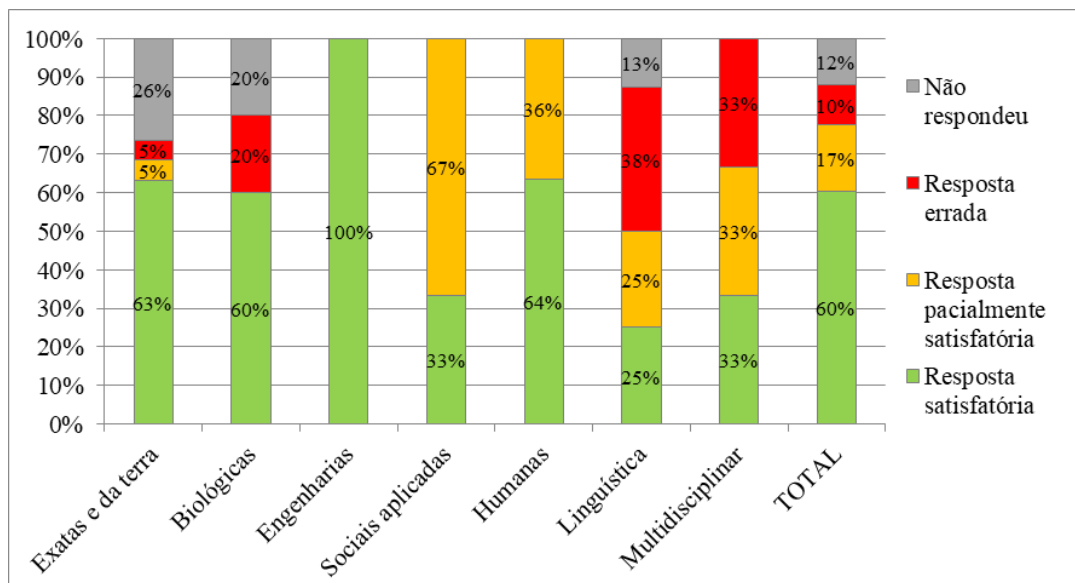
Fonte: O autor (2018).

Os cursos subsequentes (Edificações, Informática e Eletromecânica) tiveram o pior desempenho nesse quesito, ficando abaixo da média de respostas satisfatórias, e acima da média quanto a “não respondidas” e “respostas erradas”, conforme Figura 34. O tipo de resposta errada mais comum por parte dos alunos foi a associação da ESF com energia solar térmica, que de forma simplista, é a conversão do calor em eletricidade, de acordo com Miller e Spoolman (2015). Por ser um curso relacionado à temática, esperava-se que os alunos do curso técnico em meio ambiente integrado ao médio apresentassem o melhor percentual de respostas satisfatórias. O percentual de respostas satisfatórias do curso técnico subsequente em eletromecânica poderia ser mais alto, caso a disciplina de “Energias renováveis” tivesse sido iniciada antes da aplicação dos questionários. Kandpal e Broman (2014) recomendam a introdução de conceitos relevantes e experimentação sobre fontes de energias renováveis nos currículos de cursos que envolvam essas fontes.

Já o desempenho dos professores foi melhor do que os alunos nesse quesito, com 60% de respostas satisfatórias, tendo como destaque os docentes de Engenharias, com 100% de acerto sobre o funcionamento básico da ESF, conforme apresentado na Figura 35. Para esses docentes já era esperado um bom desempenho, visto que esse quesito é normalmente

tratado nos cursos de engenharia. Outra explicação plausível é a possibilidade desses professores atualizarem seus conhecimentos sobre o tema, conforme exige a profissão. Os docentes da área Multidisciplinar são graduados, em sua totalidade, na subárea Ciências Ambientais da CAPES, no curso de Tecnologia em Gestão Ambiental, logo, esperava-se melhor desempenho deles nesse quesito. No entanto, o percentual de resposta satisfatória foi de apenas 33%, abaixo inclusive dos professores de Ciências Biológicas (60%) e Humanas (64%), como observado na Figura 35.

Figura 35 - Conhecimento dos professores sobre o funcionamento da ESF



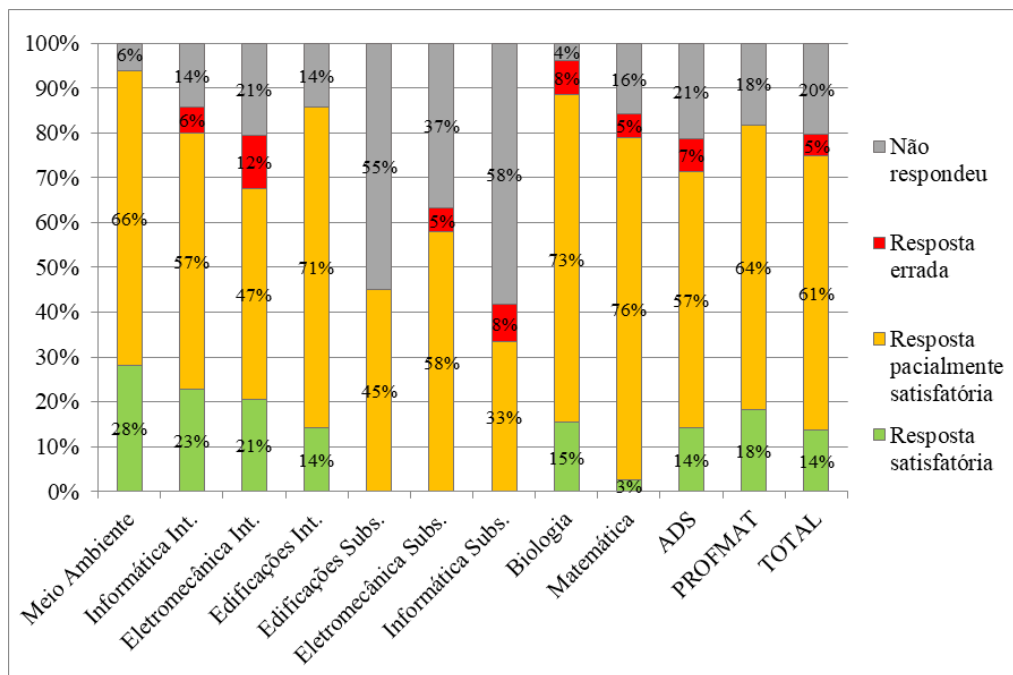
Fonte: O autor (2018).

Em um estudo aplicado com 260 professores de escolas de Ensino Médio sobre o conhecimento em energias renováveis (solar térmica, solar fotovoltaica, eólica, geotérmica e biomassa), Zyadin *et al.* (2014) observaram que 57% dos professores demonstraram entender o funcionamento básico de ESF. Nesta pesquisa, também foi considerada a área de atuação do professor, em que os de Ciências demonstraram maior entendimento. Guven e Sulun (2017) encontraram 69% de respostas corretas sobre o funcionamento básico da ESF, em um estudo também sobre conhecimento em energias renováveis (eólica, solar fotovoltaica, geotérmica, hidrelétrica, biomassa e maremotriz), que foi aplicado com 196 professores de uma Universidade pública. Foi observado diferença entre os percentuais de acerto de acordo com a área de conhecimento do professor, sendo também os docentes de Ciências os que obtiveram o melhor desempenho nessa questão.

4.5.2 Conhecimento sobre os benefícios ambientais da ESF

Quanto aos benefícios ambientais, somente 14% dos alunos demonstraram conhecimentos satisfatoriamente, e a maioria apresentou respostas incompletas nesse quesito (61%), conforme Figura 36. Os alunos dos cursos subsequentes não apresentaram respostas satisfatórias e obtiveram o maior percentual de questões não respondidas. Dentre as respostas corretas definidas no Quadro 2, “energia renovável” e “energia limpa”, itens “b” e “c”, respectivamente, foram as mais comuns citadas pelos alunos. Com menor frequência, foram dadas respostas relacionadas ao item a: “Não emite gases de efeito estufa”, e nenhuma resposta ao item e: “Pouco ou nenhum impacto social”. Os alunos do curso técnico em meio ambiente integrado ao médio obtiveram o melhor resultado nessa questão, com 28% de respostas satisfatórias. Esse cenário deve ser reflexo de que aspectos ambientais da ESF normalmente são tratados em cursos relacionados à temática, como o curso Técnico em Meio Ambiente.

Figura 36 - Conhecimento dos alunos sobre os benefícios ambientais da ESF

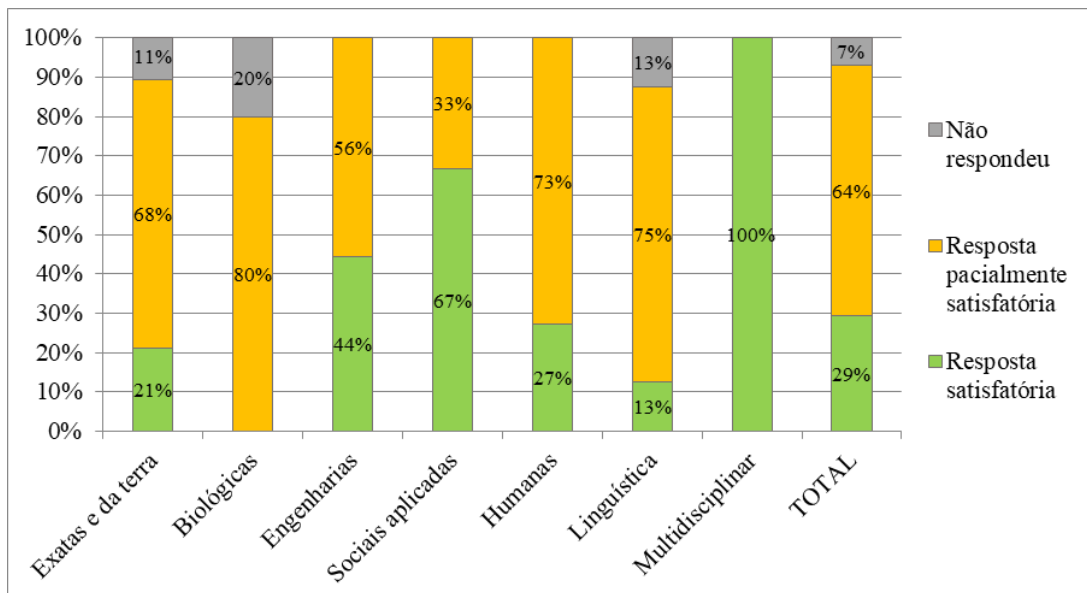


Fonte: O autor (2018).

Quanto aos professores, é possível observar, na Figura 37, que os mesmos apresentaram conhecimento sobre os benefícios ambientais (29% de respostas satisfatórias) ligeiramente melhor do que os alunos. Nota-se, também, um baixo percentual de questões não respondidas, e que não houve respostas erradas nesse quesito. Dentre as respostas corretas definidas no Quadro 2, “energia renovável” e “energia limpa” também foram as mais comuns citadas pelos Professores e, diferente dos alunos, com bastante frequência foram dadas

respostas que se enquadram no item a: “Não emite gases de efeito estufa” do Quadro 2. Os docentes da Grande área Multidisciplinar foram os que obtiveram o melhor resultado, com 100% de acerto nesse quesito. Esse cenário pode ser explicado devido aos professores dessa área possuírem, em sua totalidade, formação acadêmica em Ciências Ambientais, conforme relataram nos questionários, e, logo, devem ter conhecimento mais aprofundado sobre o tema, ao comparar-se aos outros professores. Esse cenário foi oposto ao dos professores de Ciências Biológicas, os quais não obtiveram nenhuma resposta satisfatória nesse quesito.

Figura 37 - Conhecimento dos professores sobre os benefícios ambientais da ESF



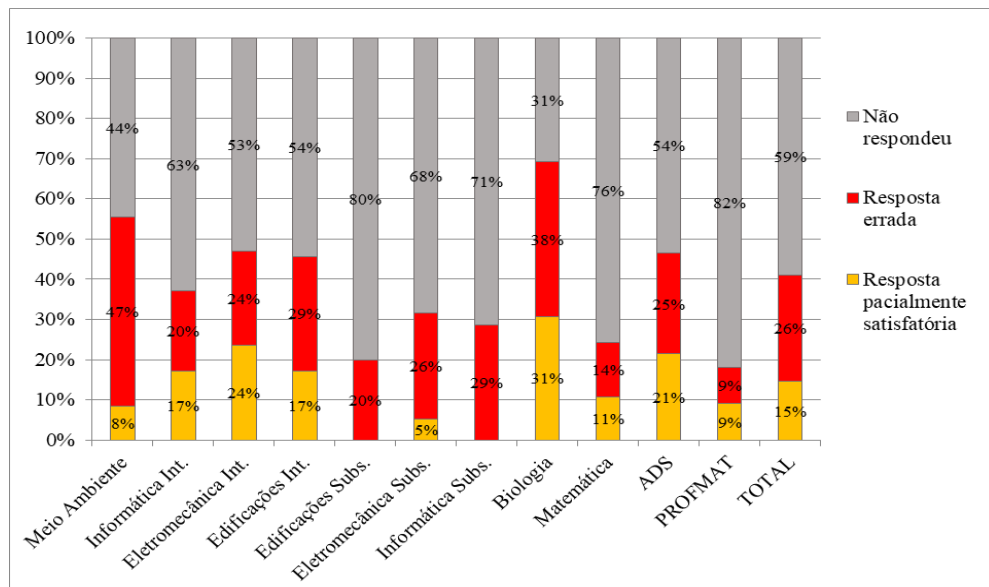
Fonte: O autor (2018).

Ocetkiewicz, Tomaszewska e Mróz (2017) afirmam que certos benefícios das energias renováveis, por serem apresentados apenas em longo prazo, podem não ser imediatamente percebidos pela sociedade. Consoante Acikgoz (2011), o desconhecimento sobre os benefícios de determinada tecnologia de energia pode prejudicar a aceitação dessa fonte pelos seus possíveis usuários. Ntona, Arabatzis e Kyriakopoulos (2015) ressaltam a importância da implementação de currículos voltados para o ensino técnico, que abordem a temática das energias renováveis, bem como seus aspectos ambientais, no intuito de acompanhar o avanço dessas fontes de energia, utilizando-se de técnicas de ensino apropriadas. Em complemento, Çelikler e Aksan (2015) propõem que os indivíduos conheçam as características e os benefícios da energia produzida a partir de fontes renováveis, permitindo que as gerações futuras alcancem seu próprio desenvolvimento sustentável.

4.5.3 Conhecimento sobre os aspectos ambientais negativos da ESF

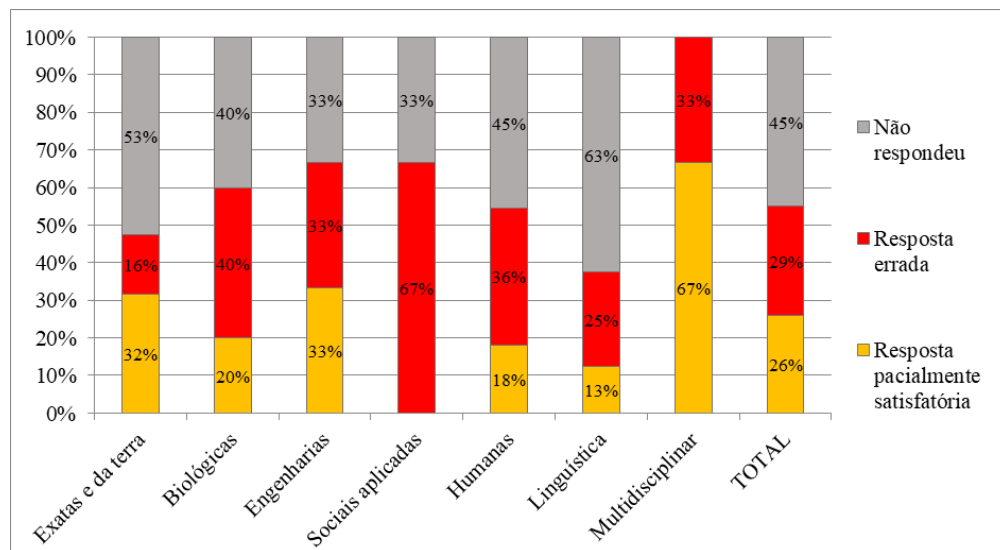
O conhecimento sobre os aspectos ambientais negativos foi um quesito de baixo desempenho pelos alunos do Campus Floriano, com nenhuma resposta completamente satisfatória, e somente 15% de respostas parcialmente satisfatórias, conforme observado na Figura 38. As respostas erradas mais comuns nessa questão foram relacionadas à afirmação de que a ESF não apresenta aspectos ambientais negativos. As respostas parciais mais comuns dos alunos estavam enquadradas no item “d: Usinas fotovoltaicas podem destruir ecossistemas”, do Quadro 2, como, por exemplo, “Usinas de energia solar causam desmatamento”. Os alunos que obtiveram melhor desempenho nesse quesito eram do curso de licenciatura em biologia, com 31% de respostas parcialmente satisfatórias. Os de pior desempenho foram os alunos do curso técnico em Meio Ambiente, com somente 8% de respostas parcialmente satisfatórias. Esse fato não era esperado, já que o referido curso é de uma área afim às energias renováveis. Recomenda-se que na disciplina em que é ministrado o conteúdo sobre ESF, haja um reforço na explanação.

Figura 38 - Conhecimento dos alunos sobre os aspectos ambientais negativos da ESF



Fonte: O autor (2018).

O cenário apresentado pelos professores nessa questão foi semelhante aos alunos, sendo que os docentes obtiveram desempenho melhor (26% de respostas parcialmente satisfatórias), mas também nenhuma resposta completamente satisfatória, como demonstrado na Figura 39. Muitos professores também afirmaram que a ESF não apresenta aspectos ambientais negativos. Nas respostas parciais, as mais comuns relatadas pelos docentes estavam enquadradas no item “b: As placas se transformam em resíduos no fim da vida útil”.

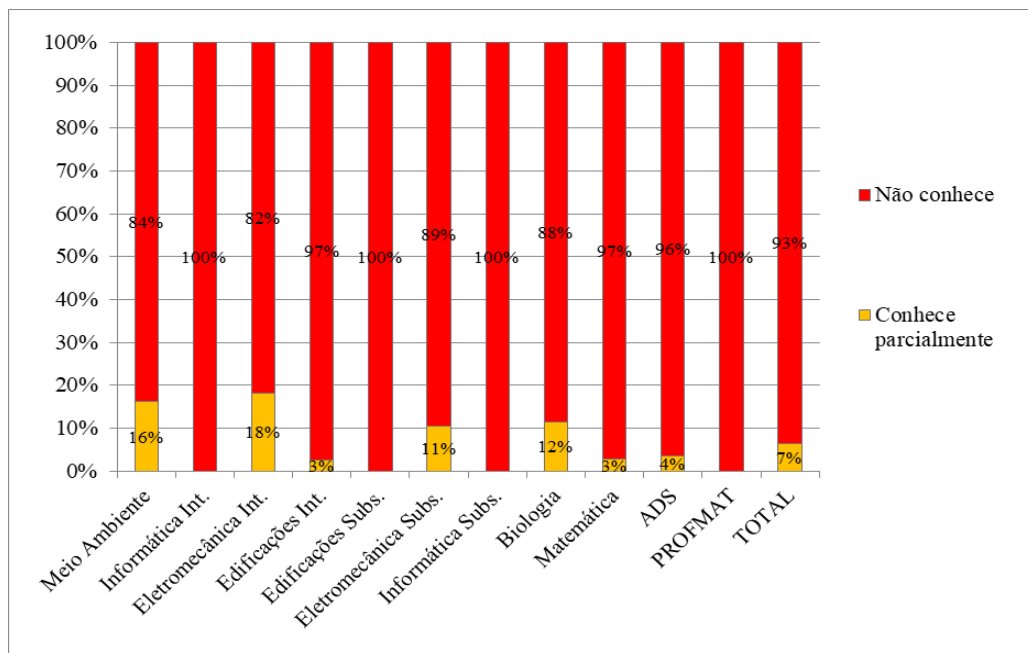
Figura 39 - Conhecimento dos professores sobre os aspectos ambientais negativos da ESF

Fonte: O autor (2018).

Segundo Sheikh e Kocaoglu (2011), há falta de conhecimento sobre os impactos da ESF, e a maior parte das pesquisas tem lidado com os aspectos técnicos e econômicos sobre o tema. IRENA (2017) explica que o pouco conhecimento sobre esses impactos é porque a tecnologia solar é relativamente recente, e seu ciclo de vida longo, logo, alguns desses impactos só serão evidentes depois de 25 anos.

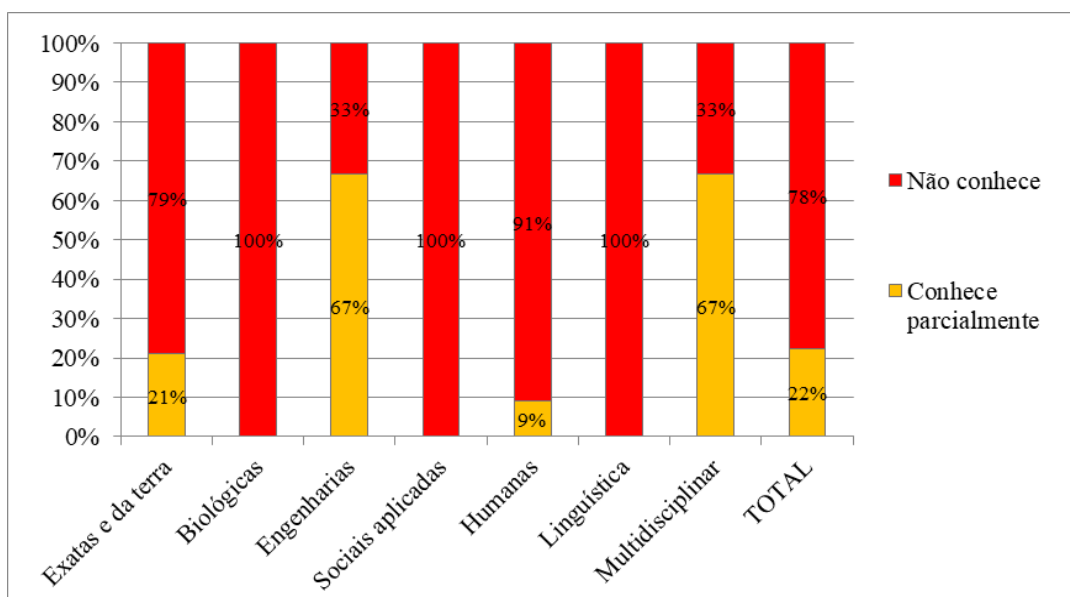
4.5.4 Conhecimento sobre os projetos do Campus

Relacionado ao conhecimento da população de alunos sobre os projetos do Campus, observou-se que nenhum respondente conhece a totalidade deles, e apenas 6% conhecem algum desses projetos, conforme apresentado na Figura 40. Os alunos com melhor desempenho nesse quesito foram os dos cursos técnicos integrados ao médio de Eletromecânica e Meio Ambiente, com 18% e 16% de respostas parcialmente satisfatórias, respectivamente. Esse cenário pode ser explicado pelo fato de os alunos participantes desses projetos serem, em totalidade, desses cursos.

Figura 40 - Conhecimento dos alunos sobre os projetos do Campus

Fonte: O autor (2018).

Já os professores tiveram desempenho um pouco melhor, com 22% de conhecimento parcial sobre os projetos, sendo os docentes das áreas Multidisciplinar e Engenharias os de melhor desempenho, ambas com 67% de respostas parcialmente satisfatórias, conforme a Figura 41. A explicação para esse cenário é que todos os projetos existentes até o momento foram criados por professores ou técnicos dessas áreas, logo, é natural que esses docentes tenham mais conhecimento sobre os projetos.

Figura 41 - Conhecimento dos professores sobre os projetos do Campus

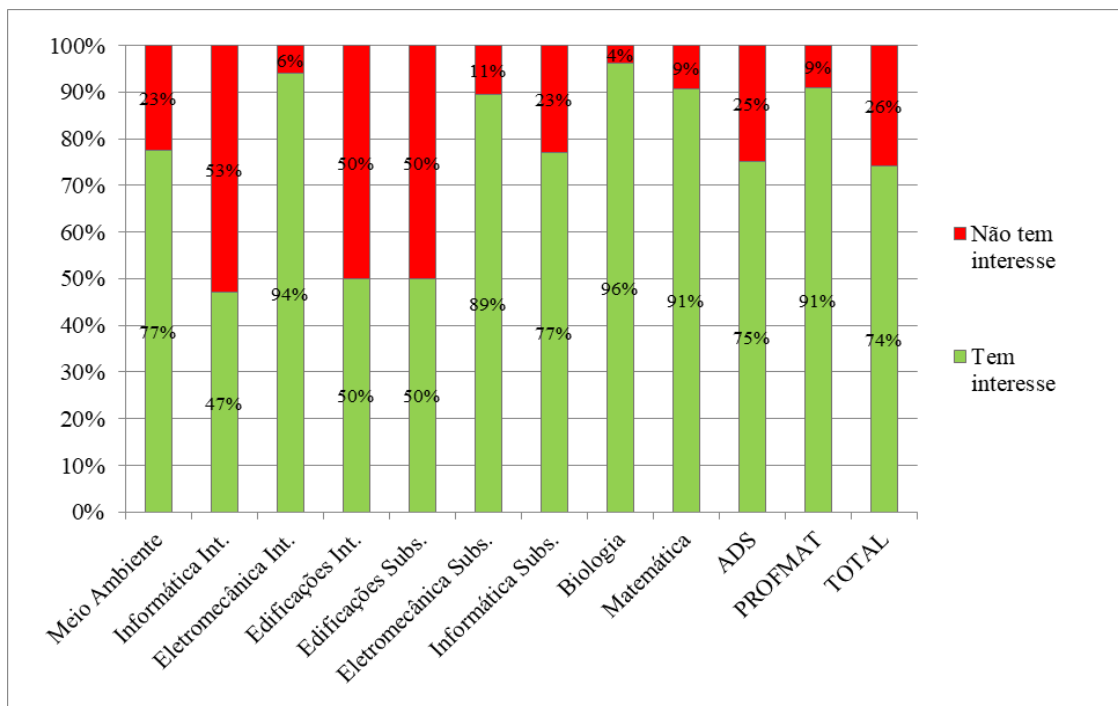
Fonte: O autor (2018).

O projeto mais conhecido pela comunidade acadêmica foi o intitulado “Sistema de captação de água dos ar-condicionados do IFPI – Campus Floriano”, item “b” da questão nº 4 do Quadro 2. Foram comuns respondentes que fizeram referência a esse projeto, utilizando termos como, por exemplo, “Projeto que aproveita água para irrigação” e também “Irrigação pela energia solar”. É importante ressaltar que esse projeto foi o que obteve mais resultados, sendo que foram produzidos vários artigos divulgados em eventos científicos, bem como a replicação do projeto em outra Instituição de ensino. Outro fato que explica a popularidade do projeto é a sua fácil visibilidade na área do Campus, onde a estrutura do projeto (módulo, irrigadores e caixa d’água) fica exposta, conforme relatado no item 4.4.2.

4.5.5 Interesse em participar de projetos que envolvam ESF

Quanto ao interesse em participar de projetos relacionados à ESF, 74% dos alunos assinalaram ter interesse. Os discentes que demonstraram estar mais interessados foram dos cursos Técnico em Eletromecânica integrado ao médio (94%), Biologia (96%) e do Mestrado em Matemática (91%), conforme Figura 42. Os alunos dos cursos de Edificações integrado e subsequente assinalaram menor interesse (50%). Quanto aos alunos do curso Técnico em Meio Ambiente (77%), esperava-se maior interesse, uma vez que esse curso tem afinidade com a ESF, como também tem projetos relacionados a essa temática.

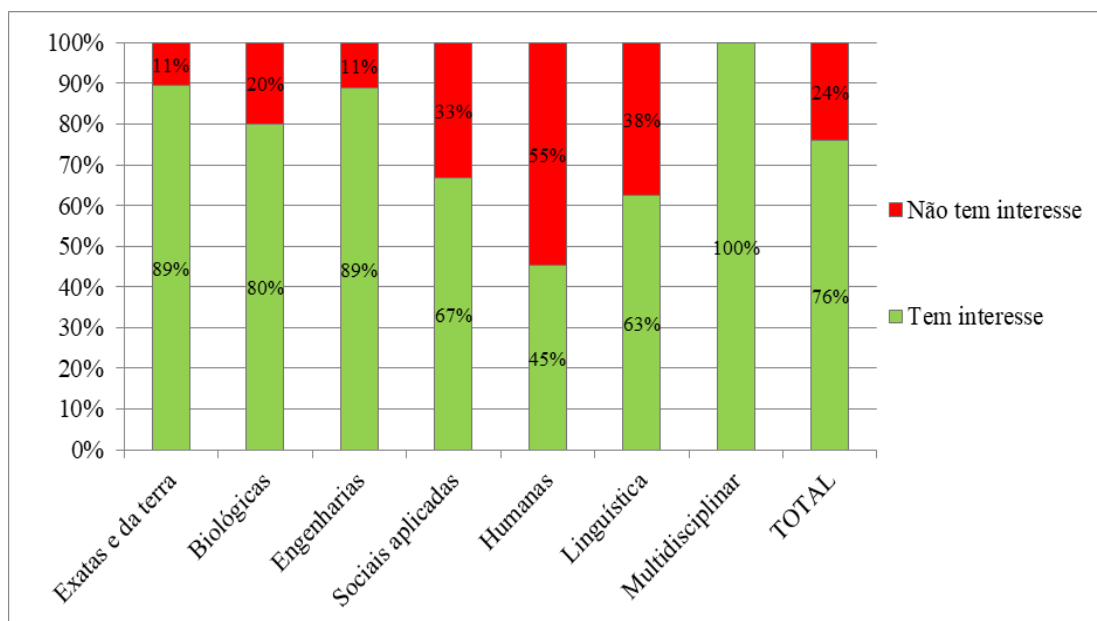
Figura 42 - Interesse dos alunos em participar de projetos



Fonte: O autor (2018).

Conforme observado na Figura 43, 76% dos professores assinalaram interesse em participar de projetos, cenário bastante semelhante ao dos alunos. Os docentes com maior destaque nesse quesito são da área Multidisciplinar, em que 100% afirmaram interesse em participar. Os docentes de humanas apresentaram menor percentual, o que de certa forma era esperado, já que a formação desses professores não está diretamente relacionada com a ESF, logo, os mesmos devem se interessar por projetos voltados para suas áreas.

Figura 43 - Interesse dos professores em participar de projetos



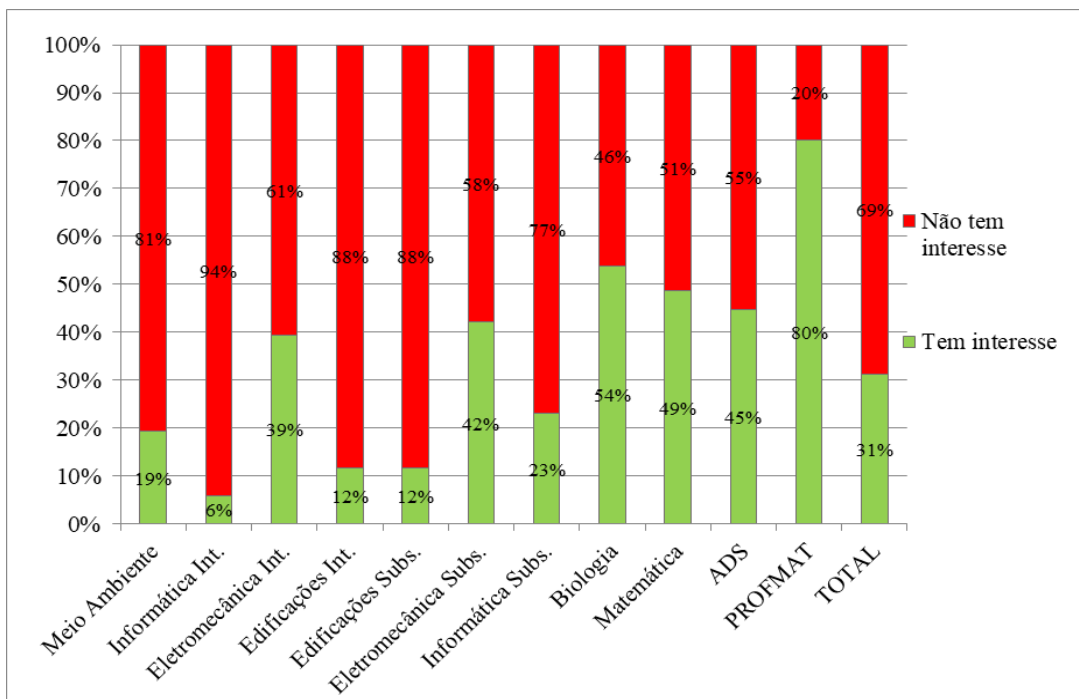
Fonte: O autor (2018).

Pelo entendimento de que a grande maioria da comunidade acadêmica do Campus tem interesse em participar de projetos relacionados à ESF, pode ser relevante a ampliação dos projetos atualmente existentes. Os dados apresentados nesta pesquisa podem orientar os professores ou técnicos do campus interessados na criação de novos projetos, direcionando esses principalmente para os cursos que os alunos apresentaram maior percentual de interesse. Segundo a IRENA (2017), projetos de pesquisa e educação em ESF são essenciais para promover a próxima geração de profissionais, sendo fundamentais para atender à demanda de habilidades do crescente setor de energia renovável. Green, Medina-Jerez e Bryant (2015) concluem que a participação de professores em projeto que envolva a temática de energia pode torná-los mais conscientes da problemática ambiental relacionada.

4.5.6 Interesse em fazer curso relacionado a energias renováveis

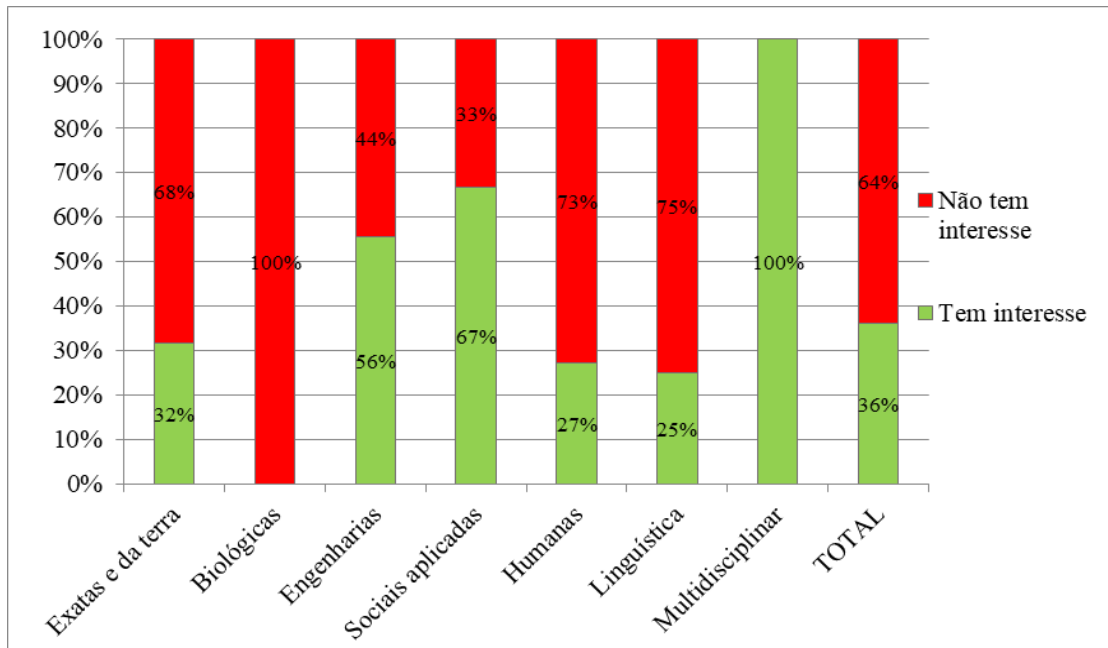
Sobre o interesse em cursar uma graduação ou pós-graduação voltada para o tema de energia solar ou energias renováveis, no geral os alunos demonstraram baixo interesse, pois somente 31% assinalaram, conforme a Figura 44. Porém, a realidade foi divergente para o curso de Mestrado Profissional em Matemática, em que 80% alunos demonstraram interesse em fazer curso, mesmo não sendo uma área diretamente afim. Observa-se, também, que os cursos superiores apresentaram interesse maior que os técnicos, mesmo esses estando mais relacionados com a temática de energias renováveis do que os superiores.

Figura 44 - Interesse dos alunos em fazer curso relacionado a energias renováveis



Fonte: O autor (2018).

O cenário dos professores foi semelhante ao dos alunos. No geral, 36% assinalaram interesse, como observado na Figura 45. Os docentes da área Multidisciplinar foram destaque, em sua totalidade demonstraram interesse em fazer curso relacionado a energias renováveis. Os professores de Ciências Sociais Aplicadas (67%), que envolve as graduações em Administração e Arquitetura, apresentaram interesse maior do que os de Engenharias (56%), sendo que se esperava que esses últimos, devido a afinidade com o tema, teriam maior vontade.

Figura 45 - Interesse dos professores em fazer curso relacionado a energias renováveis

Fonte: O autor (2018).

Consoante Acikgoz (2011), para que o sistema educacional seja capaz de acompanhar as necessidades dos empreendimentos em energia renovável, é necessário que cursos sobre a temática sejam promovidos periodicamente. Kandpal e Broman (2014) complementam que esses cursos podem garantir mão de obra treinada disponível junto com os empreendedores. Ntona, Arabatzis e Kyriakopoulos (2015) concluem que a educação desempenha um papel crucial no desenvolvimento das fontes de energias renováveis.

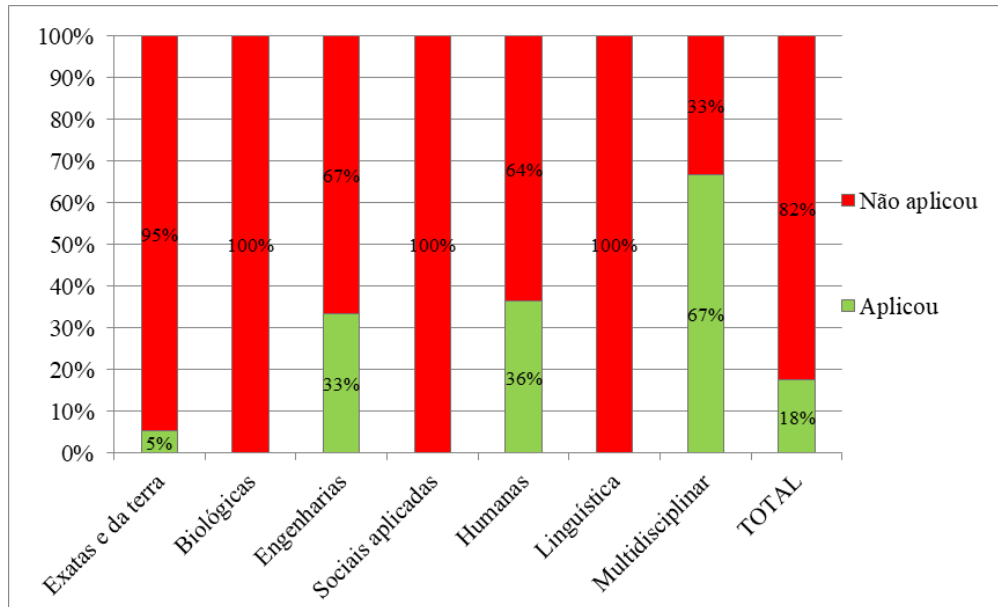
Averiguar o interesse da comunidade acadêmica do Campus Floriano é importante para verificar se há a necessidade de a Instituição promover curso em energias renováveis. Os resultados mostraram que somente com base no interesse de professores e alunos não seria tão interessante a realização de algum curso, no entanto, se esse for aberto à comunidade em geral, poderia, então, haver viabilidade.

4.5.7 Aplicação de atividade ou avaliação sobre ESF pelos professores

Tratando-se de atividade ou avaliação sobre o tema de energia solar, somente 18% dos docentes aplicaram para seus alunos (Figura 46), sendo os professores da área “Multidisciplinar” mais efetivos nesse tema, pois 67% o aplicaram. Ressalta-se que esses docentes são todos das Ciências Ambientais e ministram aula no Curso Técnico em Meio Ambiente. Esperava-se que os docentes de “Engenharias” apresentassem um melhor percentual (33%), haja vista que metade dos projetos analisados é dessa área. Dentro das

Ciências Humanas, somente os professores de Geografia foram os responsáveis pelos 36% apresentados na Figura 46.

Figura 46 - Professores que aplicaram atividade sobre ESF



Fonte: O autor (2018).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo geral realizar uma análise interdisciplinar do sistema de ESF do Campus Floriano do Instituto Federal do Piauí, abordando aspectos ambientais e econômicos, bem como a relevância desse sistema no contexto de ensino, pesquisa e extensão para essa Instituição. Foi realizado um levantamento da produção de energia, ganhos econômicos e carbono evitado no primeiro ano de operação do sistema, no intuito de projetar esses benefícios durante sua vida útil, estimada em 25 anos.

Quanto à produtividade, o sistema tem se mostrado eficiente quando comparado a outros, mas que devido à sua potência instalada, ainda não consegue atender a uma demanda considerável de consumo da Instituição, além do mais, a área construída do Campus está em expansão, fato que acarretará na diminuição do percentual atualmente atendido. Uma possível ampliação do SFCR requererá investimento, logo, uma análise prévia de retorno financeiro será de suma importância, a fim de verificar seu custo benefício. Tratando-se do aspecto econômico, mesmo o tempo de retorno de investimento identificado ser considerável (18 anos), o sistema possui viabilidade econômica, atestada pela verificação do critério Valor Presente Líquido, em que foi encontrado o montante de R\$ 468.562,90, que representa o ganho financeiro ao final da sua vida útil.

É importante frisar que o objetivo principal do Instituto Federal é acadêmico, e percebeu-se, até o momento, com esta pesquisa, que o SFCR tem apresentado resultados no contexto do ensino, pesquisa e extensão, visto que todos os coordenadores de projetos analisados afirmaram que foram motivados pela implantação do sistema. Dos projetos identificados, os mais avançados quanto à execução, até o momento, são o de educação ambiental voltada para energia solar em escolas públicas e o de reaproveitamento de água para irrigação, que utiliza o bombeamento fotovoltaico, sendo este último o mais conhecido pela comunidade acadêmica.

Quanto ao conhecimento da comunidade acadêmica sobre a temática da energia solar, observou-se que entre os cenários dos professores e alunos não houve tanta discrepância, exceto no quesito “funcionamento básico da ESF”, no qual os docentes apresentaram, em sua maioria, maior entendimento. O baixo percentual de conhecimento sobre os projetos do Campus reforça a ideia da necessidade de divulgação dos mesmos no intuito de valorizar o esforço colocado pelos envolvidos, bem como incentivar a criação de novos projetos.

Tratando-se do aspecto ambiental, foi analisado o critério do carbono evitado, o qual foi mensurado a partir dos dados do primeiro ano de operação do sistema, e devido à

variabilidade dos fatores de emissão ano a ano, os quais dependem de uma série de parâmetros climáticos, não é seguro estimar as emissões evitadas futuramente. A quantidade de CO₂ evitado pelo SFCR do Campus no primeiro ano, que foi de 123,44 toneladas, é um valor expressivo, visto que esse sistema é um dos poucos existentes desse porte frente ao panorama da geração distribuída do Estado do Piauí.

Recomenda-se, como trabalhos futuros no Campus, pesquisa sobre a eficiência dos módulos fotovoltaicos, considerando as variáveis climáticas, bem como a influência de material particulado sobre os módulos. Recomenda-se também o acompanhamento dos ganhos com economia e dos custos de operação e manutenção, a fim de se dispor de dados contínuos e mais precisos quanto ao aspecto econômico. Durante o desenvolvimento deste trabalho, observou-se também que o IFPI Campus Floriano tem um potencial muito grande para o desenvolvimento de pesquisas sobre outras temáticas nas ciências ambientais, como gerenciamento de resíduos sólidos, recursos hídricos, pegada de carbono, dentre outros.

É importante também salientar que a Instituição tenha ciência do passivo ambiental que pode ser gerado quando do descarte dos módulos fotovoltaicos no fim da sua vida útil, e mesmo que isso venha a acontecer numa escala considerável de tempo, faz-se necessário que a Instituição planeje, num futuro razoável, o destino ambientalmente adequado desse material. Seria interessante a criação de uma política institucional para incentivar a implantação da energia solar fotovoltaica em outros Campi do IFPI. Recomenda-se, também, que a Instituição mantenha a política de fomento em pesquisa e extensão, como os programas ProAex e ProAgrupar, a fim de facilitar o desenvolvimento de projetos que possam trazer benefícios tanto para a Instituição como para a sociedade.

REFERÊNCIAS

- ACIKGOZ, Caglayan. Renewable energy education in Turkey. **Renewable Energy**, [s.l.], v. 36, n. 2, p.608-611, fev. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2010.08.01>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096014811000385X?via%3Dihub>>. Acesso em: 1 out. 2018.
- AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Logística Reversa de Equipamentos Eletroeletrônicos**: Análise de viabilidade técnica. 2013. Disponível em: <http://www.mdic.gov.br/arquivos/dwnl_1416934886.pdf>. Acesso em: 6 set. 2018.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução nº 482**, de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília, DF, Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 23 jun. 2017.
- _____. **Resolução nº 687**, de 24 de novembro de 2015. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Brasília, DF, Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 27 out. 2017.
- _____. **Unidades Consumidoras com Geração Distribuída**. 2018a. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/GD_Estadual.asp>. Acesso em: 27 jun. 2018.
- _____. **Atualização das projeções de consumidores residenciais e comerciais com microgeração solar fotovoltaicos no horizonte 2017-2024**. 2017a. Nota Técnica nº 56. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas>>. Acesso em: 14 abr. 2018.
- _____. **Capacidade de Geração do Brasil**. 2018b. Banco de Informações de Geração. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 29 mai. 2018.
- _____. **Capacidade de Geração do Estado do Piauí**. 2018c. Banco de Informações de Geração. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/ResumoEstadual/CapacidadeEstado.cfm>>. Acesso em: 29 mai. 2018.
- _____. **Conta de Desenvolvimento Energético**. 2018d. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas>> Acesso em: 18 jun. 2018.
- _____. **Micro e minigeração distribuída**: sistema de compensação de energia elétrica. 2. ed. 2016. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14913578/Caderno+tematico+Micro+e+Minigeração+Distribuída+-+2+edicao/716e8bb2-83b8-48e9-b4c8-a66d7f655161>>. Acesso em: 6 out. 2016.
- _____. **Programa de Incentivo às Fontes Alternativas**. 2017b. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/proinfa>>. Acesso em: 13 jan. 2018.

_____. **Relatórios de Consumo e Receita de Distribuição**. 2018e. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/relatorios-de-consumo-e-receita>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

AROONSRIMORAKOT, Sayam *et al.* Carbon Footprint of Faculty of Environment and Resource Studies, Mahidol University, Salaya Campus, Thailand. **Apctee Procedia**, [s.l.], v. 5, p.175-180, 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212670813000328>>. Acesso em: 10 set. 2018.

BEZERRA, Jordy Lustosa; LIRA, Marcos Antônio Tavares; SILVA, Elaine Aparecida da. Avaliação do ciclo de vida aplicada a painéis fotovoltaicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7, 2018, Gramado. **Anais [...]** 2018. Disponível em: <<http://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens>>. Acesso em: 20 mai. 2018.

BIO INTELLIGENCE SERVICE (BioIS). Comissão Europeia da Organização das Nações Unidas. **Study on photovoltaic panels supplementing the impact assessment for a recast of the WEEE directive**. 2011. Disponível em: <http://ec.europa.eu/environment/waste/weee/pdf/Study_on_PVs_Bio_final.pdf>. Acesso em: 5 mai. 2018.

BOGACKA, M.; PIKON, K.; LANDRAT, M. Environmental impact of PV cell waste scenario. **Waste Management**, [S.I.], v. 70, p.198-203, dez. 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X17306712>>. Acesso em: 8 fev. 2018.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF. 292 p.

_____. Decreto Legislativo nº 144, de 21 de junho de 2002. Aprova o texto do protocolo de Quioto à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre mudança do clima. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decleg/2002/decretolegislativo-144-20-junho-2002-458772-protocolo-1-pl.html>>. Acesso em: 18 mai. 2018.

_____. Decreto Presidencial de 27 de dezembro de 1994. Cria o Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios (Prodeem), e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 28 dez. 1994. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/904343/Decreto++de+27-12-1994+Publicado+no+DOU+de+28-12-1994/010bdec3-2833-439a-9a9b-20d4c702cf82;jsessionid=C83EAEF398D2BC861279CAFD555D8CE6.srv155>>. Acesso em: 12 ago. 2018.

_____. Decreto Presidencial de 7 de julho de 1999. Cria a Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima, com a finalidade de articular as ações de governo nessa área. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 8 jul. 1999. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/DNN/Anterior%20a%202000/Dnn07-07-99-2.htm>. Acesso em: 12 ago. 2018.

_____. Lei nº 10438, de 26 de abril de 2002. Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o programa de incentivo às fontes alternativas de energia elétrica (Proinfa), a conta de desenvolvimento energético (CDE), dispõe sobre a universalização do serviço público de energia elétrica. **Diário Oficial**

da União. Brasília, DF, Disponível em:

<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/2002/L10438.htm>. Acesso em: 12 jan. 2018.

_____. Lei nº 10.847, de 23 de março de 2004. Autoriza a criação da empresa de pesquisa energética - EPE e dá outras providências. **Diário Oficial da União.** Brasília, Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2004/lei-10847-15-marco-2004-531224-norma-2004-531224-pl.html>>. Acesso em: 12 set. 2018.

_____. Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004. Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica, altera as leis nos 5.655, de 20 de maio de 1971, 8.631, de 4 de Março de 1993, 9.074, de 7 de Julho de 1995, 9.427, de 26 de Dezembro de 1996, 9.478, de 6 de Agosto de 1997, 9.648, de 27 de Maio de 1998, 9.991, de 24 de Julho de 2000, 10.438, de 26 de Abril de 2002, e dá outras providências. **Diário Oficial da União.** Brasília, DF, Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/110.848.htm>. Acesso em: 12 jan. 2018.

_____. Lei nº 11.892, de 29 de dezembro de 2008. Institui a Rede Federal de Educação Profissional, Científica e Tecnológica, cria os Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia, e dá outras providências. **Diário Oficial da União.** Brasília, Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/lei/111892.htm>. Acesso em: 28 jun. 2017

_____. Lei nº 13.169, de 6 de outubro de 2015. Altera a Lei nº 7.689, de 15 de dezembro de 1988, para elevar a alíquota da contribuição social sobre o lucro líquido - CSLL em relação às pessoas jurídicas de seguros privados e de capitalização, e às referidas nos incisos I a VII, IX e X do § 1º do Art. 1º da Lei Complementar nº 105, de 10 de Janeiro de 2001; Altera as Leis nos 9.808, de 20 de julho de 1999, 8.402, de 8 de Janeiro de 1992, 10.637, de 30 de Dezembro de 2002, 10.833, de 29 de Dezembro de 2003, 11.033, de 21 de Dezembro de 2004, 12.715, de 17 de Setembro de 2012, 9.249, de 26 de Dezembro de 1995, 11.484, de 31 de Maio de 2007, 12.973, de 13 de Maio de 2014, 10.150, de 21 de Dezembro de 2000, e 10.865, de 30 de Abril de 2004; e dá outras providências. **Diário Oficial da União.** Brasília, DF, Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/113169.htm>. Acesso em: 11 jan. 2018.

_____. Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996. Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, disciplina o regime das concessões de serviços Públicos de energia elétrica e dá outras providências. **Diário Oficial da União.** Brasília, DF, Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9427compilada.htm>. Acesso em: 12 jan. 2018.

_____. Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997. Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o conselho nacional de política energética e a agência nacional do petróleo e dá outras providências. **Diário Oficial da União.** Brasília, DF, Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9478compilado.htm>. Acesso em: 12 jan. 2018.

_____. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União.** Brasília, DF, 3 ago. 2010. Disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm>. Acesso em: 3 out. 2018.

BREHM, Marcos Alfred. **Geração de energia elétrica fotovoltaica distribuída por pequenos consumidores domésticos no Paraná: Potencialidades e aspectos socioambientais**. 2014. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Meio Ambiente e Desenvolvimento, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014. Disponível em: <<http://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/37198>>. Acesso em: 29 set. 2016.

BRIGHAM, E. F; HOUSTON, J. F. **Fundamentos da moderna administração financeira**. Rio de Janeiro: Campus, 1999. 713 p.

BRITO, J. C; COSTA, A. R. **Geografia do Piauí: Conhecer para valorizar**. Teresina: EDUFPI, 2012. 249 p.

BUIATTI, Gustavo Malagoli *et al.* Desempenho de micro e mini usinas fotovoltaicas no Instituto Federal do Rio Grande do Norte. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 6. 2016a, Belo Horizonte. **Anais [...]** Disponível em: <<http://www.abens.org.br/CBENS2016/anais/anais/index.htm>>. Acesso em: 3 abr. 2017.

_____. Metodologia para estimativa de redução de emissões de CO₂ aplicada a sistemas de microgeração fotovoltaica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 6. 2016b, Belo Horizonte. **Anais [...]** Disponível em: <<http://www.abens.org.br/CBENS2016/anais/anais/index.htm>>. Acesso em: 3 abr. 2017.

CARVALHO, Rodrigo Delalibera. **Aspectos econômicos e ambientais em sistemas de abastecimento de água usando energia solar fotovoltaica e captação subterrânea**. 2016. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/167988>>. Acesso em: 25 jun. 2017.

ÇELIKLER, Dilek; AKSAN, Zeynep. The development of an attitude scale to assess the attitudes of high school students towards renewable energy sources. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 54, p.1092-1098, fev. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.049>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115011284?via%3Dihub>>. Acesso em: 14 out. 2018.

CHANDEL, Shyam; NAIK, M. Nagaraju; CHANDEL, Rahul. Review of solar photovoltaic water pumping system technology for irrigation and community drinking water supplies. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 49, p.1084-1099, set. 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.083>>. Acesso em: 2 out. 2018.

CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO. **Apresentação institucional**. 2017. Disponível em: <http://cnpq.br/apresentacao_institucional>. Acesso em: 10 nov. 2017

COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR. **Tabela de áreas do conhecimento**. 2017. Disponível em: <<http://www.capes.gov.br/avaliacao/instrumentos-de-apoio/tabela-de-areas-do-conhecimento-avaliacao>>. Acesso em: 31 jan. 2017.

CONVENÇÃO-QUADRO DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MUDANÇA DO CLIMA. **Tool to calculate the emission factor for an electricity system**. 2007. Disponível

em: <<https://cdm.unfccc.int/methodologies/PAmethodologies/tools/am-tool-07-v6.pdf>>. Acesso em: 17 abr. 2018.

CORREIA, Mateus dos Santos; GRANZOTTI, Danyel Lima Matos; REIS, Uesllel Sousa. Automação da irrigação dos jardins do IFPI Campus Floriano. In: CONGRESSO NORTE-NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO, 12., 2018, Recife. **Anais [...]** Recife: CONNEPI, 2018.

CORREIA, Mateus dos Santos *et al.* Sistema de captação de água proveniente dos ar condicionados do IFPI - Campus Floriano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 9., 2018, São Bernardo do Campo. **Anais [...]** São Bernardo do Campo: IBEAS, 2018.

_____. Sistema de captação de água proveniente dos ar condicionados do IFPI - Campus Floriano. In: SEMANA DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA, 8., 2018, Brasília. **Anais [...]** Brasília: IFDF, 2018.

_____. Sistema de captação de água proveniente dos ar condicionados do IFPI - Campus Floriano. In: SIMPÓSIO DE GESTÃO AMBIENTAL DO PIAUÍ, 5., 2018, Corrente. **Anais [...]** Corrente: IFPI, 2018.

DAVIS, Jackson. The Relationship between Atmospheric Carbon Dioxide Concentration and Global Temperature for the Last 425 Million Years. **Climate**, [s.l.], v. 5, n. 4, p.76-111, 29 set. 2017. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2225-1154/5/4/76>>. Acesso em: 25 set. 2018.

DIAS, Ana Cláudia; ARROJA, Luís. Comparison of methodologies for estimating the carbon footprint – case study of office paper. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 24, p.30-35, mar. 2012. Elsevier BV. Disponível em: <<https://www.deepdyve.com/lp/elsevier/comparison-of-methodologies-for-estimating-the-carbon-footprint-case-pYwknQIXII>>. Acesso em: 10 set. 2018.

DONG, Bensi *et al.* A bibliometric analysis of solar power research from 1991 to 2010. **Scientometrics**, v. 93, n. 3, p.1101-1117, 1 maio 2012. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11192-012-0730-9>>. Acesso em: 20 jun. 2017.

DU, Huibin *et al.* A bibliographic analysis of recent solar energy literatures: The expansion and evolution of a research field. **Renewable Energy**, v. 66, p.696-706, jun. 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2014.01.018>>. Acesso em: 20 jun. 2017.

DUBEY, Swapnil; JADHAV, Nilesh Y.; ZAKIROVA, Betka. Socio-Economic and Environmental Impacts of Silicon Based Photovoltaic (PV) Technologies. **Energy Procedia**, [s.l.], v. 33, p.322-334, 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2013.05.073>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610213000830>>. Acesso em: 28 out. 2018.

DUARTE, Mariana de Mello *et al.* Análise de viabilidade técnico-econômica da implementação de geração solar fotovoltaica aliada a eficiência energética no centro de ensino médio Taguatinga Norte. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7., 2018, Gramado. **Anais [...]** Disponível em: <<http://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/69>>. Acesso em: 10 mai. 2018.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Ministério de Minas e Energia. **Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira**. 2012. Nota técnica. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes>>. Acesso em: 16 jul. 2017.

_____. Ministério de Minas e Energia. **Demanda de energia 2050**. 2016. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes>>. Acesso em: 23 jun. 2017.

_____. Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional-Ano Base 2016-Relatório Síntese**. 2017. Disponível em: <<http://epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Balanco-Energetico-Nacional-2017>>. Acesso em: 6 abr. 2018.

FARIA, Haroldo de; TRIGOSO, Federico B. M.; CAVALCANTI, João A. M. Review of distributed generation with photovoltaic grid connected systems in Brazil: Challenges and prospects. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, v. 75, p.469-475, ago. 2016. Elsevier BV. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116307407>>. Acesso em: 15 abr. 2018.

FRIMAN, Hen. New Trends in the Higher Education: Renewable Energy at the Faculty of Electrical Engineering. **Energy Procedia**, [s.l.], v. 115, p.18-28, jun. 2017. Elsevier BV. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217322026>>. Acesso em: 27 ago. 2018.

G1. **Maior parque solar da América Latina é inaugurado no Piauí**. 2017. Disponível em: <<https://g1.globo.com/pi/piaui/noticia/maior-parque-solar-da-america-latina-e-inaugurado-no-piaui.ghtml>>. Acesso em: 28 nov. 2017

GILL, Carrie; LANG, Corey. Learn to conserve: The effects of in-school energy education on at-home electricity consumption. **Energy Policy**, [s.l.], v. 118, p.88-96, jul. 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.03.058>>. Acesso em: 10 set. 2018.

GREEN, Carie; MEDINA-JEREZ, William; BRYANT, Carol. Cultivating environmental citizenship in teacher education. **Teaching Education**, [s.l.], v. 27, n. 2, p.117-135, 15 maio 2015. Disponível em: <www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10476210.2015.1043121>. Acesso em: 10 set. 2018.

GUVEN, Gokhan; SULUN, Yusuf. Pre-service teachers' knowledge and awareness about renewable energy. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 80, p.663-668, dez. 2017. Disponível em: <www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117309334>. Acesso em: 10 set. 2018.

HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M.; REIS, L. B. dos. **Energia e meio ambiente**. 5. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2016. 763 p.

HUSSIN, Farihausnah; ISSABAYEVA, Gulnaziya; AROUA, Mohamed Kheireddine. Solar photovoltaic applications: opportunities and challenges. **Reviews In Chemical Engineering**, [s.l.], v. 34, n. 4, p.503-528, 26 jul. 2018. <http://dx.doi.org/10.1515/revce-2016-0058>. Disponível em: <10.1515/revce-2016-0058>. Acesso em: 10 set. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades**. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=220390>>. Acesso em: 05 out. 2016.

INSTITUTO FEDERAL DO PIAUÍ. **Campus Floriano adere à Agenda Ambiental na Administração Pública**. 2017. Disponível em: <<http://libra.ifpi.edu.br/floriano/noticias/campus-floriano-adere-a-agenda-ambiental-na-administracao-publica>>. Acesso em: 10 nov. 2018.

_____. **Campus Floriano instala sistema de energia solar**. 2016. Disponível em: <https://www5.ifpi.edu.br/index.php?option=com_content&view=article&id=7511>. Acesso em: 25 nov. 2016.

_____. **Resolução CONSUP nº 07**, de 27 de fevereiro de 2018. Aprova a organização didática do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI) e revoga a Resolução nº 040/2010. Teresina, PI, Disponível em: <http://libra.ifpi.edu.br/a-instituicao/diretorias-sistemicas/gestao-de-pessoas/boletim-de-servico/2018/reit_digep_2018_bes_edextra007.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2018.

_____. **Resolução CONSUP nº 1**, de 31 de agosto de 2009. Aprova o Estatuto do Instituto Federal do Piauí. Teresina, PI, Disponível em: <https://www5.ifpi.edu.br/consup/attachments/article/5/consup_resolucao_012009.pdf.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2018.

INSTITUTO FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE. **IFRN lança Centro de Pesquisa em Energia Fotovoltaica**. 2018. Disponível em: <<http://portal.ifrn.edu.br/campus/reitoria/noticias/ifrn-lanca-centro-de-pesquisa-em-energia-fotovoltaica>>. Acesso em: 5 jan. 2019.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. **Climate Change**. 2018a. Disponível em: <<https://www.irena.org/climatechange>>. Acesso em: 23 out. 2018.

_____. **Renewable Energy Benefits: Leveraging local capacity for solar PV**. Abu Dhabi: IRENA, 2017. 32 p. Disponível em: <www.irena.org/publications/2017/Jun/Renewable-Energy-Benefits-Leveraging-Local-Capacity-for-Solar-PV>. Acesso em: 5 out. 2018.

_____. **Renewable Power Generation Costs in 2017**. Abu Dhabi: IRENA, 2018b. 160p. Disponível em: <www.irena.org/publications/2018/Jan/Renewable-power-generation-costs-in-2017>. Acesso em: 13 jun. 2018.

_____. **The Socio-economic Benefits of Solar and Wind Energy**. Abu Dhabi: IRENA, 2014. 108 p. Disponível em: <<https://www.irena.org/publications/2014/May/The-Socio-economic-Benefits-of-Solar-and-Wind-Energy>>. Acesso em: 24 out. 2018.

KANDPAL, Tara C.; BROMAN, Lars. Renewable energy education: A global status review. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 34, p.300-324, jun. 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.02.039>>. Acesso em: 10 set. 2018.

KARATEPE, Yelda *et al.* The levels of awareness about the renewable energy sources of university students in Turkey. **Renewable Energy**, [s.l.], v. 44, p.174-179, ago. 2012. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148112001267>>. Acesso em: 12 out. 2018.

KIPPER, Felipe Detzel; GASPARIN, Fabiano Perin; KRENZINGER, Arno. Análise da variação dos coeficientes térmicos de módulos fotovoltaicos com a irradiância. In: VII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, Gramado. **Anais [...]** 2018. Disponível em: <<http://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens>>. Acesso em: 15 mai. 2018.

KRAKAUER, Nir. Economic Growth Assumptions in Climate and Energy Policy. **Sustainability**, [s.l.], v. 6, n. 3, p.1448-1461, 19 mar. 2014. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2071-1050/6/3/1448>>. Acesso em: 23 ago. 2018.

LATUNUSSA, Cynthia E.I. *et al.* Life Cycle Assessment of an innovative recycling process for crystalline silicon photovoltaic panels. **Solar Energy Materials And Solar Cells**, v. 156, p.101-111, nov. 2016. Elsevier BV. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927024816001227>>. Acesso em: 3 mai. 2018.

LIMA, Francisco J. Lopes de *et al.* Intercomparação de modelos numéricos para estimativa da irradiação solar em parte do Nordeste brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7, 2018, Gramado. **Anais [...]** Gramado. 2018. Disponível em: <<http://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/697>>. Acesso em: 12 mai. 2018.

LIMA, Lutero Carmo de; FERREIRA, Leonardo de Araújo; MORAIS, Francisco Hedler Barreto de Lima. Performance analysis of a grid connected photovoltaic system in northeastern Brazil. **Energy For Sustainable Development**, [s.l.], v. 37, p.79-85, abr. 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0973082616308742?via%3Dihub>>. Acesso em: 10 out. 2018.

LOPEZ, R. A. **Energia solar para a produção de eletricidade**. São Paulo: Artliber, 2012.

MALANDRINO, Ornella *et al.* Policies and Measures for Sustainable Management of Solar Panel End-of-Life in Italy. **Sustainability**, [s.l.], v. 9, n. 4, p.481-496, 23 mar. 2017. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2071-1050/9/4/481>>. Acesso em: 16 mar. 2018.

MARTINS, Gilberto de Andrade; DOMINGUES, Osmar. **Estatística Geral e Aplicada**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2014.

MENEZES, Alex Vilarindo *et al.* Análise de operação do primeiro ano de um sistema fotovoltaico conectado à rede de 21,75 kWp na cidade de Palmas-TO segundo a resolução 482/2012 da ANEEL. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 6., 2016, Belo Horizonte. **Anais [...]** Belo Horizonte: Abens, 2016. p. 1 - 2. Disponível em: <<http://www.abens.org.br/CBENS2016/anais/anais/index.htm>>. Acesso em: 14 jul. 2017.

MILLER, G. T.; SPOOLMAN, S. E. **Ciência ambiental**. São Paulo: Cengage Learning, 2015. 464 p.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES. **Cálculo dos fatores de emissão de CO₂ pela geração de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional do Brasil**. 2017. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0019/19707.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2017.

_____. **Fatores de Emissão de CO₂ do Sistema Interligado Nacional do Brasil**. 2018. Disponível em:

<http://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/textogeral/emissao_despacho.html>. Acesso em: 18 jun. 2018.

MINISTÉRIO DA FAZENDA. Ajuste SINIEF nº 2, de 22 de abril de 2015. Dispõe sobre os procedimentos relativos às operações de circulação de energia elétrica, sujeitas a faturamento sob o sistema de compensação de energia elétrica de que trata a Resolução Normativa Nº 482, de 2012, da Agência Nacional de Energia Elétrica. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, Disponível em: <https://www.confaz.fazenda.gov.br/legislacao/ajustes/2015/AJ_002_15>. Acesso em: 18 out. 2017.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Agenda Ambiental na Administração Pública (A3P)**. 2018a. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/a3p>>. Acesso em: 19 fev. 2019.

_____. **Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC)**. 2018b. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima>>. Acesso em: 12 mar. 2018.

MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO. Portaria nº 23, de 12 de fevereiro de 2015. Estabelece boas práticas de gestão e uso de Energia Elétrica e de Água nos órgãos e entidades da Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional e dispõe sobre o monitoramento de consumo desses bens e serviços. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 13 fev. 2015. Disponível em: <<http://www.tst.jus.br/documents>>. Acesso em: 19 nov. 2018.

MONTENEGRO, Alexandre de Albuquerque. **Avaliação do retorno do investimento em sistemas fotovoltaicos integrados a residências unifamiliares urbanas no Brasil**. 2013. 175 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/130917>>. Acesso em: 25 mar. 2018.

MORAES, Albemerc Moura de. **A difusão do acesso à água com sistemas fotovoltaicos de bombeamento no semiárido brasileiro**. 2015. 208 f. Tese (Doutorado) - Curso de Energia, Universidade Federal do ABC, Santo André, 2015.

MORAES, A. M. **Energia solar fotovoltaica no Piauí: barreiras e potencialidades**. Teresina: EDUFPI, 2013.

MORAES, A. M.; TRIGOSO, Federico Bernardino Morante. Instalações fotovoltaicas implantadas por instituições públicas e privadas no território entre rios, Estado do Piauí. **Revista Brasileira de Energia**, Itajubá, v. 18, n. 2, p.81-97, set. 2012. Disponível em: <<http://new.sbpe.org.br/artigo/instalacoes-fotovoltaicas-implantadas-por-instituicoes-publicas-e-privadas-no-territorio-entre-rios-estado-piaui/>>. Acesso em: 12 out. 2016.

MORAES, Albemerc Moura de; FIRMEZA, Felinto; LIRA, Marcos Antônio Tavares. Panorama da geração fotovoltaica no estado do Piauí. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 11, 2018, Cuiabá. **Anais [...]** Cuiabá: CBPE, 2018.

MORAIS, Fabricio Higo Monturil de *et al.* Avaliação técnico-econômica do desempenho operacional do primeiro ano de geração de um SFCR integrado à edificação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7., 2018, Gramado. **Anais [...]**

Disponível em: <<http://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/97>>. Acesso em: 10 mai. 2018.

MORAIS, Luciano Cardoso de. **Estudo sobre o panorama da energia elétrica no Brasil e tendências futuras**. 2015. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2015. Disponível em: <<https://alsafi.ead.unesp.br/bitstream/handle/11449/132645/000852309.pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2018.

NAKABAYASHI, Renny Kunizo. **Microgeração fotovoltaica no Brasil: condições atuais e perspectivas futuras**. 2015. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/106/106131/tde-26012015-141237/en.php>>. Acesso em: 25 nov. 2017.

NASCIMENTO, Rodrigo Limp. **Energia solar no Brasil: situação e perspectivas**. 2017. Consultoria legislativa da Câmara dos Deputados. Disponível em: <<http://bd.camara.gov.br/bd/handle/bdcamara/32259>>. Acesso em: 12 jan. 2018.

NÓBREGA, Balduino Sonildo da *et al.* Estudo comparativo entre dados de radiação solar estimados via satélite e medidos por estações meteorológicas no sertão da Paraíba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7., 2018, Gramado. **Anais [...]** Gramado: ABENS, 2018. Disponível em: <<http://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/653>>. Acesso em: 30 out. 2018.

NTONA, Eirini; ARABATZIS, Garyfallos; KYRIAKOPOULOS, Grigorios L.. Energy saving: Views and attitudes of students in secondary education. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 46, p.1-15, jun. 2015. Disponível em: <www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115001215>. Acesso em: 10 set. 2018.

OCETKIEWICZ, Iwona; TOMASZEWSKA, Barbara; MRÓZ, Anna. Renewable energy in education for sustainable development. The Polish experience. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 80, p.92-97, dez. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.144>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117308006?via%3Dihub>>. Acesso em: 4 out. 2018.

OLALLA, Carlos *et al.* Impact of distributed power electronics on the lifetime and reliability of PV systems. **Progress In Photovoltaics: Research and Applications**, [s.l.], v. 25, n. 10, p.821-835, 26 abr. 2017. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/pip.2893>>. Acesso em: 14 set. 2018.

PEREIRA, Enio Bueno *et al.* (Org.). **Atlas brasileiro de energia solar**. 2017. Elaborada pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2. ed. São José dos Campos. Disponível em: <http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/Atlas_Brasileiro_Energia_Solar_2a_Edicao.pdf>. Acesso em: 16 mai. 2018.

PIAUI (Estado). Lei Ordinária nº 5.936, de 30 de novembro de 2009. Institui a política estadual de incentivo ao aproveitamento da energia solar e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado**. Teresina, PI, Disponível em: <<http://legislacao.pi.gov.br/legislacao/default/ato/14540>>. Acesso em: 11 out. 2016.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antônio (Org.). **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. 2014. Elaborada pelo Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito – CRESESB. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf>. Acesso em: 5 out. 2016.

POGANIETZ, Witold Roger. Frameworks for understanding and promoting solar energy technology development. Resources, **Basiléia**, v. 4, p.55-69, fev. 2015. Disponível em: <www.mdpi.com/journal/resources>. Acesso em: 30 abr. 2017.

RECEITA FEDERAL. **Taxa de juros SELIC**. 2018. Disponível em: <<http://idg.receita.fazenda.gov.br/orientacao/tributaria/pagamentos-e-parcelamentos/taxa-de-juros-selic>>. Acesso em: 1º jun. 2018.

REIS, Layara Campelo dos; ARRUDA, Maria Catiany de Oliveira; PEREIRA, Thássyla dos Santos Sousa. Estudo da energia solar de forma interativa no ensino fundamental. In: CONGRESSO NORTE-NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO, 12., 2018, Recife. **Anais [...]**Recife: CONNEPI, 2018.

REIS, L. B.; FADIGAS, E. A. F.; CARVALHO, C. E. **Energia, Recursos Naturais e a prática do Desenvolvimento Sustentável**. 2. ed. Barueri: Manole, 2012. 447 p.

REIS, L. B.; SILVEIRA, S. (orgs). **Energia Elétrica para o Desenvolvimento Sustentável**. 2. ed. São Paulo: Edusp, 2012.

ROCHA, Luiz Célio Souza *et al.* Photovoltaic electricity production in Brazil: A stochastic economic viability analysis for small systems in the face of net metering and tax incentives. **Journal of Cleaner Production**, v. 168, p.1448-1462, dez. 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617320061>>. Acesso em: 1º abr. 2018.

RODRIGUES, Sandy *et al.* Economic feasibility analysis of small scale PV systems in different countries. **Solar Energy**, v. 131, p.81-95, jun. 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2016.02.019>>. Acesso em: 18 jun. 2018.

ROSA, Antônio Robson Oliveira da; GASPARIN, Fabiano Perin. Panorama da energia solar Fotovoltaica no Brasil. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. 7, n. 2, p.140-147, dez. 2016. Disponível em: <<https://rbens.emnuvens.com.br/rbens/article/view/157>>. Acesso em: 16 mai. 2018.

SANZ-CASADO, Elias *et al.* Production, consumption and research on solar energy: The Spanish and German case. **Renewable Energy**, v. 68, p.733-744, ago. 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2014.03.013>>. Acesso em: 20 jun. 2017.

SHAYANI, Rafael Amaral; OLIVEIRA, Marco Aurélio Gonçalves de; CAMARGO, Ivan Marques de Toledo. **Comparação do Custo entre Energia Solar Fotovoltaica e Fontes Convencionais**. 2006. V CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO-Brasília-DF. **Anais...** Disponível em: <http://www.gsep.ene.unb.br/producao/marco/sbpe_2006.pdf>. Acesso em: 10 out. 2016.

SHEIKH, Nasir; KOCAOGLU, Dundar F.. A comprehensive assessment of solar photovoltaic technologies: Literature review. In: PICMET'11 CONFERENCE: TECHNOLOGY

- MANAGEMENT IN THE ENERGY SMART WORLD, 11., 2011, Portland. **Proceedings...** Portland: PICMET, 2011. p. 1 - 11. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/6017908/metrics>>. Acesso em: 1º nov. 2018.
- SILVA, Elaine Aparecida da. Produção brasileira 'visível' em Avaliação do Ciclo de Vida. In: CONGRESSO BRASILEIRO EM GESTÃO DO CICLO DE VIDA, 5, 2016, Fortaleza. **Anais [...]**. p. 335 - 341. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/vcbgcv>>. Acesso em: 19 jun. 2017.
- SILVA, Murilo Ribeiro da *et al.* Dimensionamento e viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico conectado à rede para uma unidade educacional pública do Município de Paulo Afonso - BA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7., 2018, Gramado. **Anais [...]** Disponível em: <<http://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/555>>. Acesso em: 10 mai. 2018.
- SILVA, Sergio Batista da *et al.* Estudo da viabilidade econômica para a instalação de sistemas fotovoltaicos nos campi IFG Itumbiara e Uruaçu. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7., 2018, Gramado. **Anais [...]** Disponível em: <<http://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/565>>. Acesso em: 11 mai. 2018.
- SIMIONI, Rafael Lazzarotto. Princípios do Direito da Energia. **Revista Jus Navigandi**, ano 16, n. 2911, 21 jun. 2011. Disponível em: <<https://jus.com.br/artigos/19372>>. Acesso em: 22 jan. 2018.
- SPIROVSKI, D. *et al.* Realization of a Low Emission University Campus Through the Implementation of a Climate Action Plan. **Procedia - Social And Behavioral Sciences**, [s.l.], v. 46, p.4695-4702, 2012. Elsevier BV. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042812020575>>. Acesso em: 10 set. 2018.
- TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno (Org.). **Energia renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. 2016. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/livro-sobre-energia-renovavel-hidraulica-biomassa-eolica-solar-oceanica>>. Acesso em: 20 set. 2017
- TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno; GUERREIRO, Amílcar Gonçalves (Org.). **Inserção da geração fotovoltaica distribuída no Brasil: Condicionantes e impactos**. 2014. Elaborada pela Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/Série Estudos de Energia/DEA 19 - Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil - Condicionantes e Impactos FV \(Revisada\).pdf](http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/Série%20Estudos%20de%20Energia/DEA%2019%20-%20Inserção%20da%20Geração%20Fotovoltaica%20Distribuída%20no%20Brasil%20-%20Condicionantes%20e%20Impactos%20FV%20(Revisada).pdf)>. Acesso em: 03 out. 2016.
- VALADARES, L. C. **Memorial descritivo de Sistema de Minigeração Fotovoltaica conectado à rede elétrica com potência instalada de 150 kW em Floriano, PI (Campus IFPI)**. Uberlândia: Alsol Energias Renováveis, 2016. 27 p.
- VELLINI, Michela; GAMBINI, Marco; PRATTELLA, Valentina. Environmental impacts of PV technology throughout the life cycle: Importance of the end-of-life management for Si-panels and CdTe-panels. **Energy**, v. 138, p.1099-1111, nov. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2017.07.031>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544217312069>>. Acesso em: 10 mai. 2018.

VIEIRA, Daniel; SHAYANI, Rafael Amaral; OLIVEIRA, Marco Aurélio Gonçalves de. Net Metering in Brazil: Regulation, Opportunities and Challenges. **IEEE Latin America Transactions**, v. 14, n. 8, p.3687-3694, ago. 2016. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7786351/>>. Acesso em: 13 jun. 2018.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia solar fotovoltaica: Conceitos e aplicações**. São Paulo: Érica, 2012.

WANDERLEY, Augusto César Fialho; AFONSO, João L. "Photovoltaic solar energy in Brazil and the contribution of Federal Institute of Rio Grande do Norte (IFRN). In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENERGY AND ENVIRONMENT: BRINGING TOGETHER ENGINEERING AND ECONOMICS, 2., 2015, Guimarães, Portugal. **Proceedings [...]** Guimarães: International Conference On Energy And Environment: Bringing Together Engineering And Economics, 2015. p. 554 - 560. Disponível em: <<http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/53317>>. Acesso em: 10 out. 2018.

ZANETTI NETO, Giovani.; COSTA, Wagner Teixeira da.; VASCONCELOS, Vinicius Belmuds. Resolução Normativa Nº 482/2012 DA ANEEL: Possibilidades e entraves para a microgeração distribuída. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. 5, p. 119-127, dez 2014. Disponível em: <https://rbens.emnuvens.com.br/rbens/article/view/115>. Acesso em: 12 jan. 2018.

ZYADIN, Anas *et al.* Secondary school teachers' knowledge, perceptions, and attitudes toward renewable energy in Jordan. **Renewable Energy**, [s.l.], v. 62, p.341-348, fev. 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148113003881>>. Acesso em: 10 set. 2018.

APÊNDICES

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO PARA ANÁLISE DO CONHECIMENTO DOS ALUNOS

Prezado(a) aluno(a),

As informações fornecidas neste questionário serão tratadas sem a identificação do participante, sugerimos que seja o mais sincero possível em suas respostas para que o objetivo deste estudo seja alcançado. Agradecemos a contribuição.

Curso: _____ Série / período /
módulo: _____

Data: ____ / ____ / 2018

1) Explique como funciona a energia solar fotovoltaica.
2) Cite os benefícios ambientais do uso da energia solar fotovoltaica.
3) Cite os aspectos ambientais negativos da energia solar fotovoltaica.
4) Cite, abaixo, os projetos do IFPI Campus Floriano que envolvem a temática da energia solar fotovoltaica.
5) Você tem interesse em participar de algum projeto ou atividade que envolva a temática da energia solar fotovoltaica? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
6) Você tem interesse em fazer uma graduação ou pós-graduação voltada para energia solar ou energias renováveis? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO PARA ANÁLISE DO CONHECIMENTO DOS PROFESSORES

Prezado(a) professor(a),

As informações fornecidas neste questionário serão tratadas sem a identificação do participante, sugerimos que seja o mais sincero possível em suas respostas para que o objetivo deste estudo seja alcançado. Agradecemos a contribuição.

Curso(s)/disciplinas que ministra aula _____

Área de formação: _____ Data: ____ / ____ / 2018

1) Explique como funciona a energia solar fotovoltaica.
2) Cite os benefícios ambientais do uso da energia solar fotovoltaica.
3) Cite os aspectos ambientais negativos da energia solar fotovoltaica.
4) Cite, abaixo, os projetos do IFPI Campus Floriano que envolvem a temática da energia solar fotovoltaica.
5) Você tem interesse em participar de algum projeto ou atividade que envolva a temática da energia solar fotovoltaica? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
6) Você tem interesse em fazer uma graduação ou pós-graduação voltada para energia solar ou energias renováveis? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
7) Você já explanou ou aplicou atividade/avaliação para seus alunos sobre energia solar fotovoltaica? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não

**APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO PARA ANÁLISE DOS PROJETOS JUNTO AOS
COORDENADORES**

Prezado(a) coordenador(a),

As informações fornecidas neste questionário serão tratadas sem a identificação do participante, sugerimos que seja o mais sincero possível em suas respostas para que o objetivo deste estudo seja alcançado. Agradecemos a contribuição.

Nome do projeto _____

Data: ____ / ____ / 2018

1) Qual a área da sua graduação e pós-graduação?
2) Qual foi sua motivação para desenvolver este projeto?
3) A implantação do sistema fotovoltaico do Campus Floriano influenciou na elaboração do seu projeto? Se sim, de que forma?
4) O projeto já tem resultados? Quais?
5) Quantos alunos, professores, servidores ou membros externos estão envolvidos no projeto?
6) Houve apoio da Instituição para a realização do projeto? Caso sim, que tipo de apoio?
7) Houve interesse de alguma outra Instituição ou pessoa física sobre o seu projeto?

**APÊNDICE D – MODELO DO TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E
ESCLARECIDO (TCLE)**

Título do projeto: Análise interdisciplinar do sistema de energia solar fotovoltaica do IFPI – Campus Floriano

Pesquisadores responsáveis: Fabricio Neves de Sá / Francisco Francielle Pinheiro dos Santos

Instituição/Departamento: Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente - UFPI.

Local da coleta de dados: Município de Floriano, Piauí.

Prezado (a) Senhor (a):

- Você está sendo convidado(a) a responder às perguntas deste questionário de forma totalmente **voluntária**. Antes de concordar em participar desta pesquisa e responder esse questionário, é importante que você compreenda as informações contidas nesse documento.
- Os pesquisadores deverão responder todas as suas dúvidas antes de você se decidir a participar. Você tem o direito de **desistir** de participar da pesquisa a qualquer momento, sem nenhuma penalidade e sem perder os benefícios aos quais tenha direito.

Objetivo do estudo: Analisar os conhecimentos em energia solar fotovoltaica.

Procedimentos: Sua participação nesta pesquisa consistirá no preenchimento de um questionário com perguntas objetivas e subjetivas.

Benefícios: Esta pesquisa tem importância fundamental para conhecer os benefícios ambientais e econômicos da utilização da energia solar fotovoltaica, bem como identificar oportunidades de melhoria quando da sua utilização.

Riscos: O preenchimento do questionário não representará qualquer ameaça física ou psicológica ao participante. Contudo, caso alguma pergunta cause constrangimento, o participante possui garantia do anonimato e total liberdade em não responder.

Sigilo: As informações fornecidas por você terão sua privacidade garantida pelos responsáveis. Os sujeitos da pesquisa não serão identificados em nenhum momento, mesmo quando os resultados desta pesquisa forem divulgados. Este documento será assinado em duas vias, com o entrevistado ficando com a posse de uma delas e o pesquisador de posse da outra.

Ciente e de acordo com o que foi anteriormente exposto, eu concordo em participar desta pesquisa.

Floriano ____/____/2018

Assinatura: _____