

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Paulo Vitor Schmitz Maragno

COMO SUPRIR O CONSUMO ENERGÉTICO DA UFSC
COM ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Rüther

Co-orientador: Eng. Me. Alexandre A. Montenegro

Florianópolis

2017

Paulo Vitor Schmitz Maragno

**COMO SUPRIR O CONSUMO ENERGÉTICO DA UFSC
COM ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Engenheiro Civil, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Graduação de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 19 de Junho de 2017.

Prof.^a Luciana Rohde, Dr.^a
Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:



Prof. Dr. Ricardo Rüther,
Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina

Eng. Gabriel Ferreira Guimarães,
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Roberto Lamberts,
Universidade Federal de Santa Catarina

Dedico este trabalho a todos familiares, amigos, professores e colegas de trabalho que me ajudaram a trilhar um caminho tão espetacular durante meus anos de graduação. Também dedico a Florianópolis e UFSC por terem me recebido tão bem e aberto várias portas para meu futuro.

AGRADECIMENTOS

O Trabalho de Conclusão de Curso representa muito mais do que um resultado de meses de pesquisa e aprendizado, ele é o resumo dos nossos anos na universidade. É por tamanha grandeza e representatividade que os agradecimentos que aqui cabem não podem ser restritos a somente este trabalho. Sou eternamente grato a meus pais, que me apoiaram desde o início a vir buscar meus sonhos em Florianópolis, mais precisamente na UFSC. Especialmente minha mãe, que sempre buscou fazer com que este período fosse o mais proveitoso possível, me apoiando incondicionalmente em todas as empreitadas e dando o máximo apoio possível, que foi essencial para a ótima vivência dos anos na universidade.

Um agradecimento especial a todos meus colegas de trabalho, que me engrandeceram profissionalmente e de maturidade pessoal também de uma maneira muito rápida e rica em aprendizado. Um agradecimento especial aos meus colegas da Quatro Engenharia, que me deram a primeira oportunidade profissional, aos da RD, que me desenvolveram em 10 meses de uma maneira tão impressionante que revolucionaram minha maneira de pensar. Por fim, aos meus amigos de Conaz, que agora me acolhem com bastante esperança para que possamos juntos revolucionar o mercado da construção civil no Brasil.

Aos meus amigos, tantos que fiz neste período, seus nomes todos não caberiam aqui, mas obrigado pelas memórias mais inesquecíveis da minha vida nesses fantásticos seis anos! Em especial, meu muito obrigado ao Oscar Ferrari, grande irmão que a vida me deu e fiel companheiro para me auxiliar nos momentos mais difíceis e celebrar nos de alegria, Augusto Ferrari, Eduardo Schmidt, Gustavo Matiola e Pedro Queiroz – a máfia de Blumenau – que foram com quem mais passei meu tempo junto nestes anos. E, mais recentemente, ao Guilherme Pelizza e Alexandre Müller, que já se mostraram companheiros tão intensos quanto os de longa data. Ao Gui também cabe um obrigado especial pela ajuda na reta final deste trabalho para que o concluísse a tempo e pela amizade tão forte que desenvolvemos em tão pouco tempo, companheiro de Uruguai e de muitas outras pela frente!

Obrigado também aos amigos que fizeram parte especial nessa caminhada: Eduardo Moretti, Di Matsumoto, Edilberto Costa, Ricardo, Gabi Borba, Torres, Lauro, Alan, BK, Risson, André Gabel, Erik, Chai, Helo e Nat Zies; e aos amigos de Newcastle, em especial Tamil, Victão, Romar, Ana Clara, Dudu e Tom Blanden. Além de todos os outros que não me recordo no momento mas que foram muito especiais no caminho!

Por fim, meu enorme obrigado a todos que me auxiliaram nesta chave de ouro da academia: professor Ricardo, que aceitou me orientar para aprender mais sobre energia solar; Alexandre, sempre me orientando com extrema paciência e sabedoria; Isa, que sempre me ajudou muito mais do que o esperado quando solicitada e sendo uma salvadora em alguns momentos; Guille, que na reta final foi meu braço forte no trabalhoso serviço de medição de azimutes, e ao Oscar e meu primo Felipe, que me auxiliaram nas revisões. Sempre que solicitando o auxílio ou *feedback* de alguém, fui atendido com extrema satisfação, prontidão e eficiência, demonstrando que o período na universidade não traz somente conhecimento, mas também grandes e amizades que podem ser carregadas para toda a vida após este período.

"Anyone who stops learning is old, whether at twenty or eighty. Anyone who keeps learning stays young. The greatest thing in life is to keep your mind young. "

Henry Ford

RESUMO

Existente há décadas, mas ganhando espaço importante na matriz energética global a partir do início do século XXI, a geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos é tida cada vez mais como esperança para tornar a geração de eletricidade mais sustentável. O vultoso crescimento de investimentos no setor nos últimos cinco anos (2013 a 2017), especialmente por parte da China, vem aumentando a competitividade dessa fonte. Resultados disso são a redução de custos de produção, implantação e operação dos módulos (peça chave no sistema de produção de energia) e o aumento da eficiência de conversão dos mesmos. Como alternativa sustentável para atender ao alto consumo elétrico que uma universidade possui, este trabalho propõe um levantamento de qual o potencial solar fotovoltaico total especificamente do campus Trindade da UFSC e se ele é o suficiente para suprir seu consumo anual. Os resultados encontrados mostram que seria possível atender por completo a necessidade do local e dependendo da combinação, pode gerar mais de 110% do consumo anual esperado da instituição.

Palavras-chave: Energia solar, sistema fotovoltaico, geração distribuída, UFSC, viabilidade técnica, fontes renováveis de energia, sustentabilidade.

ABSTRACT

Existing for decades but gaining an important share in the global energy matrix from the beginning of the 21st century, the generation of electricity through photovoltaic systems is increasingly seen as hope to obtain electricity in a more sustainable way. The substantial growth of investment in this sector in the last five years (2013 to 2017), especially by China, has increased the competitiveness of this source. That results in the reduction of production, implementation and operation costs of the modules (key part in this energy production system) and increases in the conversion efficiency of the modules. As a sustainable alternative for the high electric consumption that a university has, this work proposes a survey of the total solar photovoltaic potential specifically of the Trindade's campus of UFSC and if it is enough to supply its annual consumption. The results show that it would be possible to fully meet the energy needs of the campus and depending on the combination, it could generate more than 110% of the institution's anual expected consumption.

Keywords: Solar energy, photovoltaic system, distributed generation, UFSC, technical feasibility, renewable energy, sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Velocidade de urbanização (a) e taxa de crescimento econômico (b) global desde 1980 até 2011 (CHEN; et al., 2014, traduzido pelo autor).....	16
Figura 1.2 -Caminho da relação entre urbanização e consumo elétrico (CHEN; et al., 2014, traduzido pelo autor).....	17
Figura 1.3- Taxas de crescimento anual médio da potência instalada de fontes renováveis de energia entre 2010 e 2015 (REN21, 2016a, traduzido pelo autor).....	19
Figura 3.1- Novos investimentos mundiais em eletricidade e combustíveis renováveis, países desenvolvidos, emergentes e em desenvolvimento, 2004-2015 (REN21, 2016b).....	25
Figura 3.2- Participação estimada de fontes renováveis de energia na produção mundial de eletricidade, final de 2015 (REN21, 2016b).....	26
Figura 3.3 -Novos investimentos mundiais em fontes renováveis de energia por tecnologia, países desenvolvidos e em desenvolvimento, 2015 (REN21, 2016b).....	26
Figura 3.4-Capacidade mundial e adições anuais de energia solar FV, 2005-2015 (REN21, 2016b).....	27
Figura 3.5- Custo médio (milhões US\$/MW) da energia solar FV e eólica em 58 países que não fazem parte da OCDE (RANDALL, 2016, traduzido pelo autor).....	30
Figura 3.6 - Representação esquemática da relação entre órgãos pertencentes ao setor elétrico (CCEE, 2016).....	34
Figura 3.7- Potência outorgada de empreendimentos de geração elétrica em operação no Brasil, referente ao início de 2017 (ANEEL, 2017a).....	35
Figura 3.8- Distribuição do SIN (ONS, 2016).....	36
Figura 3.9- Divisão da potência outorgada dos empreendimentos de geração elétrica em construção no Brasil, início de 2017 (ANEEL, 2017a).....	38
Figura 3.10- Potência outorgada dos empreendimentos de geração elétrica com construção não iniciada no Brasil, início de 2017 (ANEEL, 2017a).....	39
Figura 3.11- Variação percentual esperada na participação de cada tipo de empreendimento de geração na matriz energética brasileira, quando os projetos registrados pela ANEEL até abril de 2017 estiverem em operação, em relação às potências dos empreendimentos em operação em abril de 2017 (ANEEL, 2017a).....	40
Figura 3.12- Procedimentos e etapas para acesso à GD (ANEEL, 2016a).....	48
Figura 3.13- Fluxograma de cálculo energético para GD.....	49
Figura 3.14- Módulos FV na cobertura e fachada frontal do Centro de Cultura e Eventos da UFSC (FOTOVOLTAICA-UFSC, 2017).....	52
Figura 4.1- Dados de entrada no Radiasol.....	55
Figura 4.2- Dados de entrada no Radiasol.....	55
Figura 4.3- Variações na eficiência dos módulos de acordo com diferentes azimutes e inclinações (SANTOS; RÜTHER, 2013).....	56
Figura 4.4 - Consumo total do Campus Trindade de 2011 a 2016, considerando BT e AT (DPAE, 2017).....	64
Figura 4.5- Distribuição percentual do consumo total diário da UFSC durante a semana, com o percentual do consumo total dividido em períodos de quinze minutos (DPAE, 2017).....	67
Figura 4.6- Distribuição percentual do consumo total diário da UFSC aos finais de semana, com o percentual do consumo total diário dividido em períodos de quinze minutos (DPAE, 2017).....	68

Figura 5.1- Gráfico de comparação entre consumo e gerações possíveis para 2017.	72
Figura 5.2- Ativos do projeto no período abordado.	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1- Distribuição das modalidades de GD no Brasil (ANEEL, 2017d).....	46
Tabela 4.1- Consumo total do Campus Trindade de 2011 a 2016 em kWh, considerando BT e AT, e com projeção para 2017 (DPAE, 2017).	66
Tabela 4.2- Consumo total mensal adotado para 2017 no Campus Trindade, considerando BT e AT.	66
Tabela 5.1- Divisão de áreas e número de módulos pelo azimute da edificação, com o valor dos ângulos em módulo.	70
Tabela 5.2- Comparação entre os diferentes cenários de geração e o consumo esperado para 2017.	71
Tabela 5.3 - Passivos do projeto no período abordado.....	75
Tabela 5.4- Ativos do projeto no período abordado.....	77

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a-Si - Silício amorfo hidrogenado
ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica
BIG - Banco de Informações de Geração (da ANEEL)
BIPV - Sistemas BIPV são sistemas fotovoltaicos integrados à edificação (do inglês: *Building Integrated Photovoltaics*)
CdTe - Telureto de cádmio
CELESC - Centrais Elétricas de Santa Catarina
CGH - Central Geradora Hidrelétrica
CGU - Central Geradora Undi-elétrica
CONFAZ - Conselho Nacional de Política Fazendária
CPV - Energia solar fotovoltaica de concentração (do inglês: *Concentrated Photovoltaics*)
DPAE – Departamento de Projetos de Arquitetura e Engenharia (UFSC)
EOL - Central Geradora Eólica
EPE - Empresa de Pesquisa Energética
EPIA - Associação Europeia das Indústrias Fotovoltaicas (do inglês: *European Photovoltaic Industry Association*)
FV - Fotovoltaica (o)(s)
GW - Gigawatt
GD - Geração distribuída
IEA - Agência Internacional de Energia (do inglês: *International Energy Agency*)
kV - Quilovolt
kWh - Quilowatt-hora
kWp - Quilowatt pico
MME - Ministério de Minas e Energia
m-Si - Silício monocristalino
MWp - Megawatt pico
OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (do inglês: *Organisation for Economic Co-operation and Development*)
p-Si - Silício poli-cristalino
PCH - Pequena Central Hidrelétrica
SWERA - Solar and Wind Energy Resources Assessment
UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina
US\$ - Dólares americanos
UFV - Central Geradora Solar Fotovoltaica
UHE - Usina Hidrelétrica
UTE - Usina Termelétrica
UTN - Usina Termonuclear

SUMÁRIO

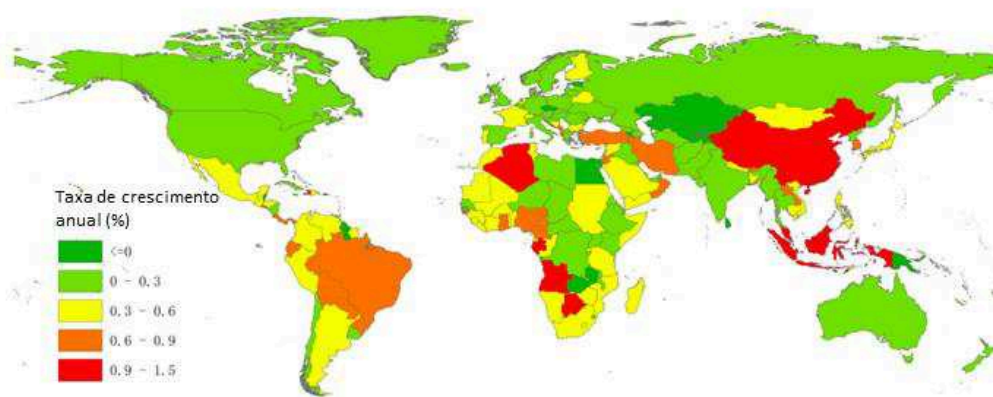
1. INTRODUÇÃO	15
2. MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS	21
2.1. Objetivos Gerais	21
2.2. Objetivos Específicos	21
2.3. Justificativa	22
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	23
3.1. Contexto Energético e Participação da Energia Solar	23
3.1.1. Mundial	23
3.1.1.1. Geral	23
3.1.1.2. Participação da Solar FV	25
3.1.2. Brasil	31
3.1.2.1. Geral	32
a) Geração	34
b) Transmissão	35
c) Distribuição	36
d) Comercialização	37
3.1.2.2. Participação Solar FV	37
3.2. Energia Solar Fotovoltaica	41
3.2.1. Sistemas FV	41
3.2.2. Módulos FV	42
3.2.4. Legislação Brasileira para GD	46
3.3. Estudo de caso: UFSC	50
4. METODOLOGIA E PREMISAS	53
4.1. Premissas	53
4.1.1. Áreas e faturas	53
4.1.2. Aspectos do sistema FV	54
4.1.3. Aspectos políticos e de precificação	60
4.1.4. Aspectos econômicos	61
4.2. Consumo energético da UFSC	63
5. RESULTADOS	69
5.1. Viabilidade Técnica	69
5.2. Análise Política	73

5.3. Análise Econômica	74
6. CONCLUSÃO	79

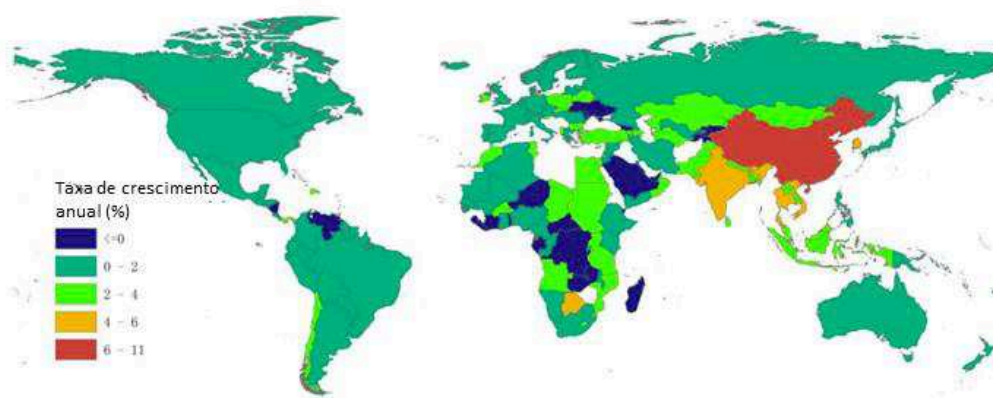
1. INTRODUÇÃO

Desde a segunda revolução industrial no início do século XX até os dias atuais, o mundo vem sofrendo profundas mudanças, especialmente sociais e econômicas, que podem ser resumidas em três conceitos principais correlacionados e que ditaram a evolução mundial nesse período: urbanização, industrialização e globalização. A forte tendência global de industrialização gera um crescimento econômico do país, que por sua vez puxa o fenômeno da urbanização, onde a população migra do meio rural e se concentra cada vez mais em zonas urbanas ou industriais (CHANCE; WALSH, 2006). Com metrópoles se tornando referências em diversos países, a interligação entre centros internacionais se intensifica, assim como o acesso à informação se dissemina, fortalecendo a globalização junto a outras nações (CHEN; *et al.*, 2014).

Países desenvolvidos já passaram pelo auge desta mudança na metade para o final do século XX e atualmente já estão bem interligados internacionalmente com as demais nações que já passaram ou estão iniciando esse ciclo. Com isso, as taxas de crescimento urbano e econômico são menores do que a de países em desenvolvimento, que estão neste processo de transição em maior ritmo desde a última década (2000-2010). Essa mudança pode ser vista na **Figura 1.1** a seguir, que mostra a velocidade do processo de urbanização (0-1,5%) e taxa de crescimento econômico (0-11%) divididos em cinco categorias, segmentadas de acordo com as respectivas médias anuais pra o período entre 1980 e 2011.



a. Velocidade da urbanização



b. Taxa de crescimento econômico

Figura 1.1 - Velocidade de urbanização (a) e taxa de crescimento econômico (b) global desde 1980 até 2011 (CHEN; et al., 2014, traduzido pelo autor)

Esse processo de mudança apresentado influencia vários outros segmentos que unidos formam importantes partes da esfera socioeconômica, dentre eles o setor energético. Segundo Wang (2014), existem diversos tipos de estudos para correlacionar a urbanização ao aumento do consumo energético e, apesar de resultados diferentes para algumas localidades e períodos, a maioria deles confirma uma relação positiva entre estas duas taxas. Mas a longo prazo esta relação tende a se inverter, fazendo com que a urbanização torne o consumo per capita de energia menor em residências urbanas do que em rurais, muito por culpa dos avanços tecnológicos e ganho em escala na economia de energia (WANG, 2014).

Porém, uma relação que se confirma no longo prazo é entre a industrialização e aumento de consumo, onde a variação positiva do primeiro gera também um crescimento no segundo

(SADORSKY, 2014). Desta forma, é no avanço tecnológico voltado ao setor industrial que se podem gerar os maiores impactos na redução de consumo energético a longo prazo e voltado a economia residencial para conter o consumo a curto prazo. O caminho da relação entre a urbanização e o aumento no consumo de energia elétrica, passando pela industrialização e consumo residencial citados, pode ser entendido melhor com o esquema da **Figura 1.2**, que quebra em setores de consumo para um melhor entendimento do caminho utilizado para embasar os estudos de correlação.

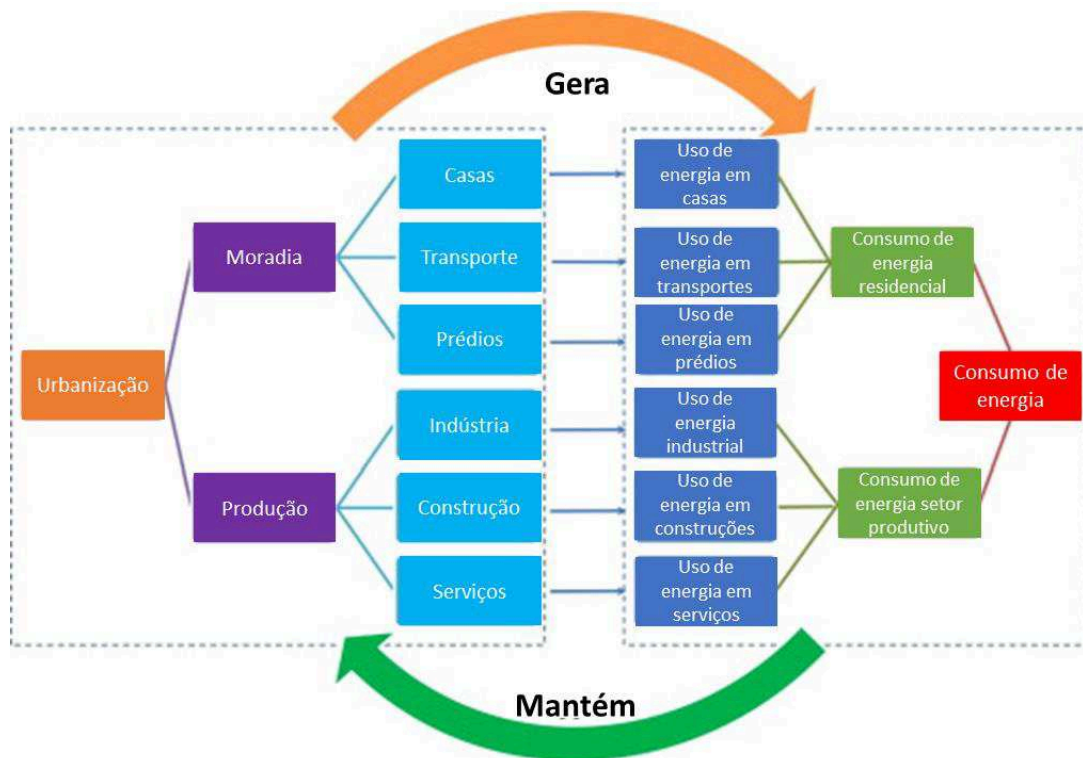


Figura 1.2 -Caminho da relação entre urbanização e consumo elétrico (CHEN; et al., 2014, traduzido pelo autor)

Segundo a IEA (2016), os países que fazem parte da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), predominantemente países desenvolvidos, devem representar uma fatia cada vez menor da demanda por energia elétrica até 2040, ou seja, países em desenvolvimento devem ditar o ritmo de crescimento e mudanças no setor para as próximas décadas. Este crescimento deve se concentrar principalmente entre Índia, sudeste asiático e China, e em um segundo plano entre partes da África, América Latina e Oriente Médio (IEA, 2016). Resultado do crescimento no número de indústrias, produção de *commodities* e

população urbana nesses países, como evidenciado anteriormente pelos índices de crescimentos citados (**Figura 1.1**). Desta forma, o maior potencial de mudança no consumo energético mundial com redução dos impactos ambientais está ligado aos países em desenvolvimento, que devem buscar orientar sua evolução a curto, médio e longo prazo através de meios mais sustentáveis.

Essas mudanças globais podem impactar em dois grandes problemas se não mudarmos aspectos da cadeia produtiva: um crescimento descontrolado na necessidade de energia elétrica e maiores emissões de gases do efeito estufa, especialmente gás carbônico (CO₂), reflexo da dominância de combustíveis fósseis na produção energética e das crescentes emissões de indústrias e veículos (REN21, 2016a). Essa preocupação levantou um alerta em pesquisadores e governos, que sentiram a grande necessidade de buscar um desenvolvimento humano, econômico e social combinados com uma preocupação com o meio ambiente, fortalecendo debates e pesquisas sobre sustentabilidade.

Foram firmados então tratados internacionais e políticas públicas de incentivo, entre várias outras áreas, que se referem ao uso de fontes renováveis de energia como um dos principais pontos para a mudança do cenário ambiental mundial, dentre eles o Protocolo de Kyoto (1998), Acordo de Copenhague (2009), Acordo de Paris (2015), acordos do G-20 como o Pittsburgh Summit (2009) e na agenda do vindouro Hamburg Summit (2017). Com essas diretrizes apresentadas, governos enfrentam o desafio de assegurar as crescentes necessidades da sociedade, com um desenvolvimento levando a maiores consumos de bens e serviços dependentes da energia elétrica, sem deixar de assegurar a sustentabilidade no uso dos recursos naturais para tais finalidades (LACCHINI; RÜTHER, 2015).

Dentre todas restrições e tendências apresentadas, o primeiro passo foi dado através da variação da matriz energética de fontes renováveis, que até então era muito dependente da fonte hídrica, considerada renovável, mas que causa grandes impactos ambientais em sua construção. Segundo o Ministério de Minas e Energia (MME), computando somente a energia elétrica mundial proveniente de fontes renováveis, em 1973 a fonte hídrica era responsável por aproximadamente 97% dessa produção, caindo para pouco mais de 70% em 2016 (MME, 2016a). Dentre todo esse período de mais de 40 anos, as maiores mudanças ocorreram somente a partir do final da primeira década do século XXI com maiores investimentos em outras fontes renováveis, diversificando a matriz energética e reduzindo o percentual das hidrelétricas, como pode ser visto na **Figura 1.3** que demonstra o crescimento da potência instalada, ano a ano, das

fontes renováveis desde 2010.

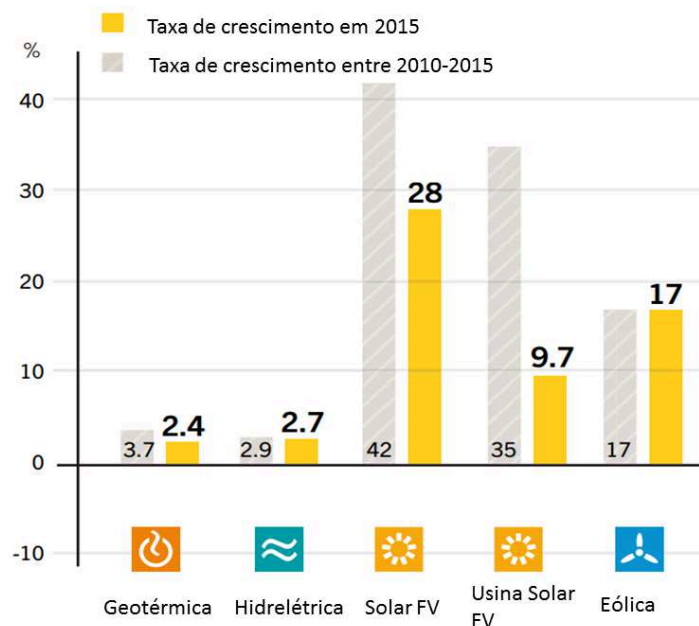


Figura 1.3- Taxas de crescimento anual médio da potência instalada de fontes renováveis de energia entre 2010 e 2015 (REN21, 2016a, traduzido pelo autor)

É possível notar também na **Figura 1.3** que duas fontes se destacaram mais do que as demais. A geração eólica, principalmente obtida através de parques eólicos ou também geradores eólicos acoplados em edificações, e a solar, obtida em sua maioria através de pequenos sistemas em edificações ou também em centrais solares fotovoltaicas (FV), ganharam bastante destaque no crescimento de potência instalada e de investimento também na última década e na atual (REN21, 2016b). A possibilidade de gerar energia junto ao consumidor pode incentivar uma maior participação social no processo de mudança, descarregar as redes centrais de distribuição, evitar perdas na transmissão e facilitar o acesso à energia por comunidades mais isoladas, pois depende de uma estrutura muito reduzida (se comparada com grandes centrais geradoras) e recursos muito abundantes na natureza, como vento e sol (HATZIARGYRIOU, 2014).

Olhando para um caso mais específico, analisando o campus Trindade da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), em Florianópolis, o desafio de suprir seu crescente consumo elétrico é bastante grande e para isso (ou mesmo tornar a UFSC autossuficiente, produzindo no próprio campus a energia suficiente para atender a tal consumo) buscaram-se alternativas mais

inovadoras e embasadas em tendências mais atuais, visando que a universidade sirva de inspiração para a sociedade. Por isso já existem iniciativas, que serão detalhadas neste trabalho, para entender melhor as possibilidades que a geração FV pode oferecer.

Com uma área muito ampla, cerca de 20 milhões de metros quadrados (UFSC, 2017a), e várias edificações espalhadas por ele, o campus Trindade da UFSC possui uma distribuição que pode ser muito bem utilizada para fins de produção de energia através da fonte solar. Este trabalho busca analisar qual o potencial máximo desse local então, buscando um completo cobrimento das edificações por sistemas FV conectados à rede, como regulamentado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) em sua resolução normativa (REN) nº 482, de 17 de abril de 2012 (ANEEL, 2012) e posteriormente atualizada pela REN nº 687, de 24 de novembro de 2015 (ANEEL, 2015).

Esse seria um passo inicial para ter um diagnóstico amplo de até que ponto a energia solar pode ser um instrumento de economia para a universidade. Ademais, o trabalho traria retorno à universidade, com uma análise de seu potencial e indicativo de o quão promissor seria esse caminho na busca pelo contorno do obstáculo que hoje é o alto gasto com energia elétrica da UFSC.

Para estimar o impacto da adoção imediata de um modelo de autonomia energética através de sistemas FV, foi verificado o perfil de consumo da instituição no período de 2011 a 2016 para traçar uma estimativa de consumo e gastos para o ano de 2017. Depois, foram analisadas as coberturas das edificações e potencial de geração elétrica através de sistemas FV conectados à rede e, por fim, foi feito o balanço entre consumo e potencial de geração (base anual). Dada a dimensão do projeto e objetivo de análise macro, para os cálculos foram adotadas premissas de simplificação (que serão explicadas mais à frente) que pudessem viabilizar uma análise ampla, mas sem perder a ordem de grandeza adequada dos resultados.

A hipótese inicial era de que a utilização máxima das coberturas das edificações poderia gerar uma grande quantidade de energia elétrica, que mesmo não sendo o suficiente para atender a todo o consumo do campus, seria o suficiente para reduzir drasticamente os gastos com faturas de energia elétrica e que provavelmente o investimento nos sistemas FV de geração distribuída (GD) se pagaria em médio prazo (até dez anos). A base principal para a ideia deste estudo foi o trabalho inicial feito a respeito do uso potencial da energia solar FV em alguns locais da UFSC por Custódio (2016) e outras publicações que já destacavam o potencial desses sistemas no Brasil, como as feitas por Mitscher e Rüther (2012) e Montenegro (2013).

2. MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS

A migração do consumo energético de meios convencionais para meios mais sustentáveis gera ganhos ambientais e sociais imensuráveis, mas também pode apresentar um balanço positivo computável, como os ganhos econômicos. Para esta análise, no caso da energia solar FV, são considerados três fatores principais: os gastos atuais (e estimativas futuras de gastos) com energia elétrica, o custo de instalação e operação dos sistemas FV-GD e o potencial de geração elétrica dos mesmos.

Sendo usualmente os berços de pesquisas e inovações, as universidades têm um papel de suma importância no avanço tecnológico da sociedade. Grande parte das iniciativas que quebram paradigmas e fogem do convencional, partem delas. Foram esses motivos, os já iniciados projetos da área aplicados na UFSC e o retorno de uma pesquisa de valor para a instituição que levaram à escolha do local e tema da pesquisa. É com esse potencial, inspiração e cenário atual energético que esse trabalho tem por objetivos gerais e específicos os apresentados nos itens seguintes.

2.1. Objetivos Gerais

Com a crescente viabilidade econômica da fonte solar para a geração de eletricidade, esse trabalho visa avaliar a viabilidade técnica de implantar sistemas FV nas coberturas das edificações do campus Trindade da UFSC, sendo que esses sistemas serão conectados à rede. A meta é suprir totalmente o consumo energético, na escala anual, tendo como base o consumo estimado do referido campus para o ano de 2017. Caso não seja possível atingir essa meta, será analisado o melhor cenário possível em termos de produção de energia elétrica através de sistemas FV.

2.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos desta obra são:

1. Apresentar os conceitos básicos da geração de energia solar FV.
2. Sintetizar o funcionamento da regulamentação de GD no Brasil.

3. Avaliar o cenário atual e histórico do mercado elétrico brasileiro.
4. Estudar o consumo elétrico da UFSC e seu horizonte de crescimento, estimando o consumo para 2017.
5. Levantar o potencial solar no espaço das coberturas das edificações do campus Trindade, baseado na radiação solar catalogada para Florianópolis e desempenho esperado dos sistemas FV.
6. Análise de maneira simplificada o retorno do investimento, com as informações levantadas de: custo de implantação, custos de operação e manutenção, vida útil dos inversores, período de análise do investimento, vida útil dos módulos FV, taxa de crescimento das despesas com eletricidade, economia estimada com a implantação do sistema, despesas estimadas sem o sistema e incentivos fiscais.

2.3. Justificativa

A necessidade de o mundo migrar cada vez mais sua produção energética para fontes renováveis, aliada com o grande potencial brasileiro para a utilização da fonte solar são os principais fatores que justificam este tipo de pesquisa. Dado o grande potencial da UFSC de produzir e implantar com sucesso inovações nesse campo, esse trabalho se justifica como sendo mais que uma pesquisa, mas como uma ferramenta a mais para um projeto de alto impacto e potencial nela, como o Universidades Solares¹, que visa implantar projetos de minigeração distribuída e de eficiência energética nas universidades federais brasileiras.

¹ Programa da ANEEL de fomento a projetos de Eficiência Energética e de Minigeração distribuída nas universidades federais do Brasil. Mais informações em: http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/aneel-altera-regras-para-estimular-geracao-distribuida-em-universidades

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo visa dar um panorama geral do mercado de energia elétrica global e brasileiros, com maior enfoque nas fontes renováveis e especialmente a solar. Além disso, serão abordados temas mais técnicos necessários para o completo entendimento do trabalho, como o funcionamento dos sistemas FV e da GD.

3.1. Contexto Energético e Participação da Energia Solar

Este tópico abordará o cenário da matriz energética, dividida primeiramente entre global e brasileira, com uma parte dedicada à análise somente referente a participação da fonte solar FV. É dado maior enfoque a parte de fontes renováveis de energia nas matrizes estudadas. A estrutura deste tópico é quebrada em duas: escala mundial e nacional (Brasil).

3.1.1. Mundial

Neste tópico será estudada a matriz energética global e sua evolução nos últimos anos, com destaque para a participação das fontes renováveis. Este tópico é quebrado em uma parte voltada à análise geral da matriz e outra focada na participação e crescimento somente da fonte solar FV em âmbito mundial.

3.1.1.1. Geral

A preocupação e dedicação para construir um mundo cada vez mais sustentável vem crescendo, ano a ano, tanto na sociedade quanto em governos. A criação de políticas públicas voltadas à transformação de setores como energia e transporte é notável pela parte pública, mas também é complementada pela busca e entendimento desse conceito por parte da sociedade. A ideia de uma sociedade mais sustentável vem crescendo e se disseminando mais rapidamente com o passar dos anos modernos, tornando-se cada vez mais debatido e focado em encontros internacionais, como os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas (ONU) nesta década (ONU, 2015).

Dentre os setores englobados por uma mudança de *mindset*, destaca-se o de fontes renováveis de energia, que antes se limitava muito ao foco na fonte hídrica e que na década atual (2010 em diante) está buscando o desenvolvimento de outras fontes. A busca por meios mais eficientes e sustentáveis de geração de energia vem ganhando muita força, especialmente na década atual (2011 a 2020).

Considerando dados até 2016, o ano de 2015, por exemplo, teve a maior adição anual de capacidade instalada de fontes renováveis de energia em escala global já registrado na história, indo de 1.701 GW para 1.849 GW, ou seja, uma adição de 148 GW de potência (8,7% de crescimento). Se desconsiderada a potência instalada referente a hidrelétricas, o crescimento ainda sim foi acentuado, indo de 665 GW em 2014 para 785 GW em 2015, uma adição de 120 GW, equivalente a um aumento de pouco mais de 18% (REN21b, 2016).

Esta grande evolução mostra como as fontes renováveis estão em alta em todos setores (público, privado e terceiro setor), onde segundo REN21 (2016), somente as adições à geração total dessas fontes foram quase dez vezes maiores do que o potencial total instalado em 2005. Esse desenvolvimento é importante pois posiciona cada vez mais as formas de geração de energia menos poluentes como fortes concorrentes das de combustíveis fósseis; que nesse mesmo período (2005-2016) atingiu em 2016 o sexto ano consecutivo de investimentos inferiores às gerações renováveis (REN21, 2016b). A mudança está muito atrelada à diminuição das reservas de combustíveis fósseis e por estar diretamente ligada à emissão de gás carbônico, que contribui fortemente ao efeito estufa (IEA, 2010).

Em 2015 foram investidos mundialmente US\$ 285,9 bilhões em projetos e obras de geração através de fontes renováveis de energia com mais de 1 MW de potência, desconsiderando hidrelétricas. Foi um investimento quase 5% maior do que em 2014, quando foram gastos para os mesmos fins US\$ 273 bilhões (REN21, 2016a).

Outra grande mudança no setor energético ocorrida em 2015 foi na origem dos investimentos nas fontes renováveis, quando pela primeira vez na história os países em desenvolvimento ultrapassaram os desenvolvidos no total investido nesta área. Esses países investiram US\$ 156 bilhões (19% a mais em comparação ao ano anterior) (REN21, 2016a), com grande destaque para China, Índia e Brasil, como pode ser visto na **Figura 3.1**. Dentre eles, a China mais uma vez puxou este indicador, sendo sozinha responsável por US\$ 102,9 bilhões, um aumento de 17% em relação a 2014 e que foi equivalente a mais de um terço (36%) do investimento total global (REN21, 2016a).



Figura 3.1- Novos investimentos mundiais em eletricidade e combustíveis renováveis, países desenvolvidos, emergentes e em desenvolvimento, 2004-2015 (REN21, 2016b)

É possível notar que o crescimento foi muito centralizado em um país, pois a China é uma grande produtora de vários itens essenciais na construção de geradores renováveis de energia, dentre eles destaca-se sua posição como maior produtora de módulos FV do mundo (LI; *et al.* 2017). O aumento de investimento nesse país faz com que os elementos de sistemas FV fiquem mais baratos para todos os outros, o que apesar de parecer positivo, pode ser bastante perigoso. Diversos países (especialmente os EUA) acusaram as fabricantes chinesas do ramo de praticar *dumping* com concorrentes do setor, chegando ao ponto de taxar os produtos sinos em até 30% para defenderem suas indústrias nacionais (GEUSS, 2017).

3.1.1.2. Participação da Solar FV

Dentre as várias fontes renováveis de energia, demonstradas na **Figura 3.2** com suas devidas representatividades na matriz energética mundial, duas se destacam no crescimento recente: a solar FV e a eólica. Apesar do vasto domínio ainda da fonte hídrica, estas duas fontes vêm crescendo em um ritmo muito acelerado, sendo responsáveis por 77% das adições na renováveis na matriz energética em 2015 (REN21, 2016b).

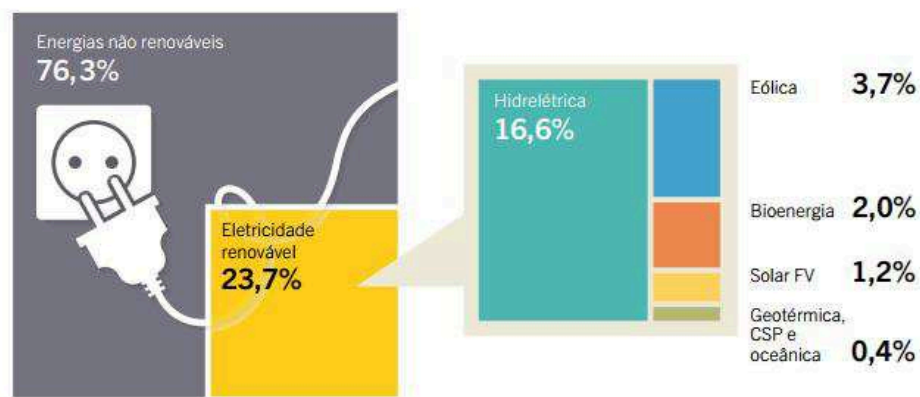


Figura 3.2- Participação estimada de fontes renováveis de energia na produção mundial de eletricidade, final de 2015 (REN21, 2016b)

O avanço dessas duas vem bem à frente de outras fontes, como pôde ser visto na **Figura 1.3**. Enquanto o crescimento da fonte hidrelétrica foi de 2,7% (de 1036 GW para 1064 GW de potência instalada), a eólica teve uma expansão de 17% (de 370 GW para 433 GW) e a solar FV de mais de 28% (de 177 GW para 227 GW). O destaque dessas duas fontes pode ser visto ainda melhor se comparado com outras, como na **Figura 3.3**, que também mostra a já mencionada ultrapassagem de investimento total (em bilhões de dólares) dos países em desenvolvimento sobre os desenvolvidos (REN21, 2016b), também vista anteriormente na **Figura 3.1**.

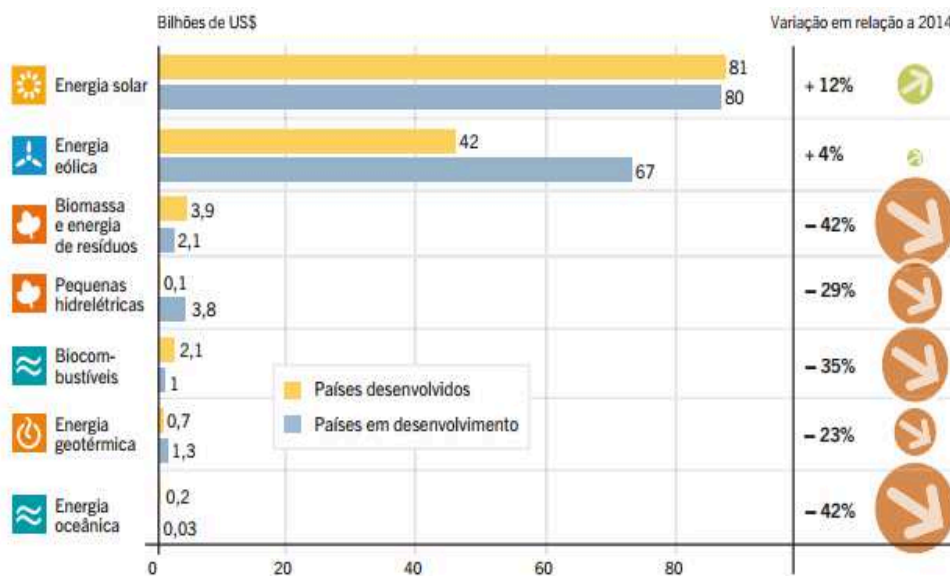


Figura 3.3 -Novos investimentos mundiais em fontes renováveis de energia por tecnologia, países desenvolvidos e em desenvolvimento, 2015 (REN21, 2016b)

Mesmo a energia solar FV sendo somente a quarta principal fonte renovável de energia, como visto na **Figura 3.2**, podemos ver na **Figura 3.3** que esse é um cenário que tende a mudar nos próximos anos, graças aos crescentes investimentos nesta fonte. Ela liderou, mais uma vez, com grande folga os investimentos na matriz renovável de energia, onde representou mais da metade dos investimentos, tanto na parcela total (56% ou US\$ 161 bilhões), quanto nos países em desenvolvimento (51% ou US\$ 80 bilhões). Esta é uma tendência que já vem se concretizando e repetindo há anos, como pode ser vista na **Figura 3.4**, na qual é mostrado que o crescimento percentual nos investimentos na energia solar FV se eleva ano a ano. É uma evolução percentualmente muito maior do que a vivida pelo setor eólico, por exemplo (vide **Anexo A**).

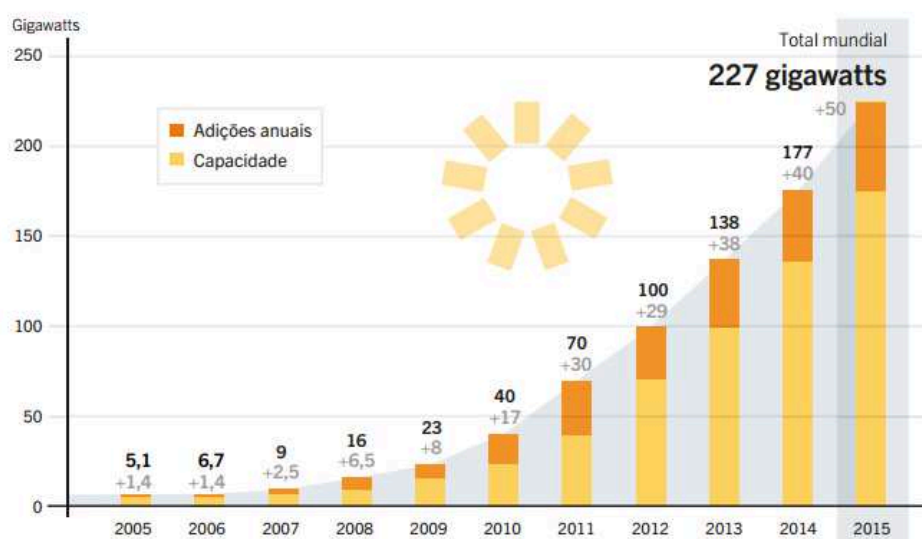


Figura 3.4-Capacidade mundial e adições anuais de energia solar FV, 2005-2015 (REN21, 2016b)

Com tantas tecnologias surgindo, fontes de energia variadas, pesquisas de especialistas e avanços acelerados em diversos campos, incitam, intuitivamente, que a evolução das fontes alternativas de energia deveria ser mais equiparada, ao invés de uma delas apresentar um crescimento mais discrepante. Vários fatores podem ser os catalisadores desta predominância recente de investimentos na fonte solar, mas dentre todos, dois deles merecem destaque: a possibilidade de descentralização da geração que ela possibilita e a grande redução de custos que os componentes dessa tecnologia tiveram a partir de 2010 (HERNÁNDEZ-MORO;

MARTÍNEZ-DUART, 2013).

Mesmo com a crescente urbanização global e acúmulo da população em grandes centros, atualmente 17% da população mundial ainda vive sem acesso à eletricidade e a principal alternativa para reduzir esse indicador vem sendo através das fontes renováveis de energia (REN21, 2016a). Essa opção como solução é muito utilizada justamente pela facilidade em levar-se os equipamentos necessários para a geração elétrica a locais mais isolados, pois possibilitam a produção de energia em pequena escala, suficiente para atender moradias individuais ou pequenas comunidades, onde o acesso é mais dificultado (ONUUDI, 2013).

Nesse quesito, segundo ONUUDI (2013), a fonte solar mais uma vez se destaca dentre todas as outras possibilidades, pois os itens do sistema de geração elétrica ou de aquecimento são relativamente leves e podem ser implantados facilmente em coberturas de edificações ou terrenos planos sem sombreamento. Isto a torna mais atrativa do que outras concorrentes renováveis, como biomassa e hidrelétrica, que usualmente demandam grandes áreas, investimentos e maquinários pesados para a geração de energia; além de depender somente da energia solar, que mesmo com algumas exceções em determinados lugares (nebulosos e/ou chuvosos) é muito mais abundante do que resíduos orgânicos para a energia de biomassa e principalmente recursos hídricos para hidrelétricas (ONUUDI, 2013). Além disso, de acordo com ONUUDI (2013), os sistemas FV têm uma manutenção simplificada, onde a troca de partes do sistema leva vários anos (dez para inversores e vinte e cinco para módulos FV) e a única demanda dos módulos FV é quanto à limpeza deles, e mesmo assim só quando houver sujeira excessiva.

Ademais, não são somente as regiões mais isoladas que usufruem dessa facilidade de manuseio e instalação da energia solar. Moradores de regiões urbanas também aproveitam a possibilidade de gerar energia elétrica ou térmica de suas próprias residências. Mesmo com a possibilidade de se criarem grandes usinas solares FV, a produção descentralizada se tornou tão disseminada, que hoje 80% do total de sistemas FV instalados ao redor mundo são sistemas solares domésticos de pequena escala (REN21, 2016b).

Essa descentralização da produção energética é uma forte tendência global, pois vai de encontro com as, cada vez mais frequentes, políticas públicas de incentivo à GD, possibilita projetos em conjunto de vizinhanças e também proporciona uma participação mais ativa da sociedade na indústria inteligente de tecnologias sustentáveis (REN21, 2016a). Esse último fator vai além do mensurável através de dinheiro ou tempo investido em um projeto, mas é tão

importante quanto, pois serve como ferramenta de mudança da opinião pública e aumento da preocupação social com causas ambientais, não somente do setor político.

Quando as unidades geradoras descentralizadas são conectadas à rede, os ganhos podem ser ainda maiores, se comparados com o sistema convencional. Esse tipo de sistema possibilita menores perdas na distribuição de energia da rede convencional, desafoga grandes unidades produtoras através da maior disponibilidade de energia e pode reduzir preços de energia em horas de pico (se o sistema possuir sistema de armazenamento de energia). Unidades consumidoras com GD podem não somente suprir suas demandas durante o dia, como ajudar a abastecer a rede convencional. Mas para que todos esses ganhos se concretizem, são necessárias regulamentações governamentais que possibilitem as trocas positivas entre pequenas unidades geradoras e órgãos fornecedores convencionais de energia (VAHL; RÜTHER; CASAROTTO FILHO, 2013).

Além de todos os ganhos relacionados à descentralização da infraestrutura já mencionados, o segundo fator que potencializa a disseminação desta fonte de energia é sua crescente redução de custos (LI; *et al.* 2017). Esta otimização acontece graças à redução no custo de produção, conseqüentemente de venda também, e aumento na eficiência de geração de energia por módulo desta tecnologia, se comparado os valores atuais de eficiência com os de mais de uma década atrás encontrados na literatura, como os destacados por Rüter (2004).

A primeira parte - referente à redução de custos da tecnologia - vem acontecendo muito graças à China, que se consolidou rapidamente e de maneira bem sólida como a maior produtora de módulos FV do mundo, investindo pesado nessa tecnologia e viabilizando grandes economias advindas da pesquisa e produção em escala dos itens necessários para o sistema (LI; *et al.* 2017). Dados os vultosos investimentos, de acordo com Randall (2016), a queda de preços já era esperada pelo mercado, porém não tão rapidamente como ocorreu. Em 2016, o preço do Megawatt instalado em sistemas FV ficou abaixo, pela primeira vez, do de sistemas eólicos, como pode ser visto no resultado de um levantamento feito em 58 países em desenvolvimento (entre eles o Brasil) e mostrado na **Figura 3.5**. Este valor é abaixo, inclusive, do de fontes mais antigas e não renováveis de energia, como o carvão e gás natural (RANDALL, 2016).

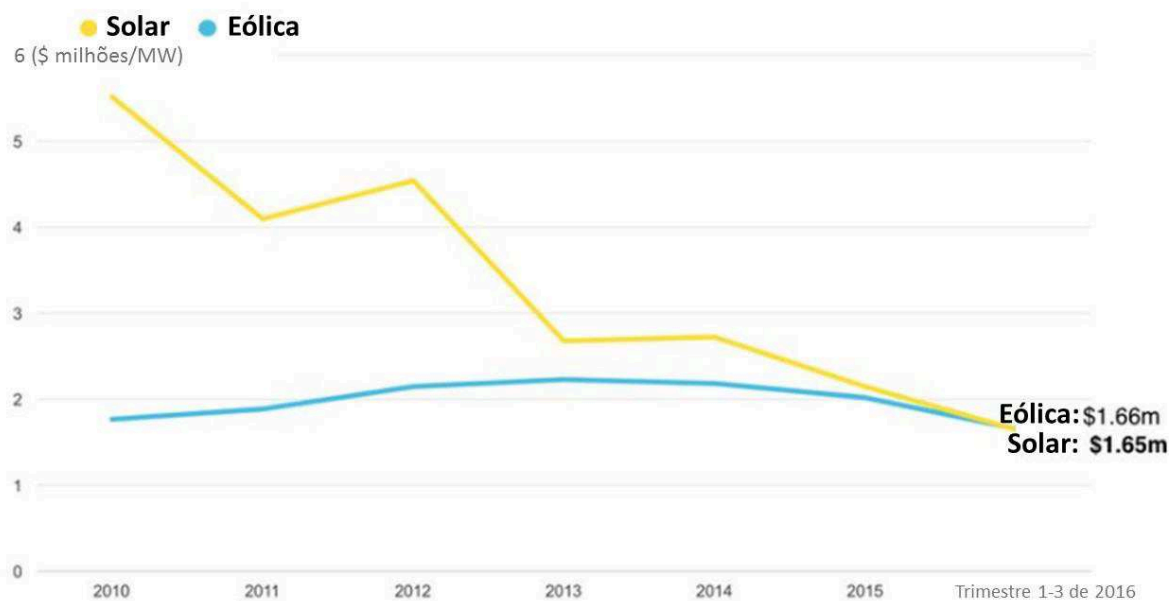


Figura 3.5- Custo médio (milhões US\$/MWp) da energia solar FV e eólica em 58 países que não fazem parte da OCDE (RANDALL, 2016, traduzido pelo autor)

Segundo Henbest, *et al.* (2016), a redução de custos desse sistema deve continuar ao longo dos próximos anos, especialmente pelos avanços tecnológicos e aumento na produção de baterias de lítio, consequência da crescente popularização dos carros elétricos, especialmente em países desenvolvidos. A queda no preço desse item dará maior dinamicidade e possibilidade de gestão do excedente produzido por módulos FV (HENBEST; *et al.*, 2016).

Outro ponto importante no mercado de sistemas FV é a grande utilização desta alternativa energética nos EUA, pois, além de ser a maior economia do planeta, foi o 2º país em total de potência FV instalada em 2015, segundo Martin (2017). A participação dos EUA potencializa muito esse mercado. Europa e países em desenvolvimento já tinham um crescimento regular no mercado, mas os EUA mostraram que devem ser uma peça cada vez mais chave na balança econômica desse segmento. No ano de 2016 a energia solar foi pela primeira vez a fonte que mais cresceu no país norte americano, quando foram instalados 14,6 GW de potência em sistemas FV, equivalente a quase o dobro do total instalado no ano anterior e representando 39% de toda nova capacidade energética instalada no país no último ano (MARTIN, 2017).

Com este horizonte positivo, onde essa fonte deve se destacar cada vez mais dentre as

principais renováveis, é estimado por Henbest, *et al.* (2016) que as energias solar e eólica se tornem as fontes mais baratas de produção de energia em vários países já na década de 2020 e na maior parte do mundo na década de 2030. Os indicadores econômicos apontam para uma redução de até 60% no custo de módulos FV até 2040 (HENBEST; *et al.*, 2016), mostrando-se uma ótima alternativa de investimento atualmente, pois quando a vida útil de módulos instalados hoje se esgotar, em aproximadamente 25 anos (YINGLI, 2017), a substituição será ainda mais barata, dada a grande queda de preços projetada.

A resiliência desse horizonte ficou evidente em 2016, quando houve uma queda de 18% nos investimentos em fontes renováveis de energia, especialmente no terceiro trimestre do ano, mas mesmo assim o custo dos equipamentos do sistema ainda sim seguiu na linha de decréscimo (BLOOMBERG NEW ENERGY FINANCE, 2017). Esta queda de investimentos não demonstra necessariamente uma mudança no cenário de crescimento das fontes renováveis, pois foi provavelmente bastante influenciada pelas instabilidades no mercado em geral causadas pelo processo de eleição presidencial nos EUA, que ocorreu no quarto trimestre do ano, mas que se acirrou desde o segundo trimestre, e na qual os candidatos majoritários eram Donald Trump e Hillary Clinton.

É esperado para 2017, em escala global, um cenário semelhante ao de 2016, com um mesmo patamar de investimentos, mas retomando o crescimento positivo. A China deve manter seu aumento na produção e instalação de módulos, mas em um ritmo inferior ao dos últimos 3 anos (LIEBREICH; MCCRONE, 2017). E para um horizonte ainda mais longo, espera-se para 2040 que 60% da geração de energia elétrica venha de fontes renováveis, com quase metade dessa fatia vindo da fonte eólica ou solar FV (IEA, 2016). Desenha-se então um cenário otimista de mudança para as próximas décadas, onde o impacto ambiental positivo pode ser cada vez maior e mais rápido com a escalabilidade e conexão dos mercados globais, como o *boom* de energia solar visto na última década graças, principalmente, à China.

3.1.2. Brasil

Neste tópico será estudada a matriz energética brasileira e sua evolução e estrutura nos últimos anos, com destaque para a participação das fontes renováveis. Este tópico é quebrado em uma parte voltada à análise geral e histórico da matriz e outra focada na participação e

crescimento somente da fonte solar FV em âmbito nacional.

3.1.2.1. Geral

Para entender melhor a matriz energética brasileira atual, o funcionamento do sistema atualmente e mudanças que estão por vir no setor elétrico nacional, é necessário primeiro entender seu histórico. As últimas décadas foram movimentadas para a área, com grandes mudanças para o setor elétrico brasileiro. As empresas estatais, que constituíam predominantemente o setor até a década de 90, atuavam de maneira bem verticalizada, ou seja: geração, transmissão e distribuição eram ligadas física e comercialmente até seu destino final (BAGATTOLI, 2012). Com o passar do tempo, a carência de investimento privado dessas companhias resultava em um deficit de capital no setor. Com o desenvolvimento do país no século XX, a heterogeneidade no setor energético brasileiro foi se elevando, quando especialmente o período de 1970 a 1996 caracterizou-se como peremptório para o setor (BAGATTOLI, 2012).

Nessa época, a taxa média de aumento do consumo de energia elétrica nacional era de cerca de 8% ao ano, acompanhada por um crescimento populacional nacional de cerca de 2% e um crescimento econômico (PIB) de 4,5% ao ano também, todos muito influenciados pelas mudanças nos processos de produção industrial e pela urbanização em franca ascensão (DUKE ENERGY, 2015). Além disso, segundo Lima e Gonçalves (2016), na década de 1970 houve um grande investimento e crescimento nas fontes hídricas devido à crise de abastecimento do petróleo e receio de depender de combustíveis fósseis. Contudo, suas construções eram grandiosas, demoradas e dependentes de períodos mais úmidos. Com isto, existia um forte receio de que o país não conseguiria suprir a demanda esperada para os próximos anos, dados a realidade da época e o cenário projetado (LIMA; GONÇALVES, 2016).

O receio de uma falta de energia elétrica era grande, evidenciando a inevitabilidade de mudar o modelo utilizado até então. O presidente da época, Fernando Henrique Cardoso, deu início em 1995 a uma profunda reforma setorial, visando a desestatização e desverticalização da cadeia produtiva vigente, dando independência a toda parte de geração, transmissão, distribuição e comercialização. Desta forma, houve uma progressiva desregulamentação da comercialização e geração, ao passo que a transmissão e a distribuição (naturais constituintes de monopólios) mantiveram-se na maioria como serviços públicos regulados, mas com algumas

privatizadas (GOMES *et al.*, 2002).

Estimular a concorrência onde fosse possível, estimular a participação de investimentos privados e limitar o papel do governo na formulação de políticas energéticas eram os objetivos principais das mudanças. Com isto chegou ao país o Ambiente de Contratação Livre (ACL) (comercialização direta de energia elétrica por agentes do setor privado), que já era praticado em países desenvolvidos. As mudanças trouxeram a necessidade de criação de um órgão voltado à regulação e fiscalização, a ANEEL; um operador energético dos fluxos físicos para o sistema interligado nacional, o Operador Nacional do Sistema (ONS), e outro com viés comercial, voltado para a realização das transações de compra e venda de energia elétrica, o Mercado Atacadista de Energia Elétrica (MAE), atual Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) (EDP, 2016).

Contudo, tais medidas não bastaram, pois, a falta de investimentos no setor, o aumento do consumo nacional, a matriz energética cada vez mais dependente do recurso hídrico e os baixos níveis em reservatórios ocasionaram uma grave crise energética no início dos anos 2000, obrigando o governo a adotar uma política de racionamento em vários estados do território. Ficou evidente que o panorama do setor ainda não era o suficiente. Foi então que as Leis nº 10.847 (BRASIL, 2004) e nº 10.848 (BRASIL, 2004), de 15 de março de 2004, e o Decreto nº 5.163 (BRASIL, 2004), de 30 de julho de 2004 inauguraram o Novo Modelo Elétrico Brasileiro. Esse decreto, além de determinar a criação da EPE (Empresa de Pesquisa Energética) para o resgate e aperfeiçoamento do sistema de planejamento integrado, também permitiu a migração de grandes consumidores para o ACL.

Também foi criado um comitê com a responsabilidade de analisar permanentemente a força do suprimento de energia, o Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE). Houve a extensão da autonomia do ONS e o câmbio do MAE pela CCEE (ONS, 2016). A **Figura 3.6** ilustra a estrutura do setor elétrico e o relacionamento entre os órgãos.

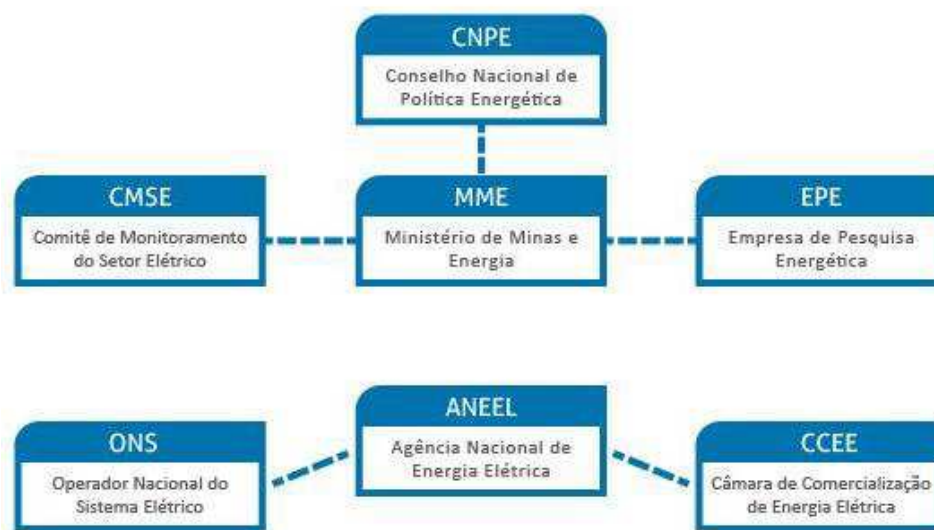


Figura 3.6 - Representação esquemática da relação entre órgãos pertencentes ao setor elétrico (CCEE, 2016)

Para completar o setor, além dos órgãos apresentados, também existem agentes de geração, transmissão, distribuição e comercialização, apresentados de maneira mais aprofundada nos tópicos a seguir.

a) Geração

Abrange empresas públicas e privadas que produzem energia elétrica através de diversas fontes (hidráulica, térmica, nuclear, solar, eólica, etc.). As fontes hidráulicas dominam amplamente a matriz energética do país, muito pela geografia favorável. Atualmente o Brasil possui no total 4.675 empreendimentos geradores em operação, totalizando 161.809.129 kW de potência instalada (ANEEL, 2017a). Esses empreendimentos são divididos em oito tipos, de acordo com suas fontes: CGH (Central Geradora Hidrelétrica), CGU (Central Geradora Undielétrica), EOL (Central Geradora Eólica), PCH (Pequena Central Hidrelétrica), UFV (Central Geradora Solar Fotovoltaica), UHE (Usina Hidrelétrica), UTE (Usina Termelétrica) e UTN (Usina Termonuclear). A **Figura 3.7** mostra a potência outorgada por tipo de empreendimento, considerando somente os já em operação em abril de 2017.

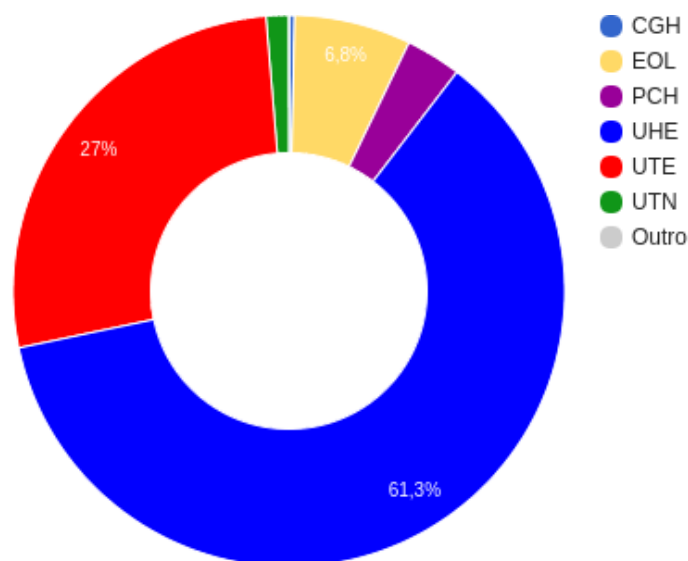


Figura 3.7- Potência outorgada de empreendimentos de geração elétrica em operação no Brasil, referente ao início de 2017 (ANEEL, 2017a).

É evidente o domínio do recurso hídrico como principal fonte de geração de energia no Brasil. Existe, porém, uma mudança de tendência no setor, onde a fonte hidráulica começa a perder paulatinamente o foco dos investimentos na área. Uma análise mais aprofundada é feita na parte **3.1.2.2.** deste trabalho, onde essa tendência é comprovada.

b) Transmissão

A função da transmissão de energia elétrica é fazer a ponte entre os geradores de energia com os agentes distribuidores. Ela é composta por uma rede de linhas com tensões elevadas para minimizar as perdas decorrentes do transporte de grandes níveis de energia em longas distâncias (BAGATTOLI, 2012). Esse sistema é crucial em um país continental como o Brasil e com fontes geradoras geograficamente distantes dos principais centros consumidores. Esta distância demanda uma qualidade muito grande nas linhas de transmissão, para minimizar as perdas no transporte de energia até os centros consumidores. A maioria das redes estão contidas no Sistema Interligado Nacional (SIN). Como pode ser visto na **Figura 3.8**, o SIN está distribuído em grande parte do território nacional e é essencial para o transporte de energia entre diferentes regiões.

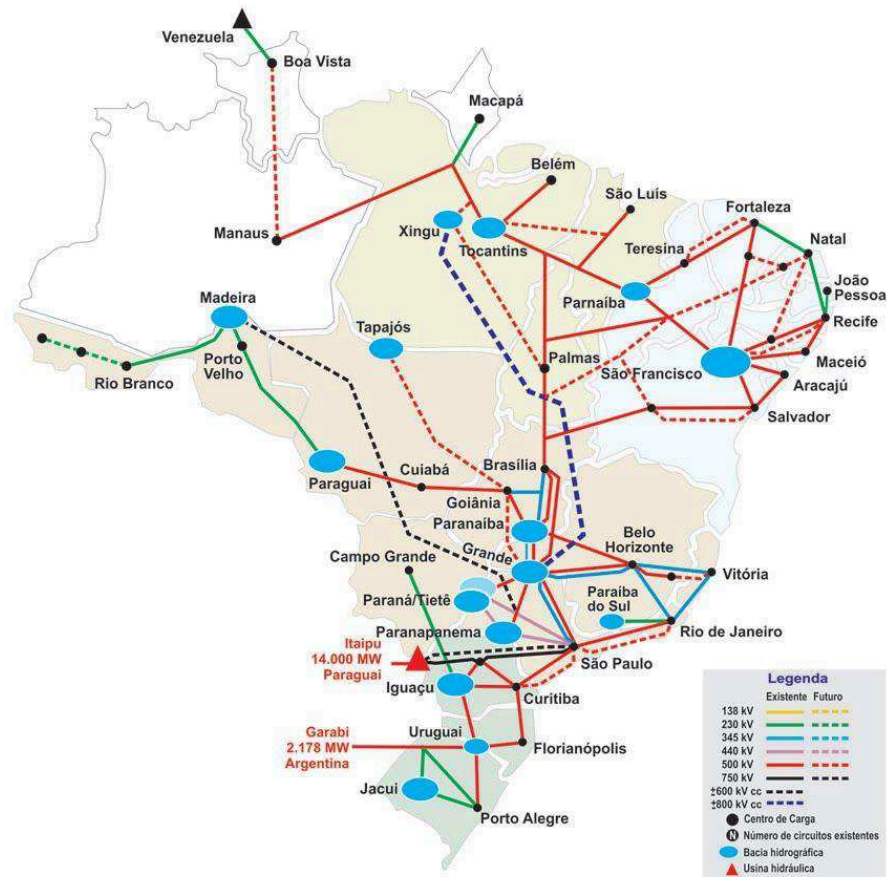


Figura 3.8- Distribuição do SIN (ONS, 2016).

O nível de tensão de operação de uma linha de transmissão, medido em kilovolt (kV), é o que determina a classificação dela. A divisão de cada faixa de tensão é feita de uma maneira onde cada uma é identificada por uma combinação alfanumérica, que determina sua classe de transmissão. As alternativas existentes são: tensão de fornecimento igual ou superior a 230 kV (A1), de 88 kV a 138 kV (A2) e de até 69 kV (A3) (ABRADEE, 2016a).

c) Distribuição

O Brasil possui 117 distribuidoras (junho de 2017), que são as empresas responsáveis pelo fornecimento de energia aos consumidores finais, depois de recebê-la em alta tensão do sistema interligado de transmissão e rebaixá-la a níveis comerciais (ANEEL, 2017). A ANEEL define os limites e regulamentações que dizem respeito às comercializadoras, baseando em critérios como área de concessão, tarifas e leilões de compra de energia. Portanto, essas empresas não são livres para praticar os preços que desejam, inserindo-se no contexto dos

contratos de concessão, que usualmente contam com mecanismos de revisões e reajustes tarifários periódicos, operacionalizados pela própria agência reguladora (ABRADEE, 2016b).

d) Comercialização

Existem dois ambientes de contratação de energia elétrica, o já comentado ACL e o Ambiente de Contratação Regulada (ACR). A conceituação destes dois ambientes esclarece a distinção entre ambos e é definida pelo decreto nº 5.163 de 30 de julho de 2004 (BRASIL, 2004) da seguinte maneira:

§ 2o Para fins de comercialização de energia elétrica, entende-se como:

I - Ambiente de Contratação Regulada - ACR o segmento do mercado no qual se realizam as operações de compra e venda de energia elétrica entre agentes vendedores e agentes de distribuição, precedidas de licitação, ressalvados os casos previstos em lei, conforme regras e procedimentos de comercialização específicos;

II - Ambiente de Contratação Livre - ACL o segmento do mercado no qual se realizam as operações de compra e venda de energia elétrica, objeto de contratos bilaterais livremente negociados, conforme regras e procedimentos de comercialização específicos;

No ACR, portanto, as distribuidoras são responsáveis por adquirirem energia que atenda a carga de todos consumidores cativos através de leilões públicos. No modelo em vigência no ano de 2017 as distribuidoras não são livres para firmarem contratos de compra e venda de energia com geradoras e comercializadoras, os chamados contratos “*self-dealing*” (CPFL Renováveis, 2014). Dessa forma, ficam muito rígidos os meios de aquisição de energia por parte da distribuidora e com algumas restrições, dificultando a gestão de seu portfólio energético. Percebe-se então que o ACR é rígido e fortemente regulamentado, limitando as oportunidades dos consumidores que nele estão inseridos. É nesse cenário que o ACL surge como opção mais maleável para certos consumidores especiais.

3.1.2.2. Participação Solar FV

Como pode ser visto no item **3.1.2.1. a)**, o Brasil apresenta uma matriz energética muito mais dependente de fontes renováveis do que de combustíveis fósseis, diferentemente da grande parte dos países desenvolvidos. No início de 2017 (abril) somente 16,9% da energia consumida, ou 17,8% do produzido em território nacional, é oriunda de fontes não-renováveis (ANEEL,

2017b). Porém, é notável a grande dependência do recurso hídrico, sendo responsável sozinho por 64,86% (UHE, CGH e PCH) da geração.

Segundo Carvalho (2009), as UHE promovem baixas emissões de gás carbônico para a atmosfera durante seu funcionamento. No entanto, segundo Carvalho (2009), durante sua construção, geram um enorme impacto ambiental e liberação de gases do efeito estufa (metano e gás carbônico) na decomposição dos materiais orgânicos das grandes áreas de inundação, emissões que se estendem durante alguns anos da operação também. Dessa forma, uma UHE com vasta área de inundação é muito mais poluente do que uma que utilize somente a correnteza de um rio para a geração, como usualmente são as PCHs ou as CGHs (CARVALHO, 2009).

Mas a participação da fonte hídrica no total da matriz energética vem reduzindo, com um cenário positivo à diversificação nos próximos anos. Como pode ser visto na **Figura 3.9**, da potência outorgada dos empreendimentos já em construção, apesar do recurso hídrico ainda ocupar a segunda colocação, há uma distribuição muito maior nos recursos utilizados, com grande destaque para a eólica em primeiro lugar e para a termelétrica em terceiro. Esses empreendimentos em construção somam, no total, novos 9.041.411 kW de potência outorgada, divididos em 585 novos pontos geradores para o Brasil.

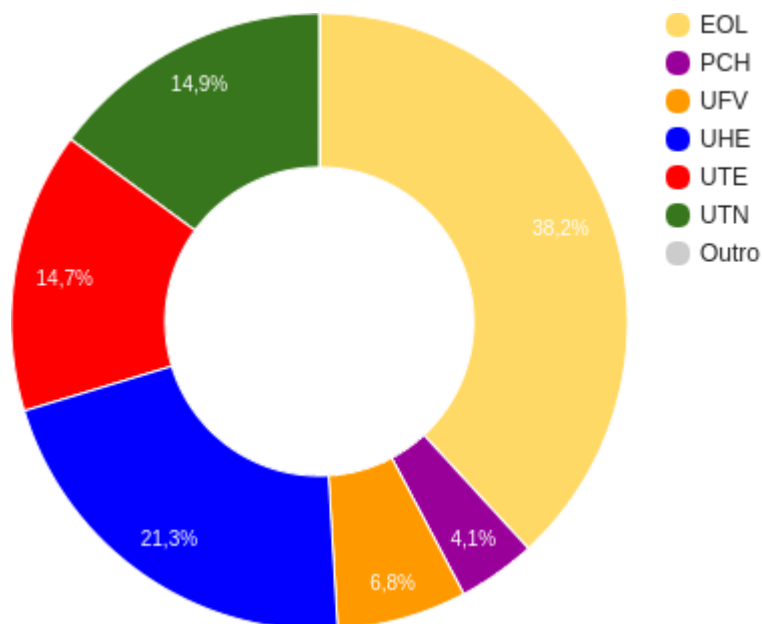


Figura 3.9- Divisão da potência outorgada dos empreendimentos de geração elétrica em construção no Brasil, início de 2017 (ANEEL, 2017a).

Existem ainda os projetos que foram aprovados pela ANEEL, mas que ainda não tiveram suas construções iniciadas. Com eles, que devem entrar em operação a médio e longo prazo, a matriz energética ficará ainda mais diversificada e reduzirá mais um pouco a dependência geral do recurso atualmente dominante. São 548 projetos e o somatório da potência outorgada deles é de 15.526.831 kW, divididos segundo a **Figura 3.10**. Além do crescimento da fonte eólica e termelétrica já mencionadas, vale observar a força que a fonte solar FV ganhará, ocupando a terceira colocação em potência outorgada total deles e representando entre um sétimo e a um sexto da nova energia adicionada à matriz brasileira por estes projetos.

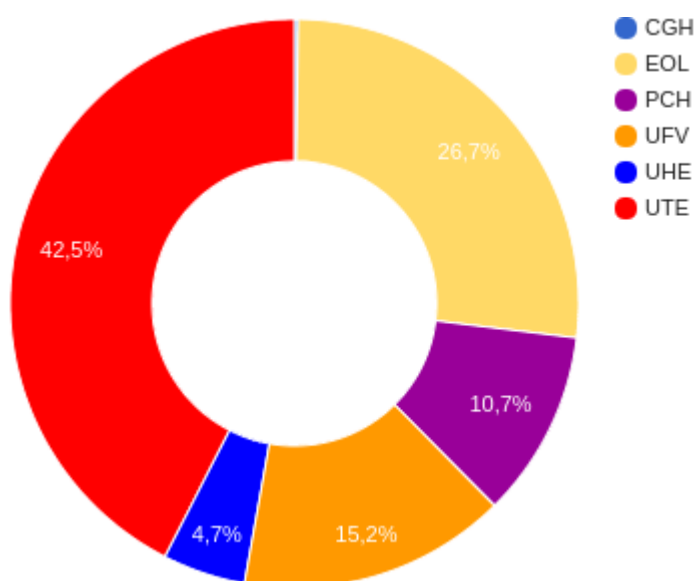


Figura 3.10- Potência outorgada dos empreendimentos de geração elétrica com construção não iniciada no Brasil, início de 2017 (ANEEL, 2017a).

Considerando somente os projetos registrados no BIG pela ANEEL até abril de 2017 (ANEEL, 2017a), supondo a conclusão dos empreendimentos em andamento (**Figura 3.9**) e o início e conclusão dos que ainda não se iniciaram (**Figura 3.10**), teríamos uma variação interessante na matriz energética, que pode ser vista na **Figura 3.11**. Ela mostra a variação do percentual total que a conclusão desses projetos causará, tendo como base a matriz energética em abril de 2017 (**Figura 3.7**). É perceptível a grande redução da fonte hídrica, que apesar de ainda se manter no topo, irá perder bastante espaço principalmente para as fontes eólica e solar FV.

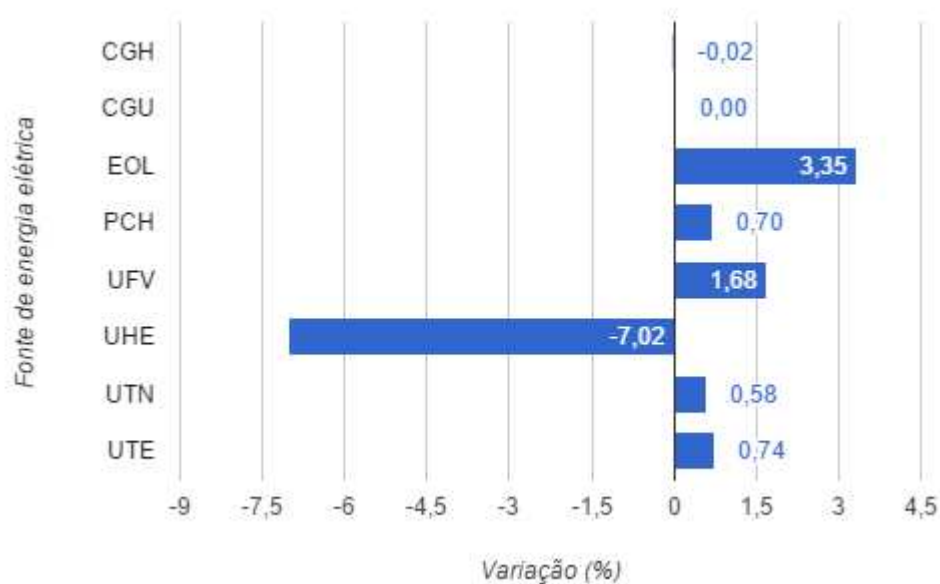


Figura 3.11- Variação percentual esperada na participação de cada tipo de empreendimento de geração na matriz energética brasileira, quando os projetos registrados pela ANEEL até abril de 2017 estiverem em operação, em relação às potências dos empreendimentos em operação em abril de 2017 (ANEEL, 2017a).

Como já visto anteriormente, esta tendência não é exclusiva do Brasil, mas sim um movimento global na direção dessas duas fontes. Mas, apesar de estar com um foco alinhado com as demais potências globais, especialmente as em desenvolvimento, a escala de crescimento ainda é pequena frente ao vasto potencial de geração do território brasileiro. O país não figura entre as cinco nações que mais investem em renováveis, nem em investimento total e nem per capita (REN21, 2016b).

Dentre esses dois campos com grande promessa de crescimento, o potencial solar talvez se destaque mais. O Brasil é um país continental com grande parte de seu território na zona tropical e que recebe uma enorme radiação solar, variando de 1500 a 2300 kWh/m²/ano, muito maior do que países europeus que vêm utilizando o recurso solar, como Alemanha (900-1250 kWh/m²/ano), França (900-1650 kWh/m²/ano), Itália (1200-1750 kWh/m²/ano) e entre outros (LACCHINI; RÜTHER, 2015).

Além da geração de eletricidade, esse tipo de aproveitamento da fonte solar pode gerar muitos empregos ainda não explorados ou criados. Considerando os oito países que mais criaram empregos através das fontes renováveis em 2016 segundo REN21 (2016), o Brasil ocupou a segunda colocação geral, porém a última em empregos oriundos da fonte solar FV. Foram somente quatro mil empregos criados na área, muito abaixo dos 21 mil criados pela

França, segunda colocada, e equivalente a menos de meio por cento (0,44%) dos 918 mil totais criados para trabalhar-se com fontes renováveis brasileiras (REN21, 2016b).

Desde o início da década de 2010, todavia, o governo brasileiro vem se movimentando para viabilizar um maior crescimento na GD, onde a energia elétrica é gerada perto ou na própria unidade consumidora, como usualmente acontece na GD solar FV conectada à rede. A criação de regulamentações e novas modalidades de medição possibilitam o avanço dessa forma de geração, por tamanho impacto que elas geram, mas esse assunto será abordado com mais detalhes nos capítulos 3.2.3 e 3.2.4 deste trabalho.

O que já é nítido é como a energia solar FV se salienta das demais na GD no Brasil. Ela sozinha é responsável por 98,98% de todas unidades geradoras de GD (9.802 no total) e 68,77% (74.024,19 kW) da potência instalada total delas, seguida por termelétrica com 15,17% (16.325,80 kW), eólica com 9,45% (10.168,10 kW) e hídricas com 6,61% (7.115,00 kW) (ANEEL, 2017c).

Analisando de uma óptica mais próxima à localidade do estudo de caso proposto, o estado de Santa Catarina, apesar de ser somente a sexta em número de unidades geradoras e quinta em potência instalada com GD na divisão entre unidades da união, destaca-se pelo porte e vanguarda de seus projetos. O estado contém a UFV-Cidade Azul em Tubarão, que na época de sua inauguração era a maior usina solar FV do país, e também um dos primeiros grandes sistemas FV integrado à edificação e conectado à rede, o Megawatt Solar na sede da Eletrosul em Florianópolis, ambos inaugurados em 2014 (MONTEIRO JÚNIOR, 2014).

3.2. Energia Solar Fotovoltaica

Esta parte irá abordar aspectos técnicos e legais referentes à energia solar FV e GD. Inicialmente será explicado o funcionamento dos sistemas FV e depois especificamente os módulos deles, uma das partes mais importantes. Em seguida será abordada a GD, modelo de geração de energia que utiliza a rede elétrica existente para interações de troca de energia (injeção e consumo) e a legislação referente à GD no Brasil.

3.2.1. Sistemas FV

O princípio básico de funcionamento dos sistemas FV de produção de energia elétrica

através do sol é o Efeito FV, que é a conversão de luz solar em corrente ou tensão elétrica que alguns materiais apresentam; efeito esse que foi descoberto em 1839 pelo físico francês Antoine Henri Becquerel (1852-1908) (ONUDI, 2013). O primeiro uso comercial, entretanto, veio somente cerca de cento e dez anos depois, nos Laboratórios de Bell (Nova Jersey – EUA), no início da década de 1950 e com aplicação inicial visando mais a indústria espacial (LACCHINI; RÜTHER, 2015).

Um sistema FV é composto de diversos itens, sendo o principal deles o módulo solar FV. Os demais componentes, mais usualmente utilizados nos sistemas residenciais ou em usinas solares segundo ONUDI (2013), são: estrutura de sustentação dos módulos (geralmente metálica e inoxidável), inversor de corrente (contínua para alternada), diodos de *by-pass* e de bloqueio, fusíveis e disjuntores, cabos elétricos, terminais de proteção contra sobretensões e descargas atmosféricas e caixas de conexão.

Dentre as funções de cada parte, o módulo FV desempenha o papel central e é quem determina a potência do sistema. Já o sistema de conversão de corrente faz o câmbio do tipo de corrente gerada pelos módulos (corrente contínua) para o tipo de corrente da rede elétrica pública (corrente alternada), além de alinhar a frequência, fase e tensão também (RÜTHER, 2004).

Nos sistemas conectados à rede, é necessário também a instalação de um medidor de energia elétrica de forma que possibilite calcular a diferença entre a energia produzida e injetada na rede da energia utilizada da rede de abastecimento elétrico (ANEEL, 2014). O tipo de medidor varia de acordo com a potência instalada do empreendimento e será explicada no tópico seguinte (**Item 3.2.2**).

3.2.2. Módulos FV

Existem diversas tecnologias disponíveis no mercado de módulos FV, variando os materiais de composição. Dentre as existentes, destacam-se: silício monocristalino (m-Si) (pouco mais de 20% da produção global de módulos em 2015), policristalino (p-Si) (correspondeu a algo em torno de 70% da produção) e os de filme-fino (em torno de 5% da produção) de telureto de cádmio (CdTe) e de disseleneto de cobre (gálio) e índio (CIS ou CIGS) (FRAUNHOFER ISE, 2016).

Dado que no projeto de implantação na UFSC de Custódio (2016), que serve de guia

para a aplicação FV deste trabalho foram apenas utilizados módulos dos três primeiros tipos mencionados, esses serão mais detalhados a seguir. As principais características de cada módulo são dadas segundo Neves (2010) e as eficiências mais atualizadas de acordo com Fraunhofer ISE (2016):

- Silício monocristalino (m-Si): Foi o primeiro tipo de módulo desenvolvido e apesar de apresentar um dos maiores custos de aquisição, apresenta a maior eficiência dentre as tecnologias existentes. Sua maior eficiência já atingida foi de 25,6% (em laboratório) e funcionam bem em condições de pouca luz também.
- Silício policristalino (p-Si): Mesmo apresentando a mesma matéria prima do anterior, esse apresenta um processo de produção ligeiramente distinto. Esses módulos apresentam características muito semelhantes ao último, porém com uma eficiência de conversão um pouco inferior, com um recorde em laboratório de 20,8% e apresenta um custo levemente inferior.
- Telureto de Cádmio (CdTe): Único tipo de módulo de película fina que concorreu com o custo-benefício dos módulos de silício cristalino no mercado. São tipicamente utilizados em usinas solares e possuem eficiência de 16%, grande evolução se comparada a eficiência de 9% desses módulos dez anos atrás (2006).

De acordo com ONUDI (2013), cada módulo possui uma potência nominal, ou potência de pico (máxima), que é a obtida sobre condições padrão de teste e são elas: temperatura do módulo de 25°C (+/- 2), radiação de 1.000 W/m² normal à superfície ensaiada e espectro solar de AM 1,5. Para uma instalação FV, no entanto, os módulos são arranjados em série e em paralelo para que seus potenciais sejam combinados e assim gere uma maior capacidade de produção energética ao sistema (ONUDI, 2013).

3.2.3. Sistema de Geração Distribuída (GD)

De acordo com a ANEEL (2016a), um sistema de GD (micro e mini) consiste na existência de meios de produção elétrica de médio e pequeno porte (até 75kW de potência instalada para microgeração e 5 MW para minigeração), conectadas à rede de distribuição através das unidades consumidoras. Alguns meios de produção comuns desse sistema são:

centrais de biomassa, turbinas eólicas, micro hidrelétricas (PCHs), módulos FV, além de outros meios menos disseminados (ANEEL, 2016a).

Dentre as vantagens que esse sistema oferece, destacam-se a redução das perdas na rede de transmissão, mitigação de grandes investimentos em grandes centrais geradoras, maior independência das flutuações do preço da energia elétrica, menos suscetível a apagões causados por consumo acima da capacidade (se instalado geradores ou baterias de emergência) e por ter em sua maioria fontes renováveis, também apresenta um menor impacto no meio ambiente (SANTOS *et al.*, 2008).

Assim, de acordo com Mitscher e Rüter (2012), a GD se apresenta como uma boa saída para superar uma das grandes barreiras que a sociedade vem enfrentando no início deste século XXI, que seria a evolução da matriz energética global para uma mais segura e sustentável. A parte de sustentabilidade é uma preocupação recorrente das sociedades e governos em geral, já a de segurança aparece devido à crescente pressão no sistema de energia que o crescimento populacional e aumento do padrão de vida geram (MITSCHER; RÜTHER, 2012).

A GD pode se conectar à rede de distribuição convencional (produtoras elétricas centrais), resultando num balanço confiável de geração própria bem dimensionada, com a segurança de ter uma rede central de abastecimento para suprir o consumo das unidades, quando necessário, e possibilitando assim a independência de baterias para armazenamento de energia excedente produzida. Esta possibilidade, denominada GD conectada à rede, funciona através da medição bidirecional de energia em uma unidade consumidora e geradora, ou seja, é mensurada tanto a energia excedente produzida no local que é injetada na rede, quanto a energia que é necessária extrair da rede convencional (ANEEL, 2012).

No Brasil, esse é um sistema relativamente novo, na qual foi oficializado em 17 de abril de 2012 pela ANEEL através da resolução normativa REN nº 482/2012 (ANEEL, 2012) e que posteriormente foi revisada e atualizada pela REN nº 687/2015 (ANEEL, 2015), entrando em vigor em março de 2016. Estas resoluções nasceram de consultas e audiências públicas realizadas pela agência regulamentadora, com o intuito de ouvir os profissionais e pesquisadores na área a respeito da modernização e diversificação da matriz energética (ANEEL, 2016a). Dos principais pontos com esta mudança, destacam-se:

- Redução do prazo do processo administrativo para que a concessionária autorize a instalação do sistema FV, que caiu mais do que pela metade, de 82 para 34 dias, dando

muito mais agilidade ao processo;

- Os créditos gerados pela energia injetada na rede tinham validade de três anos (36 meses) e passaram a valer por cinco anos (60 meses);
- A compensação passou a ser liberada para uma UC de CPF/CNPJ diferente do da geradora, desde que comprovado o vínculo entre as partes envolvidas. Assim, tornou-se possível criar cooperativas entre vizinhos, amigos, parentes ou outros grupos que queiram gerar energia em conjunto em uma unidade, distribuindo seus ganhos entre os demais;
- Simplificação do processo através de menos exigências por parte da concessionária e dos trâmites feitos de maneira online.

As atribuições burocráticas de funcionamento, tais quais impostos incidentes, processo de regulamentação e outros, serão abordadas no tópico seguinte deste trabalho.

Deve-se ressaltar, entretanto, que uma diversificação da cadeia produtiva energética, como a proporcionada pelo sistema em questão, acarreta riscos e desafios para a rede em si e seus operadores. Dentre eles, destacam-se: uma rede mais difícil de manejar, cobrança dos consumidores se torna mais complexa e sistema misto (produtores/consumidores e somente consumidores) gera desafios burocráticos para as operadoras controlarem sua própria rede de uma maneira homogênea (ANEEL, 2016a).

Como regulamentado pela ANEEL (2016a), no Brasil é possível realizar a conexão do sistema gerador e compensar a energia excedente produzida de quatro maneiras distintas: a geração compartilhada, o autoconsumo remoto, a geração na própria UC e empreendimento com múltiplas UC. A divisão da representatividade de cada tipo pode ser vista na **Tabela 3.1**.

A primeira, a geração compartilhada, é uma espécie de consórcio, onde pessoas jurídicas ou físicas se unem para produzir a energia e compartilhar as economias entre elas. Um caso desse tipo de sistema seria uma parceria entre empresas que queiram investir em um parque solar e para ter condições de financiamento, fazem um rateio dos custos de forma que cada um ficará com uma parte dos créditos de energia gerados a partir da produção elétrica (ANEEL, 2016a).

Já o autoconsumo remoto é, como o próprio nome já diz, uma produção de energia distante do ponto de consumo. Um exemplo de pessoa física, seria no caso de alguém com casa de praia, utilizada por poucos meses do ano, que possua módulos FV produzindo energia e

destinando os créditos para uma unidade consumidora na residência fixa, onde a pessoa passa a maior parte do ano (ANEEL, 2016a). Vale ressaltar que a produção e o consumo devem ser abastecidos pela mesma distribuidora elétrica.

O modelo de consumo na própria UC, como o nome já diz, é a geração de energia no próprio local de consumo. É o tipo mais simples e fácil de controlar, já que todo consumo e geração ficam alocados em uma mesma unidade e fatura de luz, como por exemplo uma casa com sistema FV em sua cobertura.

Por fim, o modelo de empreendimento com múltiplas UC (condomínios) funciona como uma forma de rateio da energia produzida, sendo que elas devem ser unidades vizinhas independentes ou então no mesmo terreno. Por exemplo, um condomínio residencial onde algumas casas têm mais espaço e incidência solar, então todos do condomínio partilham o gasto com os sistemas FVs que serão instalados em somente uma parte do condomínio, ou então fábricas próximas que dividem os custos de instalação também e o fazem na fábrica de maior área útil para geração (ANEEL, 2016a). Como pode ser visto na **Tabela 3.1**, esse é o tipo de conexão mais comum no país e a com maior potência instalada também.

Tabela 3.1- Distribuição das modalidades de GD no Brasil (ANEEL, 2017d).

Modalidade	Quantidade	Quant. de UCs que recebem os créditos	Potência Instalada (kW)
Consumo Remoto	657	1.715	13.948,85
Geração Compartilhada	25	129	5.670,03
Geração na própria UC	9.120	9.120	88.014,21

3.2.4. Legislação Brasileira para GD

Como brevemente mencionado no **Item 2.2.3**, visando facilitar a entrada de novos geradores de energia (a partir de fontes renováveis) à rede de distribuição, a ANEEL publicou a REN nº 482/2012 (ANEEL, 2012) que englobava e estabelecia os procedimentos que deveriam ser seguidos para ligar uma unidade micro e minigeradora ao sistema de distribuição (ANEEL, 2014). Esta resolução foi um grande marco para o sistema elétrico nacional e foi o início de uma revolução no setor de fontes renováveis de energia brasileiro, tendo em vista que

tornou mais fácil e atrativo investir em meios de produção individuais de baixo impacto ambiental, como é a energia solar FV.

Posteriormente esta regulamentação foi atualizada pela REN nº 687/2015 (ANEEL, 2015). Esse documento possui uma definição sucinta do sistema, onde é estabelecido que microgeração e minigeração distribuídas são centrais produtoras de energia de pequeno porte (menor ou igual a 75kW para a primeira e menor ou igual a 5 MW para o segundo²) baseadas em recursos renováveis para sua produção e que são conectadas à rede e mensuradas através das instalações de unidades consumidoras pré-estabelecidas.

De acordo com a ANEEL (2016a), a distribuidora deve dar condições para que o processo de obtenção do aval de micro/minigeração distribuída possa ser feito online, sendo solicitado diretamente à distribuidora, que solicitará a documentação necessária; depois será emitido um parecer técnico sobre a viabilidade e aprovação da instalação; a terceira etapa é a implantação da conexão e por fim, a aprovação do ponto de conexão. No final do processo, caso todas pendências técnicas tenham sido respeitadas, o solicitante de microgeração terá um novo medidor bidirecional ou quatro quadrantes instalado pela distribuidora, ou terá que arcar com os custos e serviço de instalação no caso de minigeração, e um novo contrato de fornecimento celebrado entre as partes (CELESC, 2016). A **Figura 3.12** sintetiza o esquema para solicitar acesso à GD, segundo a regulamentação nacional vigente à qual todas distribuidoras estão sujeitas.

²Para minigeradoras de fontes hídricas o limite de produção é inferior ao de outras fontes, tendo um potencial máximo de 3 MW.

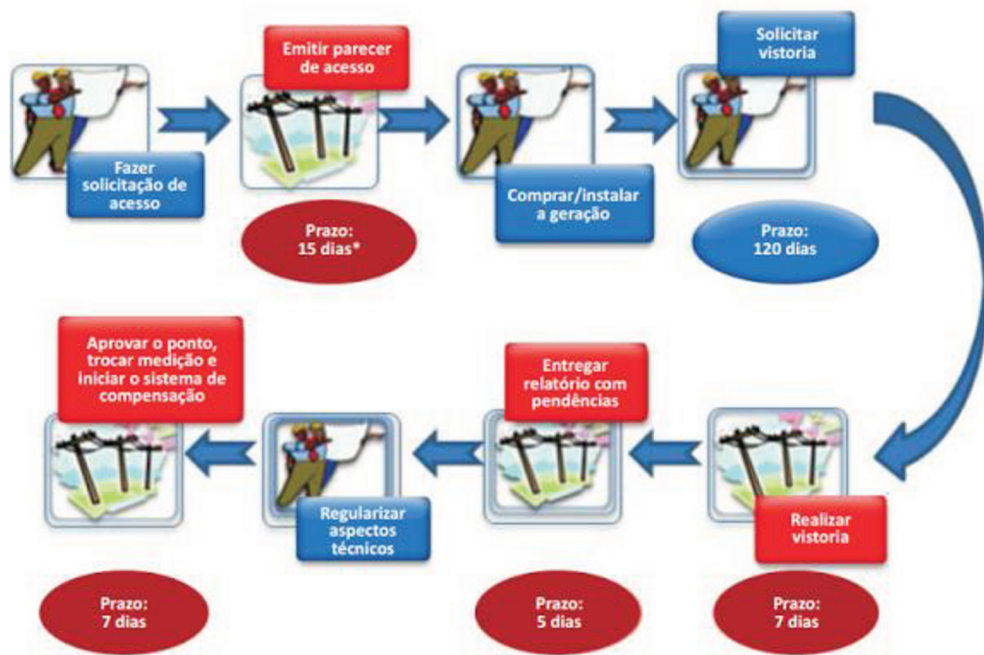


Figura 3.12- Procedimentos e etapas para acesso à GD (ANEEL, 2016a).

Quanto a medição, ela segue os padrões de medição convencionais de unidades consumidoras de mesmo padrão e só tem como diferencial a medição bidirecional, que pode ser feito através de dois medidores unidirecionais ou apenas um que meça o fluxo de energia nas duas direções (para projetos com potência instalada menor ou igual a 75 kW), ou com medidor quatro quadrantes (projetos com potência instalada entre 75 kW e 5 MW), possibilitando a medição de quanto é injetado na rede a partir da unidade (ANEEL, 2016b). O processo de medição é explicado pela **Figura 3.13** a seguir, destacando que é requerido o pagamento de uma taxa mínima referente à disponibilidade de energia proporcionada pela distribuidora, caso o valor a pagar fique inferior à taxa de disponibilidade.

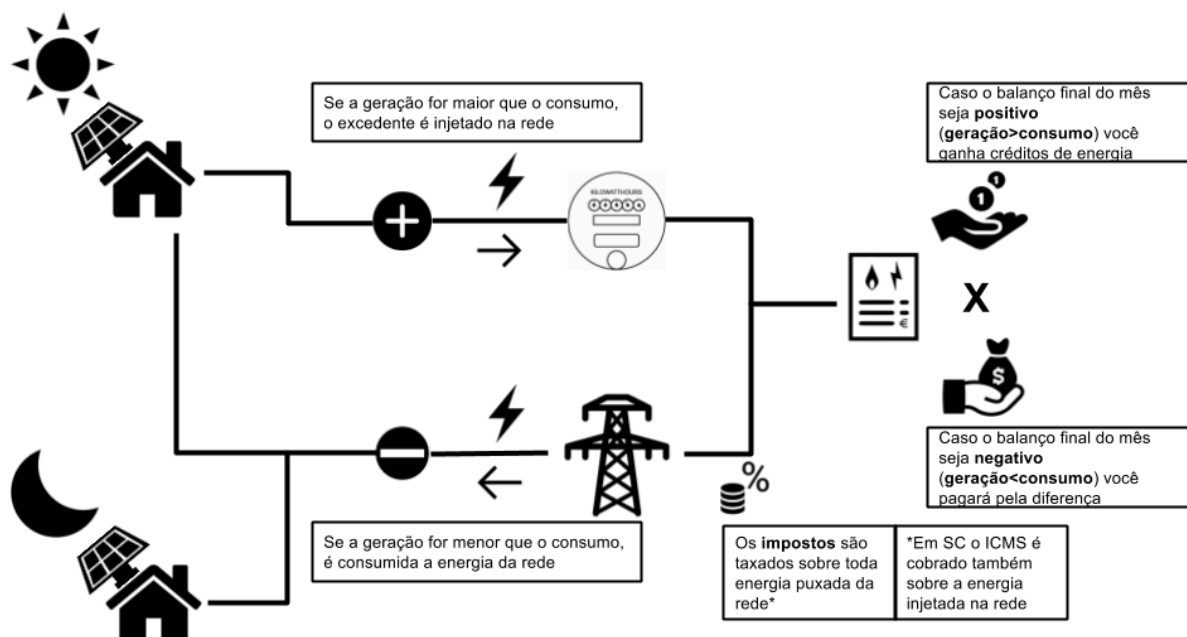


Figura 3.13- Fluxograma de cálculo energético para GD.

No que tange à tributação tarifária, há três tributos principais que incidem sobre o consumo elétrico, que são ICMS, PIS e COFINS. Em seguida são dados mais detalhes quanto a esses tributos e os dois últimos, por serem calculados e cobrados juntos, são abordados em um mesmo tópico:

- **ICMS:** O Imposto sobre Circulação de Mercadoria e Serviços é um tributo de esfera estadual, podendo então variar de um estado para outro. Quanto ao incidente sobre energia elétrica, desde 2013 ele era calculado baseado em toda energia que uma unidade consumidora extraia da rede, sem considerar a parte injetada na mesma. Contudo, em 2015, após conversas entre ANEEL, Ministérios pertinentes, Congresso Nacional e CONFAZ, foi revogada a base de cálculo de 2013 e entrou em vigor uma na qual considerava a energia injetada na rede pela unidade produtora/consumidora. Desta forma os estados que condescenderam com o Convênio ICMS 16/2015, agora calculam a alíquota com base na diferença entre a energia utilizada da rede e a energia injetada, enquanto os demais estados ainda utilizam a base de cálculo antiga (ANEEL, 2016a).
- **PIS/COFINS:** O Programa de Integração Social e a Contribuição para o

Financiamento da Seguridade Social são contribuições sociais de natureza tributária incidentes sobre micro e minigeradoras que passaram por uma mudança na forma de cobrança em outubro de 2015. Desde então, o PIS/COFINS passaram a incidir sobre a diferença positiva entre a energia consumida e a injetada. São tributos de nível federal e, portanto, são cobrados de maneira homogênea em todo o país (ANEEL, 2016a).

Para o caso em estudo, de várias unidades consumidoras distintas, com faturas em baixa tensão e outras em alta tensão, no estado de Santa Catarina, o ICMS vigente, de acordo com a CELESC (2017) em maio de 2017, é de 25% tanto para baixa quanto para alta tensão, sobre toda a energia consumida da rede independente do balanço energético. Ou seja, caso a unidade feche o mês com um saldo de energia injetada maior do que a consumida da rede, fechando o mês com créditos, ainda assim terá que pagar o ICMS referente a toda energia injetada e consumida da rede (CELESC, 2017a). Já o PIS/COFINS do mês de maio de 2017 é de 4,23%, porém vindo de uma queda nos últimos meses, por exemplo em setembro de 2016 esse valor era 6,73% (CELESC, 2017b)

Por fim, é importante ressaltar que a REN nº 482/2012 prevê que deve ser cobrado, no mínimo, o valor referente ao custo de disponibilidade para o consumidor do grupo B, ou da demanda contratada para o consumidor do grupo A, conforme o caso. Essa exigência existe para suprir os gastos que a fornecedora elétrica tem em disponibilizar, mesmo que não utilizada, energia para as unidades consumidoras. Para os consumidores do grupo B (com fornecimento em tensão inferior a 2,3 kV) monofásica, bifásica ou trifásica a cobrança é o equivalente a, respectivamente, 30 kWh, 50 kWh e 100 kWh; enquanto para consumidores do grupo A (com fornecimento em tensão igual ou superior a 2,3 kV) é a demanda contratada junto a distribuidora de energia (ANEEL, 2016a).

3.3. Estudo de caso: UFSC

A UFSC possui sede na cidade de Florianópolis, porém além desse município, possui outros quatro campi espalhados pelo interior do estado, reflexo de um projeto de expansão em Santa Catarina de 2009, localizados nas cidades de Araranguá, Curitibanos, Joinville e Blumenau (UFSC, 2017b). Este estudo restringiu a análise ao campus Trindade, que é localizado no bairro

de mesmo nome em Florianópolis.

A universidade em questão, posiciona-se na vanguarda da pesquisa e também na execução de projetos ligados à energia solar. Dentre os grandes responsáveis por esse posicionamento, destacam-se os grupos de pesquisas multidisciplinares voltados para temas ligados a fontes de energia ou de eficiência energética, englobando alunos de cursos como Engenharia Civil, Mecânica, Elétrica, Arquitetura e outros.

Há diversos projetos que utilizam energia solar FV no Brasil e que foram desenvolvidos por esses grupos ou laboratórios, como: a cobertura do Estádio Maracanã (RJ), Beira Rio (RS), Mineirão (MG), Pituáçu (BA), cobertura da Eletrosul de Florianópolis (SC), etc; todos desenvolvidos pelo Laboratório Fotovoltaica UFSC, o que mostra o reconhecimento nacional pelos avanços alcançados na instituição de ensino (FOTOVOLTAICA-UFSC, 2017).

Além de projetos espalhados pelo país, a própria universidade apresenta projetos de fomento ao desenvolvimento dessa tecnologia. O pioneiro foi o projeto de instalação do primeiro sistema FV integrado à arquitetura e conectado à rede no Brasil, em 1997, com uma potência instalada de 2 kWp (RÜTHER; DACOREGIO, 2000). Esse sistema ainda está em operação e produzindo energia dentro do previsto na época de sua instalação.

Há também outros sistemas FV em operação espalhados pelo campus Trindade da UFSC, como o do Centro de Cultura e Eventos (**Imagem 3.14**), brises do Centro de Convivência, posto no Colégio Aplicação e do posto no Hospital Universitário. Mais recentemente foi anunciada uma nova aplicação, para gerar energia para um ônibus elétrico que realiza o transporte entre o campus Trindade e o Sapiens Park desde março de 2017. Esse veículo é completamente elétrico, abastecido pela rede dos dois pontos ligados pelo ônibus, sendo o primeiro do tipo no Brasil (UFSC, 2016).



Figura 3.14- Módulos FV na cobertura e fachada frontal do Centro de Cultura e Eventos da UFSC (FOTOVOLTAICA-UFSC, 2017).

A presença de sistemas de geração de energia solar fotovoltaica espalhados pelo campus e especialmente iniciativas inéditas em escala nacional, como algumas das citadas acima, comprovam a força da universidade em poder ser a responsável por acelerar o crescimento desta fonte energética no Brasil. Contudo, para que esta evolução se concretize de vez, é necessária uma implantação ainda maior e mais ousada do que as já existentes.

Trabalhos mais recentes, desenvolvidos nos últimos dois anos, comprovam o consistente potencial e viabilidade de se instalar ainda mais sistemas FV na UFSC. De acordo com Custódio (2016), é possível integrar a geração de energia FV à arquitetura do local, sem prejudicar a eficiência do sistema, nem acarretar no comprometimento do espaço e da forma, tornando os módulos elementos de valorização do objeto arquitetônico.

Por fim, como explicado por Custódio (2016), existe ainda uma iniciativa nacional que começou junto à universidade catarinense, que é o projeto “Universidades Solares”, idealizado pelo Fotovoltaica UFSC. O projeto visa disseminar a energia solar nas universidades federais brasileiras, que hoje totalizam sessenta e três, instalando sistemas FV em cada uma dessas instituições de ensino para reduzir os gastos com energia, que em 2015 já totalizava R\$ 430 milhões (MME, 2017). As instalações podem ser através de usinas solares, em caso de abundância de terrenos disponíveis, ou por sistemas integrados à arquitetura, ótima opção para campus mais inseridos no meio urbano, como o campus Trindade da UFSC (CUSTÓDIO, 2016).

4. METODOLOGIA E PREMISAS

Neste capítulo serão apresentadas em uma primeira parte, os critérios e premissas adotados para a validação da proposição do trabalho, assim como a coleta de dados e procedimento de cálculos. Em seguida é explicado como foi feita a obtenção do consumo esperado para a UFSC em 2017 e outras peculiaridades quanto ao consumo elétrico da instituição, como a distribuição dele ao longo dos dias. Com estas informações, alguns resultados preliminares já poderão ser mostrados, especialmente os que dizem respeito ao consumo da UFSC.

4.1. Premissas

Aqui são explicadas as principais premissas adotadas e critérios utilizados para a realização dos cálculos referentes ao projeto. O primeiro tópico abordado diz respeito às áreas do campus e como elas se encaixam nas UC existentes no local. Em seguida são explicados os parâmetros mais importantes para os cálculos da geração esperadas, os relacionados aos sistemas FV. Os dois últimos tópicos são sobre a parte política (regulamentação e tarifas) e econômicos (premissas para análise do investimento).

4.1.1. Áreas e faturas

Para avaliar o potencial solar da UFSC, primeiramente é preciso entender os aspectos geográficos do local, como disponibilidade de coberturas, incidência solar e irradiação da cidade na qual ela está inserida. Quanto a disponibilidade das superfícies das edificações, segundo mapa elaborado pelo DPAE (2016), existem quatrocentos e trinta edificações no campus Trindade, totalizando 158.497,9 m² de cobertura. Apesar de parecer uma área grande, ela representa somente 0,79% dos 20 milhões de metros quadrados de área total do campus Trindade.

Distribuindo estas coberturas entre as edificações referentes às treze faturas do campus, 95% delas estão concentradas em somente três faturas: Cidade Universitária (70,36%), CTC (12,61%) e HU (12,03%). Essas três UCs somadas também correspondem a praticamente 80%

do consumo total do campus, além de serem todas da modalidade horossazonal (DPAE, 2016). Para informações completas de todas as faturas do campus, vide **Anexo A**.

Vale ressaltar que, no cálculo do espaço disponível para a instalação dos módulos, não foi utilizada toda a área levantada, mas somente 80% dela. Esta redução é feita para garantir um resultado mais seguro, garantindo o afastamento entre os módulos e possíveis áreas inutilizáveis da cobertura (beirais, alçapões e outros).

O módulo escolhido para o projeto possui uma área de 1,62 m² (0,99 x 1,64 m) e no caso de Florianópolis, como a inclinação recomendada para um módulo é de 27 graus (latitude da cidade), existe uma redução de aproximadamente 11% entre a área real do módulo completamente na horizontal e a área do módulo inclinado projetada no solo. Mais detalhes técnicos do módulo serão discutidos no item a seguir.

4.1.2. Aspectos do sistema FV

Para calcular a geração estimada da rede de módulos FV projetada, primeiramente foi utilizado o *software* Radiasol (<http://www.solar.ufrgs.br/#softwares>), que faz a estimativa de irradiação solar em qualquer orientação azimutal e inclinação dos módulos, baseado em dados globais de irradiação solar horizontal e quatro opções possíveis para o cálculo de seus componentes difusos. Para a obtenção da irradiação de cada mês, necessários como dados de entrada no *software*, foi utilizado o banco de dados do *Solar and Wind Energy Resource Assessment* (SWERA) para a cidade de Florianópolis (SWERA, 2017).

É importante destacar que a escolha desta base de dados é de suma importância, dado que, segundo Santos e Rütther (2013), a irradiação solar recebida num período anual é possivelmente o aspecto mais importante no estudo de implantação de um sistema FV. E como o SWERA já havia sido empregado em relevantes estudos na mesma região, optou-se por utilizá-lo para garantir a confiabilidade das informações. Para o modelo de radiação difusa foi escolhido o de Klucher, pois ele apresenta menores variações dos dados obtidos pelo SWERA para a região sul do Brasil, onde as latitudes são superiores a 20°, como é o caso de Florianópolis (27°) (SANTOS; RÜTHER, 2013).



Figura 4.1- Dados de entrada no Radasol.

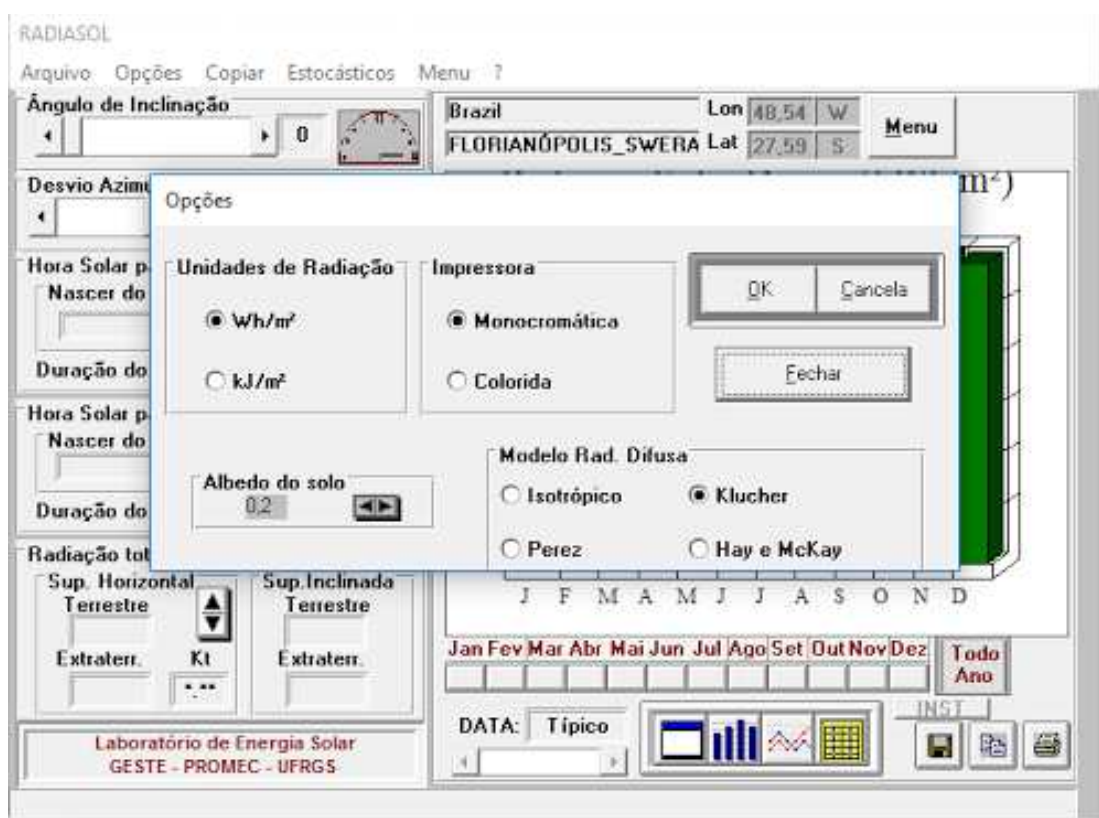


Figura 4.2- Dados de entrada no Radasol.

Para determinar a direção dos módulos, adotou-se como objetivo deixá-los os mais voltados para o norte possível, pois como já indicado por Santos e Rüther (2013), os maiores níveis de irradiação anual são obtidos quando eles estiverem virados para o equador (no caso de Florianópolis, para o norte geográfico). Para obter o desvio azimutal então, foi escolhida

como direção dos módulos a fachada mais voltada para o norte, pegando para cada uma das edificações utilizadas no estudo o seu desvio com essa direção. Contudo, estudos como o de Burger e Rüter (2005) mostraram que os desvios azimutais não têm um impacto tão grande em locais de baixa latitude, tal qual Florianópolis, como em locais de alta latitude. De fato, essa hipótese é confirmada por Santos e Rüter (2013), quando analisadas as perdas de eficiência de módulos FV decorrentes da variação de azimute e também de inclinação, como acompanhado na **Figura 4.3**.

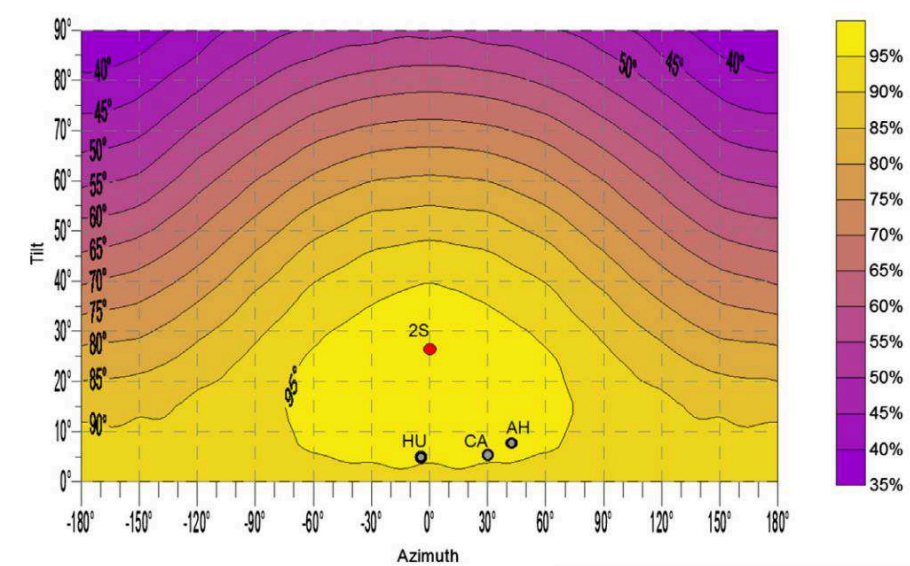


Figura 4.3- Variações na eficiência dos módulos de acordo com diferentes azimutes e inclinações (SANTOS; RÜTHER, 2013).

Como é possível ver, variações próximas de 70° entre a orientação dos módulos e o norte, não geram mais do que 5% de perda de eficiência na zona ótima de geração (faixa central inferior, com eficiência entre 100% e 95% do potencial total). Dado o impacto reduzido em um intervalo bastante grande de possíveis angulações, considerou-se para o trabalho variações no azimute arredondadas a cada 5° somente, com o intuito de simplificar os cálculos e causando um impacto irrisório ao resultado final.

Quanto a inclinação dos módulos, inicialmente havia-se o objetivo de colocar o maior número de módulos inclinados a 27° em relação a horizontal, dado que esta é a latitude de Florianópolis e usualmente é o melhor ângulo para posicionar módulos FV (SANTOS; RÜTHER, 2013). Contudo, como indicado por Santos e Rüter (2013), na prática o melhor

ângulo de inclinação na maioria dos casos é ligeiramente diferente da latitude local, e a melhor inclinação para Florianópolis é de 19°.

A obtenção mais precisa de cada inclinação das mais de quatrocentas edificações presentes no campus, demandaria um estudo de campo detalhado e oneroso, e que possivelmente não resultaria em grandes mudanças na geração total anual dos sistemas FV. Como visto na **Figura 4.3**, a inclinação na zona de perda de eficiência máxima de 5% vai de aproximadamente 5° a 40°, dando uma grande zona de geração ótima englobando diversas possíveis inclinações impostas por coberturas de edificações já existentes.

Mesmo com algumas inclinações diferentes nas edificações do campus, grande parte delas possui coberturas com baixa inclinação, possibilitando no caso da instalação de módulos FV, inserir a inclinação desejada a eles. Isso é normal na construção civil, onde as coberturas metálicas para edifícios comerciais e industriais são tipicamente inclinadas a 15° ou menos, fazendo com que a integração dos módulos fotovoltaicos à arquitetura existente resulte em perdas de menos de 5% para qualquer orientação do telhado (SANTOS; RÜTHER, 2013). Por esses motivos elencados, o estudo de geração foi feito somente para três inclinações, que consideram um cenário pessimista de módulos quase horizontais inclinados em 10°, um cenário ótimo considerando o melhor ângulo de 19° para o local e um cenário regular (antes tido como ótimo) com a inclinação igual à latitude local de 27° para confirmar de fato a melhor inclinação para os módulos no local.

Outra premissa técnica diz respeito ao sombreamento, que afeta negativamente o desempenho de um sistema FV. Um estudo específico dos efeitos de sombreamento causado por construções vizinhas, caixas d'água elevadas ou árvores ao redor da construção deve ser sempre realizado quando projetada a implantação desse tipo de gerador (SANTOS; RÜTHER, 2013). Para este estudo, foi realizada uma macro análise do campus através de imagens de satélite em 3D, obtidas pelo Google Maps (google.com/maps), e analisadas as edificações de maneira visual, desconsiderando as edificações cercadas por árvores ou com outras edificações com alturas bem superiores nas direções leste, oeste ou norte. Algumas das imagens avaliadas, com marcação de um “X” laranja nas edificações desconsideradas, podem ser vistas no **Anexo B**.

Contudo, os efeitos de sombreamento são bastante específicos e estão fora do escopo deste documento, por isso foi considerado um coeficiente de segurança aplicado sobre a irradiação total dada pelo *software* Radiasol. Esta margem dá uma segurança aos cálculos e é

conhecida como Taxa de desempenho (PR, da sigla em inglês *Performance Ratio*). Ela serve para cobrir eventuais perdas causadas por um pequeno sombreamento (1-2%), sujeira acumulada na superfície dos módulos FV, temperatura de operação dos módulos FV e outras possíveis perdas. Para os cálculos de geração dos sistemas propostos optou-se por considerar um PR de 80%, valor pouco abaixo do recomendado de 82,5% para a cidade de Florianópolis (DÁVI *et al.*, 2016).

Como última premissa referente a quesitos técnicos, optou-se por utilizar módulos p-Si. A opção por esse tipo de módulo foi para garantir uma boa eficiência de conversão para o sistema, mas sem necessitar utilizar a tecnologia mais cara no mercado, os m-Si, buscando maior viabilidade financeira para o projeto. Como opção de modelo, buscou-se um produto no catálogo da fabricante Yingli Solar (www.yinglisolar.com), marca conhecida e uma das maiores do mercado. Dentre as opções ofertadas, o modelo escolhido foi o YGE 60 CELL Series 2, que apresenta as seguintes informações técnicas:

- Dimensões de 1640 x 990 x 35 mm;
- Peso de 18,5kg;
- Potência nominal de 265 W (modelo intermediário do catálogo que varia de 275W a 250W);
- Eficiência do módulo de 18,5%;
- Garantia de vinte e cinco anos (YINGLI, 2017).

Com todos os parâmetros apresentados, é possível deduzir a equação para calcular a geração de energia elétrica esperada para os sistemas FV que seriam instalados no campus. As equações 1 a 3 estão reproduzidas conforme Kymakis, Kalykakis e Papazoglou (2009), parte de duas equações, de produtividade (Y , do inglês *yeld*) e da taxa de desempenho (PR) que podem ser vistas a seguir. A **Eq. 4** foi deduzida pelo autor.

$$Y_F = \frac{E \text{ [kW h}_{AC}] }{P_r \text{ [kW}_{DC}]}$$

Eq. 1.

Onde:

Y_f [hora de sol pico] é a Produtividade Final,

E [kWh] é a geração de energia elétrica estimada (anual ou mensal) para o sistema FV considerado,

P_r [kW] é a potência nominal do módulo FV considerado.

$$\text{Eq. 2.} \quad Y_R = \frac{H_t \text{ [kW h/m}^2\text{]}}{1 \text{ kW/m}^2}$$

Onde:

Y_r [hora de sol pico] é a Produtividade Referencial,

H_t [kWh/m²] é a irradiância do local que incide sobre os módulos,

P_r [kW] é a potência nominal do módulo FV considerado.

$$\text{Eq. 3.} \quad PR = \frac{Y_F}{Y_R}$$

Onde:

PR [%] é a taxa de desempenho,

Y_f [hora de sol pico] é a Produtividade Final,

Y_r [hora de sol pico] é a Produtividade Referencial.

Com essas três equações, substituindo as da **Eq.1** e **Eq.2** nas variáveis da **Eq.3** e isolando E (geração elétrica em corrente alternada), chega-se a equação de geração esperada para cada módulo (**Eq.4**).

$$\text{Eq. 4.} \quad E \text{ [kW h}_{AC}\text{]} = \frac{PR \cdot P_r \text{ [kW}_{DC}\text{]} \cdot H_t \text{ [kW h/m}^2\text{]}}{1 \text{ kW/m}^2}$$

Onde:

E [kWh] é a geração de energia elétrica estimada (anual ou mensal) para o módulo FV considerado,

Pr [kW] é a potência nominal do sistema FV considerado,

Ht [kWh/m²] é a irradiação (anual ou mensal) efetivamente incidente sobre os módulos FV (já descontando as perdas de sombreamento),

PR [%] é a Taxa de Desempenho do sistema FV considerado.

A **Eq.4** resulta em uma produção elétrica para cada módulo, portanto, para obter a geração total do sistema, deve-se multiplicar ainda este valor pelo número de módulos em cada sistema. Além disso, o *software* Radasol dá a irradiância diária para cada mês e como a geração é calculada na escala mensal, foi necessário ainda multiplicar o resultado da equação acima pelo número de dias em cada mês, para finalmente obter-se o valor de geração elétrica mensal. Quanto aos sistemas mencionados, eles foram divididos de acordo com o azimute, onde foram somadas as áreas de todas edificações que possuíam o mesmo azimute após o arredondamento e calculados o número de módulos que caberiam naquele espaço.

Para dividir os cálculos de geração, foram feitos três níveis de divisão: o primeiro levando em consideração as três angulações (10°, 19° e 27°), depois considerando os azimutes arredondados a cada 5° e segmentados em módulo (0° a 40°) e por último, segmentado para cada mês do ano.

4.1.3. Aspectos políticos e de precificação

O consumo do local de estudo será melhor debatido e aprofundado no tópico a seguir deste trabalho, analisando seu histórico, distribuição horária e projeção futura. O que merece maior destaque aqui é o regime de precificação na qual o campus Trindade está inserido. Pela sua localização, a instituição é abastecida pela comercializadora e distribuidora do estado de Santa Catarina, a CELESC, na qual realiza a cobrança do ICMS sobre toda energia elétrica utilizada da rede, mesmo que compensada através da injeção na rede posteriormente, como comentado no **Item 3.2.4**.

Considerando os 26 estados da união e o Distrito Federal, até o final de 2016, vinte e um já haviam aderido à isenção de taxaço do ICMS para toda energia utilizada pela rede com

GD, calculando a cobrança somente sobre o excedente consumido após descontar a energia produzida (MME, 2016b); ficando Santa Catarina na minoria que ainda não atualizou sua legislação de forma que fomente ainda mais o aspecto econômico de sistemas de GD. Dado o caráter de modalidade tarifária variada da UFSC, a taxaço também varia de fatura para fatura, pois o ICMS de baixa tensão é de 25% (demais classes), o mesmo para o de alta tensão (CELESC, 2017c). Os outros dois impostos, o PIS e o COFINS, como também abordados no **Item 3.2.4** são da esfera federal e, portanto, também incidem sobre as contas da instituição em questão, porém sendo cobrados somente sobre a diferença positiva entre utilização da rede de distribuição e geração própria (ANEEL, 2016a).

Ademais, por possuir faturas de alta tensão, a UFSC também paga um valor pela demanda instalada, parte no regime convencional e parte no horossazonal verde, que é basicamente a energia solicitada pela pagante por um tempo determinado, que deve ser continuamente disponibilizada pela distribuidora (ANEEL, 2010). Para este regime, existe um pagamento pela demanda contratada, mas que poderia ser reduzido a valores mínimos caso a universidade se tornasse autossuficiente em geração. A investigação pormenorizada destes aspectos não faz parte do escopo do trabalho e dada a grande quantidade de variáveis, seria necessário um trabalho exclusivamente voltado a essa óptica.

4.1.4. Aspectos econômicos

É possível calcular um cenário simplificado para estimar a viabilidade econômica aproximada desse empreendimento, todavia a análise de custos não é o enfoque deste projeto. De qualquer forma, foi realizada uma abordagem simplificada do conjunto de variáveis envolvidas em uma análise econômica da geração fotovoltaica para estimar sua viabilidade aproximada, consideram-se então como passivos os custos de projeto e instalação dos sistemas FV e os custos de operação e manutenção (O&M) dos mesmos (englobando a troca de inversores), e como ativos o custo evitado correspondente à economia decorrente da geração estimada de energia elétrica caso os sistemas FV estivessem operando a partir do dia 1 de janeiro de 2017 (ou seja, o valor que seria pago a mais na fatura da CELESC, caso a energia FV gerada fosse consumida da CELESC). O período escolhido para estudo foi de vinte e cinco anos, tempo de garantia dada pelo fornecedor dos módulos e equivalente a vida útil dos mesmos.

Nesta análise, são desconsideradas as despesas no pagamento de demanda, ICMS sobre a energia “emprestada” da rede para compensar a injetada e outros dispêndios pertinentes a um projeto mais direcionado ao aspecto econômico. Como explicado no **Item 4.1.3** este seria o caso para Santa Catarina, mas a análise levando em consideração o balanço de consumo e injeção tornaria esta parte mais complexa do que o escopo do trabalho. Portanto, considerou-se a incidência de impostos somente sobre o balanço positivo deixado mês a mês pela GD.

Ainda na esfera tarifária, admitiu-se que os valores pagos por kWh seriam iguais durante os anos seguintes e cresceriam, de um ano para o outro, de acordo com a inflação anual registrada para o ano de 2016, que foi de 6,29% (IBGE, 2017). As tarifas utilizadas como partida para o ano de 2017 foram as mais atualizadas pela distribuidora CELESC (2017), adicionada a aplicação dos impostos de ICMS, considerado como 25% para “Demais Classes”, e PIS/COFINS de 4,5% ao mês, ambos sem variar ao longo dos vinte e cinco anos analisados. Os valores tarifários foram validados também através da conferência das faturas da universidade para o mês de janeiro de 2017.

Caso não atingida a geração total necessária ao local, para o pagamento da diferença deixada pela geração esperada pelos sistemas FV, aplicar-se-á um desconto de 80% exclusivamente para a parte do kWh que diz respeito ao Tarifa do Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) durante os dez primeiros anos do projeto, como regulamentado pela REN n°481/2012 (ANEEL, 2012), assumindo que os módulos entrariam em operação em primeiro de janeiro de 2017. Para encontrar os valores pertinentes somente a TUSD, foi utilizada a Resolução Homologada n° 2.120/2016 (ANEEL, 2016c) regulamentadora para parte do ano de 2016 e parte de 2017. Este valor com desconto, comparado com o preço que seria pago sem a dedução, também foi computado como ativo gerado pela implantação do projeto.

Para estas análises mais minuciosas, quebrou-se o consumo esperado para 2017 em três grupos: Baixa tensão, Alta tensão (A4-Verde) fora ponta e Alta tensão (A4-Verde) ponta. Para esta projeção foram utilizados os mesmos critérios que serão apresentados no **Item 4.2**, utilizados para o consumo total da UFSC para o mesmo período. Também se assumiu que o consumo para todo o tempo analisado se manterá igual ao de 2017, já que uma projeção para um intervalo tão longo demandaria um histórico de dados muito mais robusto e a tendência que se observa na universidade é de redução de custos (como apresentado no **Item 4.2**), sendo a premissa adotada visando a segurança então.

Quanto aos módulos, foi adotada uma redução de 0,5% ao ano na eficiência deles,

consequentemente da energia gerada por eles, e um custo de O&M de 1% ao ano do valor total do sistema FV (projeto, instalação, estruturas, equipamentos e demais componentes), taxa esta que já engloba a troca dos inversores, comumente realizada a uma vez a cada período entre 10 a 15 anos (MONTENEGRO, 2013). Para precificação da instalação, foi utilizado o valor de 6.140 R\$/kWp instalado (chave-na-mão), valor retirado de um levantamento de preços no mercado brasileiro, feito pelo Ideal (2016) e que considerou empresas fabricantes/revendedoras de módulos FV e/ou inversores. Pode-se dizer que foi um valor conservador, pois um projeto de maior porte como este, conseguiria um poder de negociação e barganha com grandes fornecedores muito maior do que os considerados no levantamento.

Como prioridade de abatimento das faturas pela energia gerada, foi primeiramente abatida sempre as faturas de baixa tensão e posteriormente as de alta tensão fora ponta; essa escolha foi feita pois a baixa tensão apresenta os maiores valores de tarifa elétrica (R\$/kWh) e, portanto, seria economicamente mais benéfico abatê-los por completo. Depois as de alta tensão fora ponta, pois é um consumo mais alinhado com a geração dos módulos, já que nos horários de ponta (após às 18h sempre) há pouco ou nenhuma produção de energia solar também. Por fim, as de alta tensão ponta, que precisam de um fator de ajuste para calcular qual seria o valor de kWh que realmente poderia ser utilizado para abater este consumo. É importante destacar que todas essas premissas de ordem de abatimento de consumo foram realizadas de maneira simplificada, já que o balanço preciso delas demandaria uma análise a fundo de produção por edificação, por UC e por tipo de produtora que a UFSC seria (condomínio, geração compartilhada ou outro).

4.2. Consumo energético da UFSC

Como brevemente mencionado anteriormente, a UFSC possui 13 unidades consumidoras no campus Trindade que se dividem em Baixa Tensão, Alta Tensão Horossazonal e Alta Tensão Convencional (DPAE, 2016). O **Apêndice A** mostra a categoria de cada uma das unidades consumidoras, além de outras informações destacadas no **Item 4.1**.

Para esse trabalho, foi analisado o histórico das faturas da instituição desde 2011, pois já seria um espaço amostral suficiente para analisar o consumo elétrico da instituição e também suficiente para realizar sua projeção para o ano de 2017 inteiro. O total (kWh/ano), independente da tensão e modalidade, pode ser visto na **Figura 4.4** a seguir.

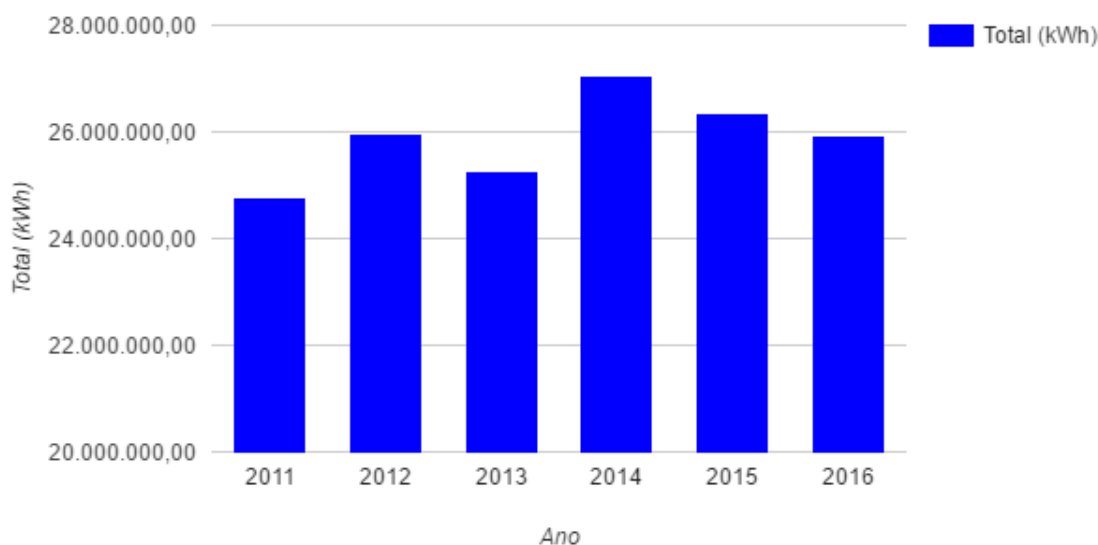


Figura 4.4 - Consumo total do Campus Trindade de 2011 a 2016, considerando BT e AT (DPAE, 2017).

Percebe-se que existia uma variação um tanto quanto instável de um ano para o outro até 2014, quando se atingiu um pico de consumo e depois foi seguido por dois anos de redução. Esta instabilidade entre 2011 e 2013 faz com que seja difícil e impreciso extrapolar dados para o futuro e realizar uma estimativa de consumo confiável para 2017. Desta forma, optou-se por utilizar somente os três últimos anos para desenhar um padrão de consumo esperado para 2017, para dar maior confiabilidade e precisão na estimativa através da utilização de um cenário mais atualizado e constante. Como serão utilizados três anos para a projeção de somente um, ainda é o suficiente para atingir uma regressão linear suficientemente adequada.

A redução do consumo nos últimos três anos é, à primeira vista, peculiar se considerado que no decorrer do ano de 2013 se teve início a operação de uma nova unidade consumidora, referente ao novo prédio do setor administrativo da direção da universidade, a Reitoria II, completando sua total ocupação no início do ano. Contudo, no início desse período, para quem pode acompanhar o dia a dia na universidade, observou-se um processo de troca de máquinas de ar condicionado antigas e com baixa eficiência energética, por novas, com eficiência energética superior. Também tomaram curso diversas campanhas de conscientização para a redução do desperdício de energia elétrica, incentivando o uso dos aparelhos de ar condicionado a temperatura de 23°C e de desligamento das lâmpadas nas salas de aula após a saída de todas as pessoas do recinto.

Esses valores de consumo dos últimos três anos foram a base para a regressão linear na qual calculou-se o consumo estimado para cada mês de cada fatura analisada para o ano de 2017. Como visto na **Figura 4.4**, pode-se acompanhar uma tendência de moderada redução de consumo da UFSC, especialmente em determinadas faturas como a Moradia UFSC e o Centro Desportivo. Nestes casos onde a redução vem sendo mais drástica, a projeção da regressão linear chegava a indicar valores negativos para alguns meses de 2017. Como isto não é possível, por opção de segurança, optou-se por manter o valor do consumo desses casos igual ao mesmo período da mesma fatura do ano de 2016, admitindo-se assim que o patamar atingido no último ano é o mínimo daquela fatura. Esses casos podem ser observados no **Apêndice C**, nos meses de fevereiro e Março da UC Moradia UFSC, e Agosto, Setembro e Novembro da UC Centro Desportivo. O impacto dessa mudança pode ser visto na **Tabela 4.1** a seguir (diferença entre projetado e adotado).

Na mesma **Tabela 4.1** também é possível acompanhar a diferença na estimativa de consumo se considerado os anos de 2011 a 2013. Com esse período incluso, haveria uma inversão da tendência de decréscimo no consumo, tendo uma diferença de pouco mais de 1,2 milhão de kWh se comparado com o cenário adotado, equivalente a quase 5% a mais que ele. Para confirmar o cenário adotado, foi validado em conversas com uma responsável da área de energia do DPAE, Juliana de Alano Scheffer, que de fato o esperado para a UFSC em 2017 era mais uma redução no consumo elétrico como acompanhado nos últimos dois anos, especialmente pelo verão mais ameno que passou nos primeiros meses do ano. Para melhor acompanhamento do resultado mês a mês da regressão feita, vide **Anexo C**.

Tabela 4.1- Consumo total do Campus Trindade de 2011 a 2016 em kWh, considerando BT e AT, e com projeção para 2017 (DPAE, 2017).

Ano	Total (kWh)
2011	24.780.799,00
2012	25.970.951,00
2013	25.254.811,00
2014	27.063.964,00
2015	26.368.028,00
2016	25.926.559,00
2017 (projetado)	25.315.445,33
2017 (2011-2013)	26.767.103,73
2017 (utilizado)	25.542.667,64

Dessa forma, o consumo esperado para a UFSC, segmentado por mês e consideradas já as adaptações mencionadas, é visto na **Tabela 4.2**.

Tabela 4.2- Consumo total mensal adotado para 2017 no Campus Trindade, considerando BT e AT.

Mês	Consumo (kWh)
Janeiro	1.976.939,64
Fevereiro	2.255.823,00
Março	2.591.379,33
Abril	3.047.202,67
Maio	2.017.475,67
Junho	1.978.569,67
Julho	1.781.150,67
Agosto	1.907.698,00
Setembro	1.999.984,33
Outubro	1.998.496,00
Novembro	2.060.066,33
Dezembro	1.927.882,33
Total	25.542.667,64

Quanto à distribuição do consumo ao longo do dia, antes da análise dos dados já se havia

a suspeita de que a distribuição estaria mais concentrada em torno dos horários mais quentes do dia, perfil de consumo esperado para um local com bastantes máquinas de ar condicionado. Pegando uma semana aleatória recente do histórico de medições, observou-se que a hipótese era verdadeira, sendo os dois picos da UFSC Trindade durante a semana entre às 09:30 e 10:30 e o principal das 13:30 até às 14:30. Esses dados foram retirados de uma medição realizada pelo DPAAE e analisada uma semana qualquer que não possuía feriados, neste caso entre os dias 07/11/2016 e 13/11/2016. O resultado da média de consumo desta semana (dias úteis) pode ser visto na **Figura 4.5**.

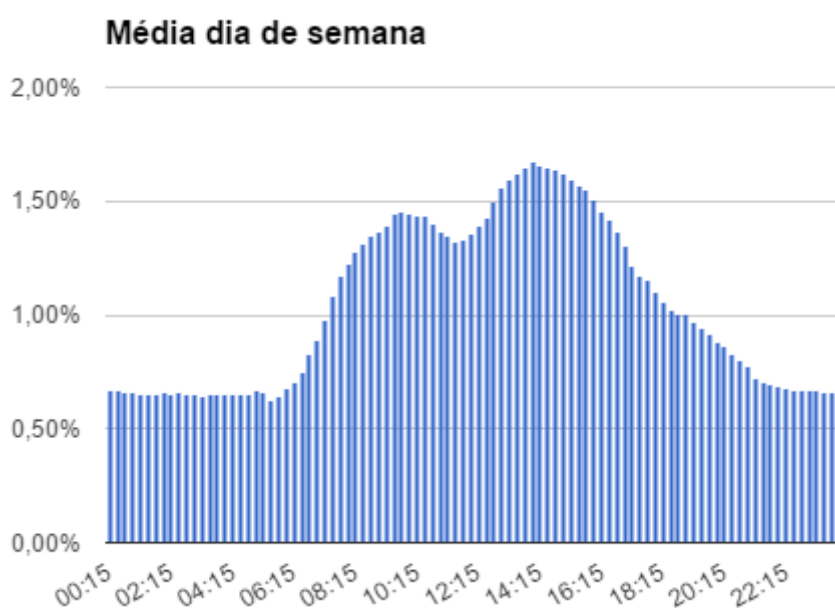


Figura 4.5- Distribuição percentual do consumo total diário da UFSC durante a semana, com o percentual do consumo total dividido em períodos de quinze minutos (DPAAE, 2017).

Já aos finais de semana o cenário é diferente, onde além de ter um consumo bem menor, os picos também são o inverso dos de dias úteis. Esta diferença pode ser vista na **Figura 4.6** e ocorre provavelmente pois aos finais de semana quase não há aulas no campus, não tendo assim grandes usos de aparelhos de refrigeração. O consumo majoritário fica em decorrência da iluminação do campus então, que é mais intensa na madrugada e à noite.

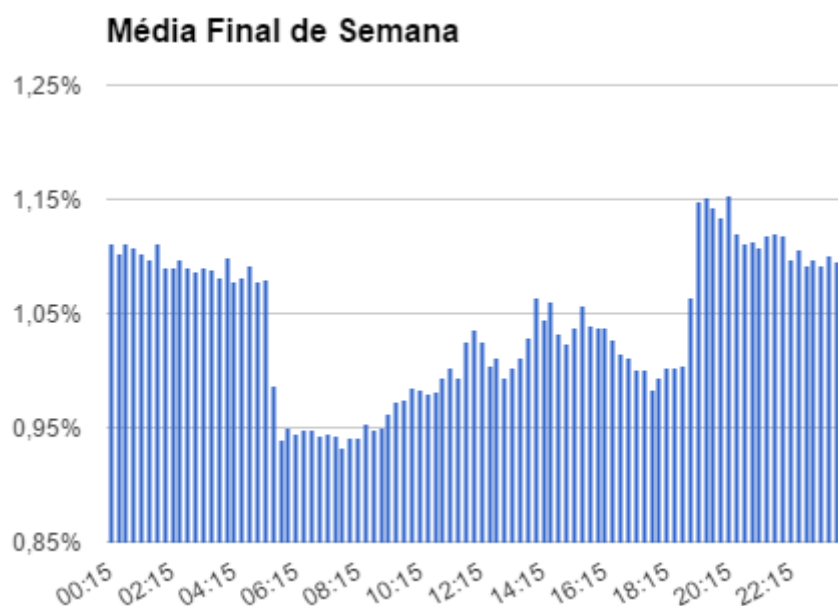


Figura 4.6- Distribuição percentual do consumo total diário da UFSC aos finais de semana, com o percentual do consumo total diário dividido em períodos de quinze minutos (DPAE, 2017).

O perfil de consumo apresentado é positivo no quesito de balanço com o meio de produção FV, pois assim como em estabelecimentos comerciais de médio porte ou locais industriais, os seus picos de consumo também ficam entre essas horas mais quentes do dia, que pelo que pode ser visto é quando o consumo é maior devido aos sistemas de ar condicionado (LACCHINI; RÜTHER, 2015). Picos de produção e consumo em paralelo na grande parte dos dias úteis são positivos pois permitem que seja necessária menor utilização da rede, e conseqüentemente o menor pagamento de conta de luz, já que não há incidência de ICMS sobre energia gerada e consumida sem injetar/puxar da rede de distribuição, como é feito no balanço energético quando há medição bidirecional. Também deixa o acompanhamento da fatura elétrica mais descomplicado, com menos registros de entrada e saída de energia ao longo de um mesmo dia.

5. RESULTADOS

Este capítulo irá demonstrar os resultados encontrados na pesquisa, seguindo a metodologia e premissas previamente explicadas. Também apresenta as primeiras conclusões mais específicas de cada ponto apresentado. A divisão do capítulo foi feita em três esferas de análise de viabilidade: técnica (relacionada à suficiência de sistemas FV), política (relacionada a regulamentações normativas) e econômica (diz respeito ao retorno do investimento proposto).

5.1. Viabilidade Técnica

Com a pesquisa dividida em etapas, os resultados da primeira delas foram referentes a divisão das edificações existentes em grupos de acordo com a orientação de suas fachadas mais voltadas ao Norte. O levantamento foi feito através de um mapa base de AutoCAD e medido no próprio *software*. Os resultados compilados do levantamento podem ser vistos na **Tabela 5.1**, onde na última linha estão representadas as 33 edificações desconsideradas por excesso de árvores ou prédios mais altos (não ao sul) em seus arredores, além das 70 edificações muito pequenas (menos de 12,5m² de cobertura) que eram de difícil análise e representavam uma parcela irrisória de áreas edificadas. Os ângulos apresentados englobam tanto os orientados a leste, quanto oeste, sendo representações então do desvio angular em módulo com relação ao norte geográfico.

Tabela 5.1- Divisão de áreas e número de módulos pelo azimute da edificação, com o valor dos ângulos em módulo e inclinação dos módulos de 19°.

Azimute (módulo)	Módulos	80% da área	Qtd. de coberturas
0	2.248	3.462,41	13
5	31.286	48.180,75	106
10	7.799	12.010,78	45
15	2.687	4.138,47	16
20	1.299	2.000,66	10
25	2.756	4.243,84	15
30	7.496	11.543,83	29
35	15.921	24.517,74	67
40	4.913	7.565,5	26
Total	76.405	117.663,98	327
Desconsideradas	-	9134,332	103

Nota-se que a faixa de azimute entre 2,5° a 7,5° (5° arredondado) engloba a maior parcela da área de edificação e conseqüentemente a orientação da maior parte dos módulos (40,95%), seguida pela faixa que arredonda recai sobre o azimute de 35°, que representa a segunda maior fatia deste total (20,84%). Também se destaca que, de uma maneira geral, as construções da UFSC apresentam um bom potencial de geração solar no que tange à sua direção, pois 54,1% dos módulos ficariam orientados dentro de um desvio máximo de 10° em relação ao norte, representando pouquíssimas perdas se comparados à direção ideal (0°).

Por parte de coberturas e áreas, foram utilizadas 76,05% das coberturas (327 de 430), mas que representam uma parcela bem maior de área, de 92,80% das áreas úteis de edificação disponíveis. Já a quantidade de módulos também impressiona, dada a vasta área disponível para a aplicação deles (equivalente a 148 campos de futebol); como parâmetro de comparação, a terceira maior usina solar em operação no Brasil em junho de 2017, a Cidade Azul, possui 19.424 módulos fotovoltaicos (ENGIE, 2014), quase quatro vezes menos do que os 76.405 possíveis de instalação na UFSC se orientados a 19° de inclinação.

Sabendo a disposição, direção e quantidade de módulos disponíveis para o local, partiu-se então para a etapa de levantamento do potencial de geração elétrica deles. Para isso, foram consideradas três inclinações, uma de 10° considerando coberturas mais planas e que os módulos não poderiam ficar muito inclinados para evitar aparecerem no topo das edificações, outra de 19° que seria a geração ótima segundo bibliografia apresentada, e outra de 27° que

também deveria apresentar ótimo desempenho por ser igual a latitude da cidade, recomendação usualmente adotada.

Todos os três arranjos apresentaram uma geração suficiente para atender o consumo do campus, onde os resultados apresentaram uma geração anual estimada na casa dos 109% do consumo esperado para 2017, com a diferença variando na primeira casa decimal. Os resultados compilados na escala anual podem ser vistos na **Tabela 5.2**. É interessante notar a baixa diferença na geração total entre as três opções de inclinação, dando maior facilidade para aplicar um projeto desse tamanho já que as diferentes inclinações de coberturas presente no campus não geram grandes perdas aos sistemas como um todo. Também é possível ver que a UFSC possui potencial solar FV suficientemente grande para atender todo seu consumo e ainda sobrar uma grande margem para casos de pico inesperado de consumo.

A margem obtida, de quase 10%, mostra que alguns grupos de edificações poderiam nem ser utilizados que ainda sim seria possível gerar energia suficiente para a UFSC no ano de 2017. Poderia-se desconsiderar todas as coberturas de edificações das seguintes combinações, de acordo com o grupo de azimute arredondado na qual elas se enquadram: as de 0°, 15° e 20° (8,16% das áreas e 11,93% das coberturas), ou as de 15°, 20° e 25° (8,82% das áreas e 12,54% das coberturas), ou as de 20° e 40° (8,13% das áreas e 11,01% das áreas).

Tabela 5.2- Comparação entre os diferentes cenários de geração e o consumo esperado para 2017.

	10°	19°	27°
Total gerado (kWh)	27.936.164,48	28.079.084,41	27.867.904,20
% do total p/ 2017	109,37%	109,93%	109,10%
Diferença (kWh)	2.393.496,84	2.536.416,77	2.325.236,56

Para entender melhor a distribuição da geração esperada, o **Apêndice D** contém três tabelas com as produções mês a mês dos sistemas obtidas variando de acordo com o ângulo de inclinação. E para uma análise visual da diferença ao longo do ano que a inclinação impacta na produção de energia, a **Figura 5.1** compara em uma escala mês a mês, em kWh, o consumo esperado em 2017 e a geração para cada inclinação.

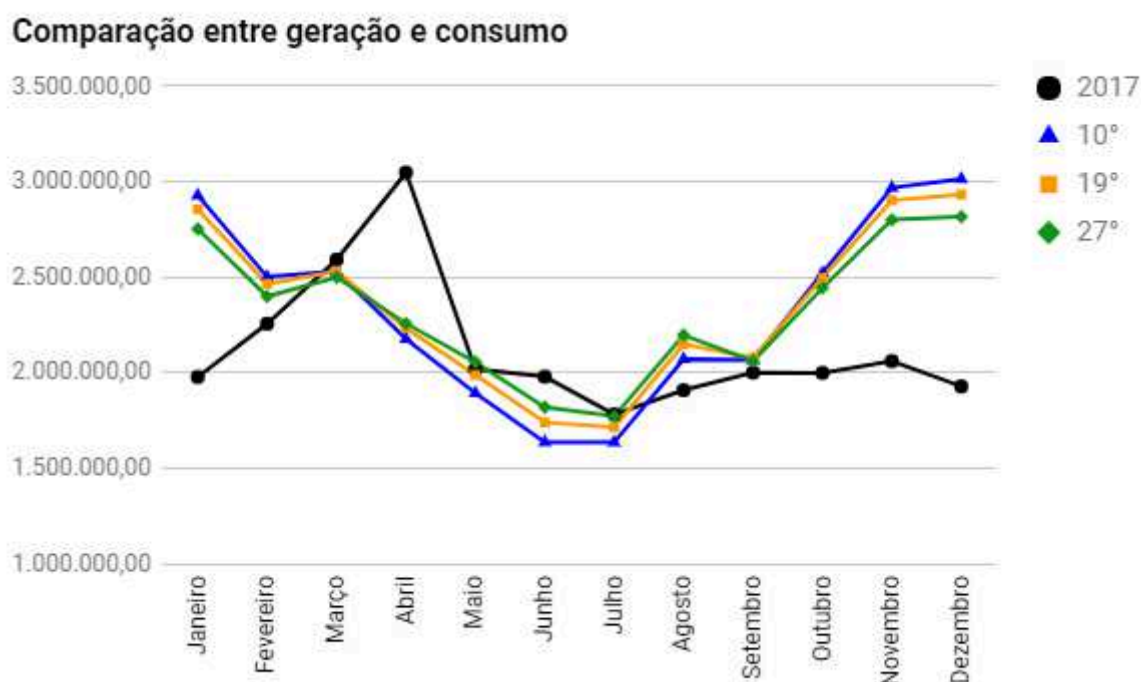


Figura 5.1- Gráfico de comparação entre consumo e gerações possíveis para 2017.

No gráfico fica ainda mais evidente a mínima diferença na geração esperada para os sistemas mesmo com os ângulos de inclinação apresentando uma amplitude de 17°, comprovando o que já havia sido indicado por Santos e Rütther (2013). O período entre agosto e dezembro é muito positivo para o balanço energético, onde a produção elétrica de qualquer uma das três inclinações seriam o suficiente para atender ao consumo projetado. Destaque ainda maior para os últimos três meses do ano, onde há a maior diferença entre consumo e gerações possíveis.

Já nos meses de abril, maio e junho o consumo é maior do que a geração esperada para o mês. No primeiro mês (abril) pois é geralmente o primeiro mês completo com aulas e os outros dois (maio e junho) devido a grande redução na geração de energia FV. Esse pico no uso de eletricidade no mês de abril foi em decorrência de um grande crescimento de consumo de 2015 para 2016, o que influenciou a projeção para 2017. Das três principais faturas, houve crescimento nesse período de 21,16% na UC Cidade Universitária, 18,11% na UC do Hospital Universitário e de 29,66% na UC CTC, além de 34,59% na UC da Reitoria II (quarta maior fatura) e outras taxas desproporcionais em UCs menos representativas, como 169,49% na UC UFSC-NETI e 547,82% na UC do DAE.

Finalmente, ainda pode-se acompanhar na **Figura 5.1** que no cenário mais otimista (19°), é possível gerar mais energia do que a consumida em sete meses do ano, entre Agosto e Fevereiro. Nos meses mais frio, de Maio a Julho, e no mês de pico e o que o antecede, Abril e Março, não é possível atender a UFSC no balanço mensal; Mas destes cinco meses de débito, em 3 deles (Março, Maio e Julho) os valores de consumo e geração ficariam praticamente equivalentes. Nestes casos, teriam que ser utilizados os créditos de energia gerados nos demais meses para suprir o deficit e cobrir assim o consumo total anual, mas não as despesas com a conta de eletricidade.

5.2. Análise Política

Quanto à parte política, havia no início do trabalho uma incerteza quanto à viabilidade legal do projeto, pois a normativa que regulamenta a geração distribuída (n° 687) é contraditória para a faixa de geração na qual o projeto, de aproximadamente 20 MW, se enquadra. No Artigo 1° (atualização do Artigo 2° da resolução anterior) item II, existe uma margem para interpretação que permitiria a implantação desse projeto na UFSC, pois tendo a instituição 13 unidades consumidoras distintas no campus trindade, cada uma possibilitaria uma potência instalada de 5 MW (65 MW no total) e enquadrando a compensação no autoconsumo remoto.

Contudo, na mesma resolução, no Artigo 2° (atualização do Artigo 4° da resolução anterior) § 3° é definido que:

É vedada a divisão de central geradora em unidades de menor porte para se enquadrar nos limites de potência para microgeração ou minigeração distribuída, devendo a distribuidora identificar esses casos, solicitar a readequação da instalação e, caso não atendido, negar a adesão ao Sistema de Compensação de Energia Elétrica.

Esta restrição inviabilizaria o projeto, porém seria uma contradição de uma passagem anterior da mesma resolução. Para uma melhor interpretação desta ambiguidade, foi necessária a análise dos votos da audiência pública de elaboração da n° 687. Neles existe o registro da seguinte passagem, na parte II 1.1 item 20:

Adicionalmente, algumas contribuições sugeriram a tentativa de violar os limites de potência instalada estabelecidos na norma. Tendo em vista que a norma foi construída com o intuito de reduzir barreiras para a geração distribuída de pequeno porte – devido aos benefícios que a geração próxima a cargas pode trazer para as redes – veda-se também a partição de uma central geradora de grande porte em diversos micro ou minigeradores distribuídos.

Desta forma, recai-se novamente sobre uma regulamentação, desta vez nos Procedimentos de Rede do ONS submódulo 26.2 (ONS, 2015), que define uma instalação como central geradora somente a partir de 30 MW instalados. Desta forma, existe uma dada ausência de legislação no intervalo de potência instalada entre 5 MW e 30MW, possibilitando interpretações distintas. Presume-se então que o projeto em si não é irregular, mas também não se enquadra perfeitamente nas normas publicadas até então, possibilitando assim uma brecha para argumentação em defesa de sua viabilidade.

Contudo, em troca de *e-mail* com um especialista em regulamentação da ANEEL (mensagem recebida em 22/05/2017), Marco Aurélio Lenzi Castro, foi informado que o projeto seria legal se cada unidade consumidora da UFSC tivesse até 5 MW de potência instalada (LENZI, 2017). Como existem várias UC no campus, seria permitido que cada uma possuísse até 5 MW e assim possibilitando a instalação de até 65 MW de potência instalada no local.

Contudo, a maior parte das áreas de coberturas das edificações encontram-se somente em uma UC, a da Cidade Universitária (70,36% das áreas). Dessa forma, o projeto se tornaria legalmente inviável pois somente essa UC concentraria em torno de 14 MW dos mais de 20 MW do projeto. Um estudo mais específico de membros do órgão regulamentador (ANEEL) seria necessário para avaliar a proposta de projeto e então julgar se outras saídas seriam possíveis, como por exemplo assumir que parte do excedente instalado na UC Cidade Universitária poderia se encaixar no tipo condomínio com GD (juntamente com outras UC menos utilizadas no projeto).

5.3. Análise Econômica

Para a instalação dos sistemas FV com os 76.405 módulos FV projetados, com potência total 20.247 kWp, foi estimado um custo de um pouco mais que R\$ 124 milhões; e mesmo sendo provável que para o caso de um projeto deste porte e impacto em uma universidade pública, houvesse abatimentos de custo ou financiamentos por parte do governo, não foi considerado nenhuma premissa positiva quanto a isso. Além de considerar um valor levantado para projetos bem menores, de somente 5 kWp, que poderiam ser bem inferior para um projeto de grande escala como o apresentado, dado seu maior poder de barganha e compra em enorme quantidade. De qualquer forma, o valor adotado, juntamente com os custos de O&M, adotados

como passivos do projeto, podem ser vistos na **Tabela 5.3** a seguir que contém os custos do projeto ao longo dos vinte e cinco anos analisados.

Tabela 5.3 - Passivos do projeto no período abordado.

Ano	Valor sistema (R\$)	Gastos O&M (R\$)
2017	124.318.575,50	124.318,58
2018	0	124.318,58
2019	0	124.318,58
2020	0	124.318,58
2021	0	124.318,58
2022	0	124.318,58
2023	0	124.318,58
2024	0	124.318,58
2025	0	124.318,58
2026	0	124.318,58
2027	0	124.318,58
2028	0	124.318,58
2029	0	124.318,58
2030	0	124.318,58
2031	0	124.318,58
2032	0	124.318,58
2033	0	124.318,58
2034	0	124.318,58
2035	0	124.318,58
2036	0	124.318,58
2037	0	124.318,58
2038	0	124.318,58
2039	0	124.318,58
2040	0	124.318,58
2041	0	124.318,58
Total	124.318.575,50	3.107.964,39

Após a distribuição do consumo de 25.542.667 kWh esperado para 2017 (e admitido para todos os anos seguintes nesta parte) entre os três tipos de segmentação escolhidos, foram

encontrados os valores anuais de 176.963 kWh para baixa tensão (0,69% do total), 23.168.049 kWh para alta tensão fora ponta (90,70%) e 2.197.665 kWh para alta tensão ponta (8,60%). Desta forma, foi possível calcular a economia estimada graças ao abatimento de grande parte da conta de eletricidade pela energia gerada, seguindo a ordem explicada no **Item 4.1.4**, e considerando o fator de ajuste regulamentado pela ANEEL (2016a) para abater o consumo durante a tarifa de ponta na alta tensão. O mencionado desconto por dez anos na tarifa da TUSD não foi necessário pois considerou-se o potencial máximo da UFSC, onde toda energia (incluindo a de alta tensão fora ponta) é abatida pelo menos até 2041 no cenário apresentado. Contando então como economia os valores deixados de pagar para a CELESC, assumindo o crescimento do preço da tarifa igual ao da inflação anual de 2016 e um consumo anual igual ao esperado para 2017 (premissas explicadas no **Item 4.1.4**), o resultado desses ativos pode ser visto na **Tabela 5.4**. Nela foram considerados os valores iniciais, para 2017, da tarifa média paga pela UFSC de: 0,6106 R\$/kWh para baixa tensão, 0,4273 R\$/kWh para alta tensão fora ponta e 1,4753 R\$/kWh para alta tensão ponta.

Tabela 5.4- Ativos do projeto no período abordado.

Ano	Economia baixa (R\$)	Economia alta FPta (R\$)	Economia alta Pta (R\$)
2017	108.059,65	9.900.151,12	3.242.233,39
2018	114.856,61	10.522.870,63	3.446.169,87
2019	122.081,09	11.184.759,19	3.662.933,95
2020	129.759,99	11.888.280,55	3.893.332,50
2021	137.921,89	12.636.053,39	4.138.223,11
2022	146.597,18	13.430.861,15	4.398.517,34
2023	155.818,14	14.275.662,32	4.675.184,09
2024	165.619,10	15.173.601,48	4.969.253,16
2025	176.036,54	16.128.021,01	5.281.819,19
2026	187.109,24	17.142.473,53	5.614.045,61
2027	198.878,41	18.220.735,11	5.967.169,08
2028	211.387,86	19.366.819,35	6.342.504,02
2029	224.684,16	20.584.992,29	6.741.447,52
2030	238.816,79	21.879.788,31	7.165.484,57
2031	253.838,37	23.256.026,99	7.616.193,55
2032	269.804,80	24.718.831,09	8.095.252,13
2033	286.775,53	26.273.645,56	8.604.443,48
2034	304.813,71	27.926.257,87	9.145.662,98
2035	323.986,49	29.682.819,49	9.720.925,18
2036	344.365,24	31.549.868,84	10.332.371,37
2037	366.025,81	33.534.355,59	10.982.277,53
2038	389.048,84	35.643.666,55	11.673.062,79
2039	413.520,01	37.885.653,18	12.407.298,44
2040	439.530,42	40.268.660,76	13.187.717,51
2041	467.176,88	42.801.559,52	14.017.224,94
Total	1.443.859,42	132.282.734,36	43.321.712,21

Com estes valores levantados, foi possível avaliar o retorno de maneira simplificada do investimento, onde nos vinte e cinco anos analisados foi possível atingir o *payback* do valor aportado no início e somados os gastos anuais com O&M. No período de vinte e cinco anos foi atingido um retorno de 609% das despesas. Seria possível atingir o *payback* (dessa maneira

simplificada) em pouco mais de sete anos, atingindo um retorno de 90,26% do investimento no decorrer do sexto ano (2023). A progressão de ganhos, no período de análise do projeto implementado, pode ser vista na **Figura 5.2**.

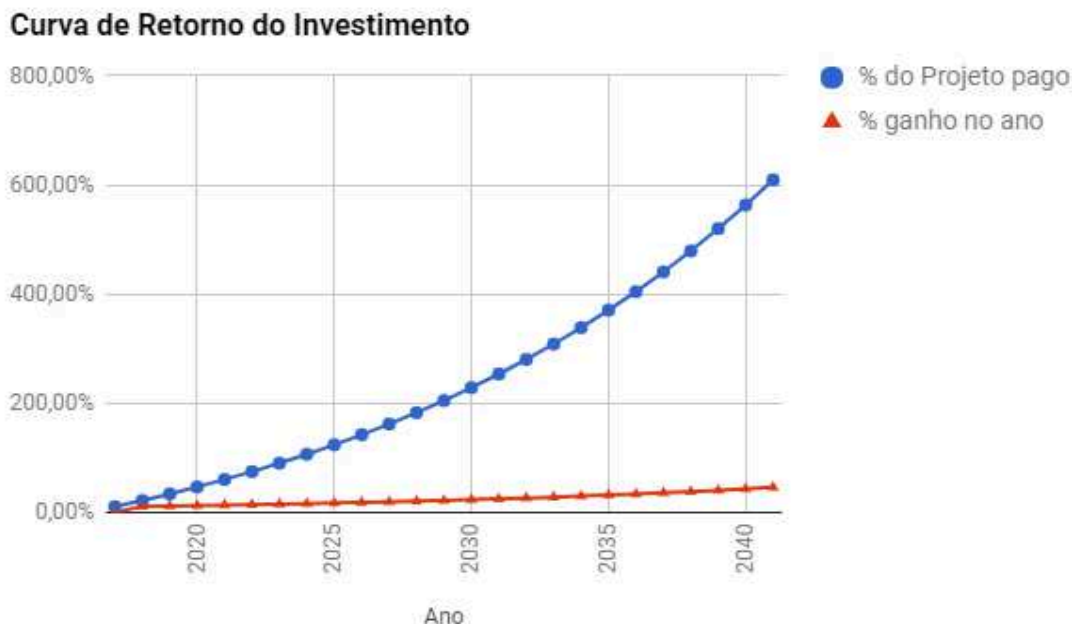


Figura 5.2- Ativos do projeto no período abordado.

Como pode ser observado comparando os resultados apresentados da **Tabela 5.3** e **Tabela 5.4**, os ganhos gerados pela economia proporcionada pela GD-FV crescem em um ritmo muito maior do que as despesas, por isso que seria possível atingir 100% do retorno em um período menor que dez anos para o empreendimento. Quanto à taxa de crescimento percentual do ganho adicionado ano a ano ao balanço financeiro, ela foi de 9,07% no primeiro ano a 14,80% no décimo ano e 36,96% no vigésimo quinto ano. Para uma análise mais detalhada do balanço econômico deste investimento, vide **Anexo E**.

Mesmo sem se aprofundar tanto nesse aspecto monetário, é importante destacar que em estudos previamente realizados com esse foco, percebeu-se que há uma distinção na importância dos fatores que mais impactam na viabilidade do sistema. No Brasil, o maior impacto negativo é o alto custo dos sistemas, muito por serem todos importados, diferentemente em mercados de FV mais maduros, onde o retorno é muito mais dependente da tarifa na qual se está sujeito (LACCHINI; RÜTHER, 2015).

6. CONCLUSÃO

Uma vez entendido o princípio básico da geração de energia solar FV, seu sistema, crescimento de mercado e aumento de investimentos na área, percebe-se que na medida que essa fonte se torna cada vez mais barata, a viabilidade econômica potencializa a opção por seu uso tanto em novos prédios, quanto integrando a construções já existentes. A popularização desse sistema de geração elétrica vem aumentando em diversos países, muito graças aos rápidos avanços alcançados desde o início da forte atuação da China nesse mercado.

No Brasil, sua participação ainda é modesta, mas com um horizonte de crescimento bastante positivo, juntamente com a fonte eólica. Novas regulamentações, avanços na pesquisa e em projetos ligados à área vêm demonstrando o início de novos tempos para o setor elétrico brasileiro. Forte exemplo disso foram as resoluções normativas que regulamentaram e rapidamente expandiram, em um segundo momento, a atuação de mini e microgeradoras distribuídas de energia, conectadas à rede. O cenário global já mostrou a força que os sistemas FV tem e sua capacidade de avanço acelerado, gerando uma esperança de revolução brusca na matriz energética nacional, migrando de uma histórica predominância do recurso hídrico para as fontes solar e eólica.

Com os avanços tecnológicos, não somente o preço dos módulos é influenciado, mas também sua eficiência e versatilidade. Foi possível ver como a inclinação e orientação com o norte são fatores que apresentam grande maleabilidade no planejamento dos sistemas. Esse ganho é um grande incentivo a adoção de módulos FV em construções já existentes, já que suas limitações de *layout* não são um empecilho inviabilizador, pois geram perdas toleráveis na eficiência de produção elétrica.

No caso do campus Trindade da UFSC, após o estudo de seu consumo elétrico, projeção futura e edificações existentes, concluiu-se que é possível instalar módulos para suficientemente atender a toda necessidade anual elétrica da UFSC, sobrando ainda uma grande margem se comparada ao consumo anual para ser atendido pela rede de GD no local, considerando valores projetados para 2017. Com esta margem, mesmo em caso de aumento drástico de consumo, resultado de um verão mais quente e longo do que o esperado, ainda sim seria possível ter uma universidade autossuficiente em produção elétrica, combinada com um modelo conectado à rede. O estudo comprovou que não é necessária uma vasta área de geração de energia para atender grande parcela das demandas urbanas, nesse caso o próprio campus em seu melhor

cenário gerou praticamente 110% de sua necessidade no ano de 2017 e ocupando 76,05% de suas coberturas. Esse exemplo serve para demonstrar que é possível realizar uma grande redução de custos na conta de luz somente utilizando os espaços já existentes.

A grande variação possível entre ângulos de inclinação e direção na qual os módulos estão orientados, sem causar grandes perdas de eficiência para Florianópolis, como identificada pela bibliográfica apresentada, também proporciona grande maleabilidade para trabalhar com a integração de sistemas FV a arquiteturas já existentes sem a necessidade de alterações nas mesmas. Isso permite com que engenheiros e arquitetos tenham mais possibilidades na hora de projetar sistemas de GD, tanto em construções existentes, quanto em vindouras, destacando-se assim como um importante ponto de atenção para os departamentos pertinentes da UFSC, como o DPAE.

Os ganhos oferecidos por um projeto desses vão além dos ganhos na área econômica, também brevemente demonstrados e indicados através de um ótimo tempo de *payback* (para um projeto desse porte) de aproximadamente sete anos. Outra área beneficiada é a da sustentabilidade, através da geração limpa de energia, sem emissão de gases do efeito estufa (durante a conversão de energia solar em energia elétrica) e utilização de um recurso natural abundante na superfície terrestre; e também a área social, através do sentimento de coletivismo causado pela participação em campanhas de dependência da sociedade, como a de redução de consumo elétrico. Portanto, a real intenção e implementação de projetos como esse devem ser buscadas pela universidade e incentivadas por órgãos públicos superiores que possam viabilizar o pivotamento da UFSC para uma instituição completamente solar, tornando-se um exemplo disruptivo de inovação e modernização no ramo de energia elétrica nacional.

Como sugestão para trabalhos futuros, seria interessante a quebra e aprofundamento em três vertentes: econômica, técnica e jurídica. A primeira focaria no estudo de viabilidade econômica da implantação de tantos sistemas GD-FV na UFSC, computando detalhadamente os gastos e economias gerados pelo projeto, levando em consideração a política tarifária mais atualizada e uma nova demanda para as UC de alta tensão, que deixariam de ter um uso elevado da rede convencional, além de uma atualização de preços. A segunda vertente faria uma análise mais aprofundada quanto ao sombreamento nos módulos, seu percentual e impacto na geração, as distintas combinações de módulos e as melhores inclinações e angulações azimutais nas diversas coberturas de todo o campus. Por fim, um estudo direcionado a alternativas jurídicas para a implantação de um projeto de GD desse porte, analisando projetos semelhantes ou

possíveis pareceres da ANEEL de acordo com as brechas deixadas nas regulamentações em vigência no Brasil.

É importante ressaltar que esse trabalho tem como principal entrega a metodologia e iniciativa de estudo de suprir o consumo elétrico da UFSC com energia solar FV e não os números encontrados para o período de realização do projeto (início de 2017). As análises mais específicas, como a política e econômica, precisam de estudos que se renovem com o passar do tempo, dado que a legislação de GD e os preços dos sistemas FV sofrem mudanças grandes ano a ano. Felizmente, o cenário dos últimos cinco anos mostram mudanças positivas, com uma maior permissão para instalação de sistemas de GD e queda rápida no preço para geração de energia FV, como mostradas no trabalho.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA, 2016a. Portal ABRADDEE, **Redes de Energia Elétrica**. Disponível em ABRADDEE – Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica: <<http://www.abradee.com.br/setor-eletrico/redes-de-energia-eletrica>>. Acesso em: 05 de abril de 2017

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA, 2016b. Portal ABRADDEE, **A distribuição de energia**. Disponível em: <<http://www.abradee.com.br/setor-de-distribuicao/a-distribuicao-de-energia>>. Acesso em 05 de abril de 2017.

ACORDO de Copenhague = COPENHAGEN Accord. 18 dezembro 2009. Disponível em: <<https://unfccc.int/resource/docs/2009/cop15/eng/107.pdf>>. Acesso em: 5 de fevereiro de 2017.

ACORDO de Paris = PARIS Agreement. 22 abril 2016. Disponível em: <http://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/english_paris_agreement.pdf>. Acesso em: 5 de fevereiro de 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2010. Estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada. Resolução normativa, n. 414, de 9 de setembro de 2010.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2012a. 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. Resolução normativa, n. 482, 17 de abril de 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2012b. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Resolução normativa, n. 687, de 24 de novembro de 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2014. **Caderno Temático Micro e Minigeração**, 2014. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/caderno-tematico-microeminigeracao.pdf>>. Acesso em: 5 de outubro de 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Resolução normativa, n. 687, de 24 de novembro de 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2016a. **Caderno Temático Micro e Minigeração**, 2016. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14913578/Caderno+tematico+Micro+e+Minigera%C3%A7%C3%A3o+Distribuida+-+2+edicao/716e8bb2-83b8-48e9-b4c8-a66d7f655161>>. Acesso em: 16 de janeiro de 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2016b. **Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST**. Módulo 3. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/PRODIST-M%C3%B3dulo3_Revis%C3%A3o7/ebfa9546-09c2-4fe5-a5a2-ac8430cbca99>. Acesso em: 21 de maio de 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2016c. Homologa o resultado da quarta Revisão Tarifária Periódica – RTP da Celesc Distribuição S.A. - Celesc-DIS, as Tarifas de Energia – TE e as Tarifas de Uso do Sistema de Distribuição – TUSD, e dá outras providências. Resolução homologatória, n. 2.120, 16 de agosto de 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2017a. **BIG - Banco de Informações de Geração (Capacidade Instalada)**, abril de 2017. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em 14 de abril de 2017

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2017b. **BIG - Banco de Informações de Geração (Operação Brasil)**, abril de 2017. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>>. Acesso em 14 de abril de 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2017c. **BIG - Banco de Informações de Geração (Geração Distribuída)**, abril de 2017. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/GD_Fonte.asp>. Acesso em 14 de abril de 2017

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2017d. **BIG - Banco de Informações de Geração (Modalidades de Geração Distribuída)**, abril de 2017. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/GD_Modalidade.asp>. Acesso em 14 de abril de 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2017e. Portal ANEEL, **Regulação dos Serviços de Distribuição**, novembro de 2015. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/regulacao-da-distribuicao/-/asset_publisher/nHNpDfkNeRpN/content/regulacao-dos-servicos-de-distribuicao/656827>. Acesso em 14 de abril de 2017.

Bagattoli, S. G. (2012). **Gestão estratégica de energia elétrica: Mercado de energia elétrica, fornecimento, contratação e faturamento, soluções de gestão**. Blumenau: EdiFURB. (BLOOMBER NEW ENERGY FINANCE, 2017): BLOOMBER NEW ENERGY FINANCE, 2017. *Clean Energy Investment End of Year 2016*. Bloomberg New Energy Finance. Nova Iorque, janeiro de 2017. Disponível em: < <https://about.bnef.com/clean-energy-investment/#toc-download> >. Acesso em: 15 de janeiro de 2017.

BURGER, Bruno; RÜTHER, Ricardo. *The influence of distributed generation penetration levels on energy markets*. Science Direct, Solar Energy, Volume 80, Tópico 1, janeiro de 2006 p. 32-45. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X05003099>>. Acesso em: 4 de maio de 2017.

CARVALHO, Joaquim Francisco de. **O declínio da era do petróleo e a transição da matriz energética brasileira para um modelo sustentável**. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Doutorado em Engenharia Civil, Universidade do Estado de São Paulo, São Paulo, 2009.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 2016. Portal CCEE, **Com quem se relaciona**. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/onde-atuamos/com_quem_se_relaciona>. Acesso em: 5 de abril de 2017.

CENTRAIS ELÉTRICAS DE SANTA CATARINA, 2016. Portal Celesc, **Arquivos – Normas Técnicas (Geração distribuída)**, maio 2017. Disponível em: <<http://celesc.com.br/portal/images/arquivos/normas/Normativa-GD-revisao-03-2016.pdf>>. Acesso em: 31 de maio de 2017.

CENTRAIS ELÉTRICAS DE SANTA CATARINA, 2017a. Portal Celesc, **Arquivos – Normas Técnicas (Geração distribuída - Fotovoltaica)**, maio 2017. Disponível em: <http://www.celesc.com.br/portal/images/arquivos/normas-tecnicas/conexao-centrais-geradoras/FAQ_Microgeracao_Fotovoltaica.pdf>. Acesso em: 31 de maio de 2017.

CENTRAIS ELÉTRICAS DE SANTA CATARINA, 2017b. Portal Celesc, **Dúvidas mais frequentes (PIS-Cofins)**, maio 2017. Disponível em: <<http://www.celesc.com.br/portal/index.php/duvidas-mais-frequentes/pis-cofins>>. Acesso em: 31 de maio de 2017.

CENTRAIS ELÉTRICAS DE SANTA CATARINA, 2017c. Portal Celesc, **Dúvidas mais frequentes (tarifa)**, maio 2017. Disponível em: <<http://www.celesc.com.br/portal/index.php/duvidas-mais-frequentes/1140-tarifa>>. Acesso em: 31 de maio de 2017.

CHANCE, Jameson F.; WALSH, John J. *Urban effects on native avifauna: a review*. Science Direct, Landscape And Urban Planning, Volume 1, Tópico 1, janeiro de 2006. p. 46-69.

Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016920460400146X>>. Acesso em: 08 de fevereiro de 2017.

CHEN, Mingxing, *et al.* *The Global Pattern of Urbanization and Economic Growth: Evidence from the Last Three Decades*. Plos, agosto de 2014. Disponível em: <<http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0103799>>. Acesso em: 8 de fevereiro de 2017.

CPFL RENOVÁVEIS, 2014. Portal CPFL, **Visão Geral do Setor de Energia Elétrica**. Disponível em: <<http://www.cpfrenovaveis.com.br/ri/show.aspx?idCanal=wku79TYTX/RcDEOqPKDN6Q=>>>. Acesso em 05 de abril de 2017.

CUSTÓDIO, Isadora Pauli. **UFSC Solar: Ensaio de energia fotovoltaica integrada à arquitetura. 2016**. Dissertação (Graduação em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

DÁVI, Giovani Almeida; *et al.* *Energy performance evaluation of a net plus-energy residential building with grid-connected photovoltaic system in Brazil*. Science Direct, Energy and Buildings, Volume 120, maio de 2016 p. 19-29. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778816302146>>. Acesso em: 4 de março de 2017.

DEPARTAMENTO DE PROJETOS E ARQUITETURA. Universidade Federal de Santa Catarina. **Mapa Base de Edificações Campus Trindade** [Florianópolis]. 2016.

DUKE ENERGY, 2015. Portal Parapanema Energia, **Guia do Cliente Livre**. Disponível em: <<http://www.paranapanemaenergia.com.br/Style%20Library/Images/Duke/Negocios/GCLJul2016.pdf>>. Acesso em 05 de abril de 2017

ENERGIA DE PORTUGAL, 2016. **Setor Elétrico no Brasil**. Portal EDP, 9 de março de 2016.

Disponível em: <<http://edp.infoinvest.com.br/static/ptb/setor-eletrico-brasil.asp>>. Acesso em: 5 de abril de 2017.

ENGIE, 2014. Portal Engie, Imprensa, **Operação Usina Solar**. Disponível em: <http://www.tractebelenergia.com.br/wps/portal/internet/imprensa/press-release/conteudos/Release_Operacao_Usina_Solar>. Acesso 5 de abril de 2017.

FRAUNHOFER ISE, 2016. *Photovoltaics Report*. Fraunhofer ISE Publications, 17 de novembro de 2016. Disponível em: <<https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf>>. Acesso em: 1 de junho de 2017.

GEUSS, Megan. *Chinese solar export fall in 2016 with global anti-dumping measures*. Ars Technia, fevereiro de 2017. Disponível em: <<https://arstechnica.com/business/2017/02/chinese-solar-exports-fall-in-2016-with-global-anti-dumping-measures/>>. Acesso em: 19 de maio de 2017.

GOMES, A. C; *et al.*, 2002. BNDES 50 Anos - Histórias Setoriais: O Setor Elétrico.

HAMBURG Summit. 1 dezembro 2016. Disponível em: <https://www.bundesregierung.de/Content/DE/_Anlagen/G7_G20/2016-g20-praesidentschaftspapier-en.pdf> Acesso em: 5 de fevereiro de 2017.

HATZIARGYRIOU, Nikos. *Microgrids: architectures and control*. Editora Wiley – IEE Press, 2014. Disponível em: <http://cds.cern.ch/record/1641825>. Acesso em: 15 de janeiro de 2017.

HENBEST, Seb. *New Energy Outlook 2016*. Bloomberg New Energy Finance. Nova Iorque, janeiro de 2017. Disponível em: <<https://www.bloomberg.com/company/new-energy-outlook/>>. Acesso em: 15 de janeiro de 2017.

HERNÁNDEZ-MORO, J.; MARTÍNEZ-DUART, J.M. *Analytical model for solar PV and CSP electricity costs: Present LCOE values and their future evolution*. Science Direct, Renewable

and Sustainable Energy Reviews, Volume 20, abril de 2013 p. 119-132. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403211200696X>>. Acesso em: 4 de março de 2017.

IDEAL, 2016. Instituto Para o Desenvolvimento de Energias Alternativas na América Latina, **O Mercado Brasileiro de Geração Distribuída Fotovoltaica – Edição 2016**, 24 de outubro de 2016. Disponível em: <http://www.issuu.com/idealeco_logicas/docs/estudofv2016_final>. Acesso em: 25 de junho de 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2017. Portal IBGE, **Estatísticas – Indicadores de preço (IPCA)**, maio 2017. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/precos/inpc_ipca/defaultseriesHist.shtm>. Acesso em: 15 de maio de 2017.

INTERNETIONAL ENERGY AGENCY. *World Energy Outlook 2010*. Paris, 2010. Disponível em: <<http://www.worldenergyoutlook.org/media/weo2010.pdf>>. Acesso em: 5 de fevereiro de 2017.

INTERNETIONAL ENERGY AGENCY. *World Energy Outlook 2016, Executive Summary*. Paris, 2016. Disponível em: <<https://www.iea.org/Textbase/npsum/WEO2016SUM.pdf>>. Acesso em: 5 de fevereiro de 2017.

KYMAKIS, Emmanuel; KALYKAKIS, Sofoklis; PAPAZOGLU, Thales M. *Performance analysis of a grid connected photovoltaic park on the island of Crete*. Science Direct, Energy Conversion and Management, Volume 50, Tópico 3, março de 2009. p. 433-438. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890408004615>>. Acesso em: 2 de junho de 2017.

LABORATÓRIO FOTOVOLTAICA-UFSC, 2017. Portal Fotovoltaica-UFSC, **Projetos realizados**. Disponível em: <<http://fotovoltaica.ufsc.br/sistemas/fotov/projetos-2/>>. Acesso em: 24 de abril.

LACCHINI, Corrado; RÜTHER, Ricardo. *The influence of government strategies on the financial return of capital invested in PV systems located in different climatic zones in Brazil*. Science Direct, Renewable Energy, Volume 83, novembro de 2015 p. 786-798. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148115300082>>. Acesso em: 28 de fevereiro de 2017.

LI, Yun, *et al.* *Market structure and performance: An empirical study of the Chinese solar cell industry*. Science Direct, Renewable and Sustainable Energy Review, Volume 70, abril de 2017, p. 78-82. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116308103>>. Acesso em: 19 de maio de 2017.

LIEBREICH, Michael; MCCRONE, Angus, 2017. *The shift to 'base-cost' renewables: 10 predictions for 2017*. Bloomberg New Energy Finance, 18 de janeiro de 2017. Disponível: <<https://about.bnef.com/blog/10-renewable-energy-predictions-2017/>>. Acesso em: 18 de janeiro de 2017.

LIMA, Luana Catão de Andrade; GONÇALVES, Pedro Ricardo Cardoso. **Desafios no Desenvolvimento Sustentável: Estudo Sobre as Mudanças na Matriz Energética Brasileira**. 2016. Dissertação (Graduação em Engenharia Química e de Petróleo) – Programa de Graduação em Engenharia Química e de Petróleo, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2016.

MARCO AURÉLIO LENZI CASTRO. **Dúvida Potência Instalada de Unid. Consumidoras participantes do Autoconsumo Remoto**. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <mcastro@aneel.gov.br> data de recebimento, 23 de maio de 2017.

MARTIN, Chris. *U.S. Solar Surged 95% to Become Largest Source of New Energy*. Bloomberg, fevereiro de 2017. Disponível em: <<https://www.bloomberg.com/news/articles/2017-02-15/u-s-solar-surged-95-to-become-largest-source-of-new-energy>>. Acesso em: 4 de março de 2017.

MITSCHER, Martin; RÜTHER, Ricardo. *Economic performance and policies for grid-connected residential solar photovoltaic systems in Brazil*. Science Direct, Energy Policy, Volume 49, outubro de 2012 p. 688-694. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421512005903>>. Acesso em: 28 de fevereiro de 2017.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2016a. Resenha Energética Brasileira, Brasília, maio de 2016. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/02+-+Resenha+Energ%C3%A9tica+Brasileira+2016+-+Ano+Base+2015+\(PDF\)/66e011ce-f34b-419e-adf1-8a3853c95fd4;version=1.0](http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/02+-+Resenha+Energ%C3%A9tica+Brasileira+2016+-+Ano+Base+2015+(PDF)/66e011ce-f34b-419e-adf1-8a3853c95fd4;version=1.0)>. Acesso em: 29 de abril de 2017.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2016b. Notícias MME, **Geração Distribuída: 21 UFs já aderiram a convenio que isenta ICMS**. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/geracao-distribuida-21-ufs-ja-aderiram-a-convenio-que-isenta-icms>. Acesso em: 5 de Abril de 2017.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2017. Notícias MME, **ANEEL altera as regras para estimular geração em universidades**. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/aneel-altera-regras-para-estimular-geracao-distribuida-em-universidades>. Acesso em: 29 de Maio de 2017.

MONTEIRO JÚNIOR, Alcy. **Modelagem da Usina Fotovoltaica do Estado do Mineirão Para Estudos de Programação Harmônica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade do Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

MONTENEGRO, Alexandre de Albuquerque. **Avaliação do Retorno do Investimento em Sistemas Fotovoltaicos Integrados a Residências Unifamiliares Urbanas no Brasil**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

NEVES, Ricardo Nuno Freita. **Desenvolvimento de Modelos de Previsão de Produção de Centrais Solares Fotovoltaicas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrônica e Computadores) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Eletrônica e Computadores, Universidade do Porto, Porto, 2010.

OBSERVATÓRIO PARA ENERGIAS RENOVÁVEIS PARA AMÉRICA LATINA E O CARIBE (ONUDI). **Módulo Prático: Energia Solar Fotovoltaica**, Viena, 2013. Acesso em: 10 de outubro de 2016.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO, 2015. Portal NOS, **Submódulo 26.2: Critérios para classificação de modalidade de operação de usinas**. Disponível em: <[http://extranet.ons.org.br/operacao/prdocme.nsf/videntificadorlogico/29646164353D894F8325809900430A72/\\$file/Subm%C3%B3dulo%2026.2.pdf?openelement](http://extranet.ons.org.br/operacao/prdocme.nsf/videntificadorlogico/29646164353D894F8325809900430A72/$file/Subm%C3%B3dulo%2026.2.pdf?openelement)>. Acesso em: 7 de fevereiro de 2017.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO, 2016. Portal ONS, **O Setor Elétrico**. Disponível em: <http://www.ons.org.br/institucional_linguas/modelo_setorial.aspx>. Acesso em: 5 de abril de 2017.

ORGANIZAÇÕES DAS NAÇÕES UNIDAS, 2015. **Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Nova Iorque, outubro de 2015. Traduzido pelo Centro de Informações das Nações Unidas para o Brasil (UNIC Rio). Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/wp-content/uploads/2015/10/agenda2030-pt-br.pdf>>. Acesso em: 19 de maio de 2017.

PITTSBURGH Summit. 25 setembro 2009. Disponível em: <https://www.treasury.gov/resource-center/international/g7-g20/Documents/pittsburgh_summit_leaders_statement_250909.pdf>. Acesso em: 5 de fevereiro de 2017.

BRASIL, Lei n. 110.847, de 15 de março de 2004. Autoriza a criação da Empresa de Pesquisa

Energética – EPE e dá outras providências. Presidência da República, Brasília. Legislação Federal.

BRASIL, Lei n. 10.848, de 30 de março de 2004. Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências. Presidência da República, Brasília. Legislação Federal.

BRASIL, Decreto n. 5.163, de 15 de julho de 2004. Autoriza a criação da Empresa de Pesquisa Energética – EPE e dá outras providências. Presidência da República, Brasília. Legislação Federal.

PROTOCOLO de Kyoto = KYOTO Protocol. 11 dezembro 1997. Disponível em: <<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>>. Acesso em: 5 de fevereiro de 2017.

RANDALL, Tom. *World Energy Hits a Turning Point: Solar That's Cheaper Than Wind*. Bloomberg, dezembro de 2016. Disponível em: <<https://www.bloomberg.com/news/articles/2016-12-15/world-energy-hits-a-turning-point-solar-that-s-cheaper-than-wind>>. Acesso em: 15 de janeiro de 2017.

REN21, 2016a. *Global Status Report*. Paris, 2016. Disponível em: <http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/10/REN21_GSR2016_FullReport_en_11.pdf>. Acesso em: 5 de fevereiro de 2017.

REN21, 2016b. *Global Status Report Key Findings*. Paris, 2016. Disponível em: <http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/11/REN21_GSR2016_KeyFindings_port_02.pdf>. Acesso em: 5 de fevereiro de 2017.

RÜTHER, Ricardo. **Edifícios Solares Fotovoltaicos: O Potencial da Geração Solar Fotovoltaica Integrada a Edificações Urbanas e Interligada à Rede Elétrica Pública no Brasil**. 1ª Edição. Florianópolis: Editora UFSC, 2004. 113 p.

RÜTHER, Ricardo; DACOREGIO, M. M. *Performance assessment of a 2 kWp grid-connected, building-integrated, amorphous silicon photovoltaic installation in Brazil*. Progress In Photovoltaics, março de 2000. Disponível em: <[http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/\(SICI\)1099-159X\(200003/04\)8:2%3C257::AID-PIP292%3E3.0.CO;2-P/full](http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/(SICI)1099-159X(200003/04)8:2%3C257::AID-PIP292%3E3.0.CO;2-P/full)>. Acesso em: 26 de março de 2017.

SADORSKY, Perry. *The Effect of Urbanization and Industrialization on Energy Use in Emerging Economies: Implications for Sustainable Development*. The American Journal of Economics and Sociology, Volume 73, Tópico 2, abril de 2014 p. 392-409. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ajes.12072/full>>. Acesso em: 15 de janeiro de 2017.

SANTOS, Ísis Portolan dos; RÜTHER, Ricardo. *Limitations in solar module azimuth and tilt angles in building integrated photovoltaics at low latitude tropical sites in Brazil*. Science Direct, Renewable Energy, Volume 63, março de 2014 p. 116-124. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148113004758>>. Acesso em: 4 de março de 2017.

SOLAR AND WIND ENERGY RESOURCE ASSESSMENT. **Solar**. Brasil. Versão digital. Disponível em: <<http://en.openei.org/apps/SWERA/>>. Acesso em 18 de abril de 2017.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, 2016. **UFSC produzirá energia solar para mover ônibus elétrico**. Notícias UFSC, setembro de 2016. Disponível em: <<http://noticias.ufsc.br/2016/09/ufsc-produzira-energia-solar-para-mover-onibus-eletrico/>>. Acesso em: 15 de dezembro de 2016.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, 2017a. Disponível em: <<http://estrutura.ufsc.br/campi/campus-florianopolis/>>. Acesso em: 19 de maio de 2017.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, 2017b. **Estrutura dos campi**. Disponível em: <<http://estrutura.ufsc.br/campi/>>. Acesso em: 19 de maio de 2017.

VAHL, Fabrício Peter; RÜTHER, Ricardo; CASAROTTO FILHO, Nelson. *The influence of distributed generation penetration levels on energy markets*. Science Direct, Energy Policy, Volume 62, novembro de 2013 p. 226-235. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421513006150>>. Acesso em: 4 de março de 2017.

WANG, Qiang. *Effects of urbanisation on energy consumption in China*. Science Direct, Energy Policy, Volume 65, fevereiro de 2014. p. 332-339. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421513010239>>. Acesso em: 08 de fevereiro de 2017.

YINGLI, 2017. Catálogo de produtos, abril de 2017. Disponível em: <http://d9no22y7yqre8.cloudfront.net/assets/uploads/products/downloads/DS_YGE60Cell-29b_35mm_EU_EN_20160121_V04.pdf>. Acesso em: 23 de março de 2017.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Divisão das 13 faturas do campus Trindade da UFSC, com sua representatividade no consumo total, nas despesas com eletricidade e da área edificada.

Nome	Tensão	Modalidade	UC	% consumo UFSC	% despesa UFSC	% área edificada
1- Casa do Estudante - AT	Alta	Convencional	46764161	1,0%	1,0%	0,86%
2- Moradia UFSC	Baixa	Convencional	12187530	0,0%	0,0%	0,07%
3- Reitoria II	Alta	Horassazonal	42103322	1,0%	1,1%	0,27%
4- Campo dos Servidores	Baixa	Convencional	12187521	0,4%	0,4%	0,77%
5- Restaurante Servidores	Baixa	Convencional	12187513	0,1%	0,1%	0,18%
6- UFSC - NETI	Baixa	Convencional	12187548	0,1%	0,1%	0,28%
7- DAE	Alta	Convencional	20015020	0,2%	0,3%	0,37%
8- Hospital Universitário	Alta	Horassazonal	12187394	17,1%	16,6%	12,03%
9- Instituto Eng. Biomédica	Alta	Convencional	30457455	0,4%	0,5%	0,25%
10- Prefeitura do Campus	Alta	Convencional	12187378	0,6%	0,6%	1,45%
11- CTC	Alta	Horassazonal	23623773	7,9%	7,7%	12,61%
12- Cidade Universitária	Alta	Horassazonal	12187491	55,1%	55,1%	70,36%
13- Centro Desportivo	Baixa	Convencional	12187505	0,0%	0,1%	0,49%

APÊNDICE B – Histórico de consumo e gastos com energia elétrica pelo campus trindade de 2011 a 2016, nos horários de Ponta e Fora Ponta. A numeração segue a mesma ordem das faturas apresentadas no **Apêndice A**.

Consumo Ponta (kWh)						
Fatura	2011	2012	2013	2014	2015	2016
1	0	0	0	0	0	14.140
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	5.877	19.035	20.436	18.614
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	2.331
8	389.083	388.858	377.060	410.842	427.101	413.572
9	0	0	0	0	0	2.820
10	0	0	0	0	0	7.483
11	189.407	215.848	215.507	219.415	204.637	199.793
12	1.463.383	1.621.613	1.583.723	1.635.068	1.571.729	1.558.386
13	0	0	0	0	0	0
Total	2.041.873,00	2.226.319,00	2.182.167,00	2.284.360,00	2.223.903,00	2.217.139,00

Pagamento Ponta (R\$)						
Fatura	2011	2012	2013	2014	2015	2016
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21.329,75
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	6.802,52	23.706,81	30.064,44	28.542,86
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3.515,47
8	578.687,95	570.315,51	430.291,81	508.011,63	626.959,52	633.241,03
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4.255,52
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11.295,35
11	282.250,17	316.347,17	245.495,79	271.325,62	300.715,32	306.053,78
12	2.184.141,39	2.374.792,76	1.796.765,87	2.034.731,66	2.318.006,55	2.388.902,24
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	3.045.079,51	3.261.455,44	2.479.355,99	2.837.775,72	3.275.745,83	3.397.136,00

Consumo Fora Ponta (kWh)						
Fatura	2011	2012	2013	2014	2015	2016
1	0	0	132.025	276.486	301.234	307.692
2	11.477	9.631	11.937	9.729	7.427	4.373
3	0	0	88.997	273.091	295.030	303.370
4	104.590	104.890	121.390	129.650	109.580	110.290
5	35.630	34.360	37.160	41.440	39.880	38.490
6	12.680	14.440	18.780	20.230	22.630	24.840
7	37.866	38.292	33.547	32.502	30.152	64.475
8	5.558.117	4.970.014	4.528.519	4.806.547	5.107.999	4.862.787
9	137.760	164.987	149.700	161.972	146.993	116.857
10	208.608	215.901	185.501	218.442	203.621	165.366
11	2.205.380	2.445.738	2.398.749	2.449.499	2.308.653	2.240.140
12	14.409.988	15.727.269	15.580.038	16.319.506	15.541.816	15.455.880
13	16.830	19.110	13.200	40.510	29.110	14.860
Total	22.738.926,00	23.744.632,00	23.299.543,00	24.779.604,00	24.144.125,00	23.709.420,00

Pagamento Fora Ponta (R\$)						
Fatura	2011	2012	2013	2014	2015	2016
1	0,00	0,00	35.723,40	82.985,23	133.784,63	142.209,31
2	5.051,76	4.284,04	4.639,77	4.174,15	4.304,44	2.762,49
3	0,00	0,00	22.219,43	77.911,28	122.224,50	136.862,10
4	45.970,49	46.683,66	46.326,17	56.157,50	63.229,19	69.648,17
5	15.666,15	15.295,19	14.205,22	17.913,82	23.265,22	24.283,92
6	5.576,16	6.424,77	7.160,74	8.785,14	13.208,64	15.706,88
7	9.671,49	10.123,35	8.319,36	9.686,55	13.841,25	29.858,27
8	1.344.672,03	1.240.853,96	1.081.082,76	1.357.879,70	2.127.106,60	2.192.722,02
9	35.150,42	43.679,14	37.283,95	48.061,24	63.084,93	54.154,32
10	53.284,63	57.029,49	46.240,67	65.063,49	87.681,61	76.498,79
11	532.610,27	610.906,31	570.704,33	692.114,72	964.680,48	1.010.328,51
12	3.493.178,63	3.947.300,90	3.699.771,69	4.646.490,29	6.544.861,19	6.968.658,82
13	7.416,46	8.496,96	5.086,43	17.672,44	16.548,26	9.371,72
Total	5.548.248,49	5.991.077,77	5.578.763,92	7.084.895,55	10.177.820,94	10.733.065,32

APÊNDICE C – Divisão do consumo elétrico (kWh) das 13 faturas do campus Trindade, divididas mês a mês para os períodos de 2011 a 2016, juntamente com a projeção para 2017 feita através as de regressão linear.

Janeiro (kWh)							
UC	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Prefeitura do Campus	19.311	17.466	19.751	18.497	22.837	13.457	19.582,52
Hospital Universitário	592.037	528.947	507.979	540.666	562.873	498.936	562.218,71
Cidade Universitária	1.034.070	1.075.053	1.215.581	1.300.932	1.271.523	1.077.481	1.098.738,86
Centro Desportivo	960	820	1.170	1.720	2.990	920	940,00
Restaurante Servidores	3.050	2.650	2.680	2.960	2.970	2.680	2.875,24
Campo dos Servidores	8.070	7.390	8.670	9.340	9.130	8.210	7.997,62
Moradia UFSC	797	755	750	901	790	301	874,52
UFSC - NETI	750	840	1.670	1.240	1.740	1.780	806,67
DAE	3.711	3.649	2.742	3.489	795	6.918	2.963,52
CTC	212.342	222.574	229.670	247.181	232.724	193.782	226.248,29
Instituto Eng. Biomédica	12.218	14.514	14.944	16.244	17.310	12.049	13.914,86
Reitoria II	0	0	0	24.389	33.621	25.946	27.206,83
Casa do Estudante - AT	0	0	0	12.806	17.415	23.428	12.572,00
TOTAL	1.887.316,00	1.874.658,00	2.005.607,00	2.180.365,00	2.176.718,00	1.865.888,00	1.976.939,64

Fevereiro (kWh)							
UC	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Prefeitura do Campus	22.017	20.172	22.442	24.625	23.799	15.529	12.221,67
Hospital Universitário	655.315	511.192	513.103	571.230	596.292	581.503	593.281,33
Cidade Universitária	1.409.534	1.330.721	1.546.689	1.717.209	1.561.161	1.473.160	1.339.794,33
Centro Desportivo	570	730	260	1.800	3.230	700	810,00
Restaurante Servidores	3.010	2.940	2.880	3.340	3.360	3.030	2.933,33
Campo dos Servidores	9.460	9.070	10.440	13.290	11.860	9.880	8.266,67
Moradia UFSC	549	608	2.833	972	563	224	224,00
UFSC - NETI	440	670	950	910	1.170	1.500	1.783,33
DAE	5.064	4.284	4.050	4.856	683	7.545	7.050,33
CTC	256.621	251.743	264.171	299.638	261.801	250.050	220.908,33
Instituto Eng. Biomédica	16.154	16.892	18.562	21.781	18.759	14.601	11.200,33
Reitoria II	0	0	0	34.691	35.817	30.602	29.614,33
Casa do Estudante - AT	0	0	0	15.193	19.951	23.410	27.735,00
TOTAL	2.378.734,00	2.149.022,00	2.386.380,00	2.709.535,00	2.538.446,00	2.411.734,00	2.255.823,00

Março (kWh)							
UC	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Prefeitura do Campus	18.696	24.846	16.253	17.449	20.984	17.111	18.176,67
Hospital Universitário	543.251	500.473	429.233	498.871	542.189	538.270	565.842,33
Cidade Universitária	1.410.668	1.896.168	1.567.060	1.609.612	1.675.169	1.627.933	1.655.892,33
Centro Desportivo	810	1.410	340	2.550	4.180	720	653,33
Restaurante Servidores	3.000	3.600	2.810	3.340	3.340	3.260	3.233,33
Campo dos Servidores	10.010	9.540	11.060	12.230	10.800	8.890	7.300,00
Moradia UFSC	772	705	987	900	558	291	291,00
UFSC - NETI	1.210	1.410	1.770	2.060	2.790	2.380	2.730,00
DAE	4.059	5.289	3.660	2.800	723	6.981	7.682,33
CTC	221.274	285.699	240.696	247.946	242.696	247.925	246.168,00
Instituto Eng. Biomédica	11.562	20.500	14.241	15.030	15.830	14.357	14.399,33
Reitoria II	0	0	0	26.658	36.016	35.117	41.056,00
Casa do Estudante - AT	0	0	0	16.710	21.132	24.038	27.954,67
TOTAL	2.225.312,00	2.749.640,00	2.288.110,00	2.456.156,00	2.576.407,00	2.527.273,00	2.591.379,33

Abril (kWh)							
UC	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Prefeitura do Campus	18.819	19.311	16.139	16.118	17.805	17.731	18.831,00
Hospital Universitário	511.494	413.675	423.016	449.241	484.992	572.822	625.932,67
Cidade Universitária	1.518.997	1.543.208	1.737.030	1.602.991	1.577.845	1.911.674	2.006.186,33
Centro Desportivo	1.410	2.590	670	2.780	2.770	1.260	750,00
Restaurante Servidores	3.280	3.120	3.000	3.720	4.150	3.440	3.490,00
Campo dos Servidores	10.330	9.330	11.530	12.800	12.720	14.420	14.933,33
Moradia UFSC	1.115	682	50	836	712	446	274,67
UFSC - NETI	1.470	1.740	1.740	2.390	1.180	3.180	3.040,00
DAE	3.752	3.157	3.140	1.939	1.240	8.033	9.831,33
CTC	213.265	230.465	246.533	242.495	212.410	275.408	276.350,67
Instituto Eng. Biomédica	11.152	13.858	13.283	13.434	12.358	14.495	14.490,00
Reitoria II	0	0	0	25.433	28.491	38.346	43.669,67
Casa do Estudante - AT	0	0	0	22.676	25.193	27.107	29.423,00
TOTAL	2.295.084,00	2.241.136,00	2.456.131,00	2.396.853,00	2.381.866,00	2.888.362,00	3.047.202,67

Maio (kWh)							
UC	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Prefeitura do Campus	16.851	16.974	14.264	15.345	16.139	12.878	12.320,33
Hospital Universitário	384.319	395.354	363.443	389.360	383.970	388.360	386.230,00
Cidade Universitária	1.379.149	1.428.880	1.510.462	1.413.491	1.405.139	1.377.035	1.362.099,00
Centro Desportivo	1.680	2.370	1.400	3.720	2.580	1.660	593,33
Restaurante Servidores	2.860	2.940	3.320	3.860	3.190	3.040	2.543,33
Campo dos Servidores	9.370	8.500	12.400	11.670	9.600	10.230	9.060,00
Moradia UFSC	1.004	872	50	877	728	354	130,00
UFSC - NETI	1.210	1.280	2.020	1.960	3.720	2.760	3.613,33
DAE	2.727	2.583	2.592	1.578	938	4.441	5.182,00
CTC	184.009	209.163	208.285	206.763	192.345	184.545	172.333,00
Instituto Eng. Biomédica	8.774	10.496	11.226	10.680	10.113	8.061	6.999,00
Reitoria II	0	0	0	17.444	24.419	24.236	28.825,00
Casa do Estudante - AT	0	0	0	26.593	26.224	27.401	27.547,33
TOTAL	1.991.953,00	2.079.412,00	2.129.462,00	2.103.341,00	2.079.105,00	2.045.001,00	2.017.475,67

Junho							
UC	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Prefeitura do Campus	15.129	15.867	14.378	17.040	16.293	13.655	12.277,67
Hospital Universitário	469.708	436.581	340.233	351.762	385.740	359.256	373.080,00
Cidade Universitária	1.215.928	1.268.535	1.363.323	1.281.086	1.340.723	1.308.077	1.336.953,00
Centro Desportivo	1.710	2.120	1.240	3.640	2.720	1.470	440,00
Restaurante Servidores	2.960	2.700	3.340	3.600	2.920	3.340	3.026,67
Campo dos Servidores	8.490	7.780	9.770	9.650	6.810	7.550	5.903,33
Moradia UFSC	1.060	756	881	686	667	429	337,00
UFSC - NETI	1.340	1.090	1.570	1.570	510	2.060	1.870,00
DAE	2.194	2.234	2.323	1.662	1.083	4.315	5.006,33
CTC	162.962	186.123	206.132	183.442	183.273	176.193	173.720,33
Instituto Eng. Biomédica	8.282	9.676	11.040	9.732	10.317	7.451	6.885,67
Reitoria II	0	0	0	16.936	21.732	23.484	27.265,33
Casa do Estudante - AT	0	0	0	30.387	29.003	31.796	31.804,33
TOTAL	1.889.763,00	1.933.462,00	1.954.230,00	1.911.193,00	2.001.791,00	1.939.076,00	1.978.569,67

Julho (kWh)							
UC	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Prefeitura do Campus	15.375	15.867	12.277	17.484	15.421	13.325	11.251,00
Hospital Universitário	480.912	373.241	362.216	334.304	353.681	340.001	348.359,00
Cidade Universitária	1.132.065	1.197.818	1.290.881	1.288.228	1.219.476	1.229.267	1.186.696,00
Centro Desportivo	1.730	2.280	1.420	2.030	2.480	1.530	1.513,33
Restaurante Servidores	3.020	2.790	3.280	3.430	3.310	3.430	3.390,00
Campo dos Servidores	7.910	7.870	9.030	8.440	7.010	7.770	7.070,00
Moradia UFSC	1.132	879	1.271	790	714	407	254,00
UFSC - NETI	300	1.030	1.610	1.400	1.710	2.120	2.463,33
DAE	2.235	1.927	2.500	2.325	1.110	4.149	4.352,00
CTC	166.081	182.506	176.645	177.450	173.884	161.420	154.888,00
Instituto Eng. Biomédica	9.922	10.824	9.695	9.426	9.269	7.070	6.232,33
Reitoria II	0	0	0	17.993	18.007	21.057	22.083,00
Casa do Estudante - AT	0	0	0	27.767	26.706	31.656	32.598,67
TOTAL	1.820.682,00	1.797.032,00	1.870.825,00	1.891.067,00	1.832.778,00	1.823.202,00	1.781.150,67

Agosto (kWh)							
UC	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Prefeitura do Campus	15.498	15.744	12.722	17.102	15.064	14.494	12.945,33
Hospital Universitário	485.389	357.488	350.672	352.491	444.009	360.988	394.326,33
Cidade Universitária	1.181.696	1.136.310	1.214.059	1.337.054	1.349.021	1.268.226	1.249.272,33
Centro Desportivo	1.310	1.200	730	5.630	2.130	1.130	1.130,00
Restaurante Servidores	2.780	2.520	2.920	3.220	3.330	3.100	3.096,67
Campo dos Servidores	7.350	7.840	8.520	7.160	10.410	7.400	8.563,33
Moradia UFSC	933	858	1.193	828	789	378	215,00
UFSC - NETI	2.000	820	1.380	1.470	1.600	1.780	1.926,67
DAE	2.193	1.845	2.450	2.414	3.510	4.459	5.506,00
CTC	170.794	177.442	184.836	181.464	197.884	173.764	176.670,67
Instituto Eng. Biomédica	10.578	10.906	9.820	10.145	10.470	7.444	6.652,00
Reitoria II	0	0	0	18.885	21.010	22.220	24.040,00
Casa do Estudante - AT	0	0	0	26.102	25.253	24.253	23.353,67
TOTAL	1.880.521,00	1.712.973,00	1.789.302,00	1.963.965,00	2.084.480,00	1.889.636,00	1.907.698,00

Setembro (kWh)							
UC	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Prefeitura do Campus	14.883	16.605	12.645	17.132	13.814	13.602	11.319,33
Hospital Universitário	470.728	392.412	349.957	378.620	438.304	384.850	406.821,33
Cidade Universitária	1.223.267	1.328.166	1.312.086	1.453.586	1.401.453	1.367.224	1.321.059,00
Centro Desportivo	1.830	900	1.070	3.850	1.340	1.310	1.310,00
Restaurante Servidores	3.200	2.720	3.010	3.080	3.410	3.650	3.950,00
Campo dos Servidores	7.910	8.530	8.340	8.890	6.000	8.790	7.793,33
Moradia UFSC	1.085	783	1.148	678	597	526	448,33
UFSC - NETI	1.040	1.010	1.490	1.480	1.810	2.010	2.296,67
DAE	2.173	2.419	2.319	2.690	4.295	4.627	5.807,67
CTC	172.341	184.076	186.954	195.217	193.369	184.254	179.983,67
Instituto Eng. Biomédica	10.168	11.316	9.705	11.025	10.389	7.350	5.913,00
Reitoria II	0	0	0	20.741	21.681	23.063	24.150,33
Casa do Estudante - AT	0	0	0	27.434	29.151	28.278	29.131,67
TOTAL	1.908.625,00	1.948.937,00	1.888.724,00	2.124.423,00	2.125.613,00	2.029.534,00	1.999.984,33

Outubro (kWh)							
UC	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Prefeitura do Campus	16.359	19.065	13.570	16.497	12.692	13.675	11.466,00
Hospital Universitário	479.357	462.409	388.524	386.778	426.202	376.051	385.616,67
Cidade Universitária	1.476.407	1.551.722	1.408.789	1.504.170	1.398.313	1.412.681	1.346.899,00
Centro Desportivo	1.650	1.490	1.530	100	1.640	1.140	2.000,00
Restaurante Servidores	3.280	2.700	3.140	3.460	3.330	3.180	3.043,33
Campo dos Servidores	8.430	9.010	8.990	10.690	8.250	8.830	7.396,67
Moradia UFSC	1.065	910	928	827	526	330	64,00
UFSC - NETI	1.040	1.220	1.480	1.720	2.190	1.670	1.810,00
DAE	2.952	2.911	2.369	2.749	4.500	4.679	5.906,00
CTC	199.942	213.851	206.883	202.383	190.689	184.985	175.287,67
Instituto Eng. Biomédica	11.644	12.628	11.218	11.835	9.129	7.496	5.147,67
Reitoria II	0	0	0	23.482	21.870	24.485	24.282,00
Casa do Estudante - AT	0	0	0	23.552	28.095	26.935	29.577,00
TOTAL	2.202.126,00	2.277.916,00	2.047.421,00	2.188.243,00	2.107.426,00	2.066.137,00	1.998.496,00

Novembro (kWh)							
UC	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Prefeitura do Campus	16.728	9.026	14.649	19.227	14.673	13.910	10.619,67
Hospital Universitário	409.748	472.280	411.922	446.234	450.140	425.503	419.894,67
Cidade Universitária	1.462.205	1.735.649	1.531.689	1.774.599	1.534.859	1.525.278	1.362.257,67
Centro Desportivo	1.580	1.590	1.590	8.670	1.560	550	550,00
Restaurante Servidores	2.520	2.910	3.470	3.850	3.200	3.090	2.620,00
Campo dos Servidores	8.290	9.840	11.480	13.300	7.790	8.560	5.143,33
Moradia UFSC	991	1.000	975	803	433	365	95,67
UFSC - NETI	860	1.510	1.470	1.800	1.990	1.610	1.610,00
DAE	2.911	3.499	2.466	3.725	5.067	5.097	6.001,67
CTC	207.323	241.879	228.208	237.188	221.478	206.878	191.538,00
Instituto Eng. Biomédica	11.890	14.492	12.072	14.978	11.181	9.426	6.309,67
Reitoria II	0	0	0	31.479	27.622	26.327	23.324,00
Casa do Estudante - AT	0	0	0	22.826	28.522	26.859	30.102,00
TOTAL	2.125.046,00	2.493.675,00	2.219.991,00	2.578.679,00	2.308.515,00	2.253.453,00	2.060.066,33

Dezembro (kWh)							
UC	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Prefeitura do Campus	18.942	24.958	16.411	21.926	14.100	13.482	8.058,67
Hospital Universitário	464.942	514.820	465.281	517.832	466.708	449.819	410.106,67
Cidade Universitária	1.429.385	1.856.652	1.466.112	1.671.616	1.378.863	1.436.230	1.260.183,67
Centro Desportivo	1.590	1.610	1.780	4.020	1.490	2.470	1.110,00
Restaurante Servidores	2.670	2.770	3.310	3.580	3.370	3.250	3.070,00
Campo dos Servidores	8.970	10.190	11.160	12.190	9.200	9.760	7.953,33
Moradia UFSC	974	823	871	631	350	322	125,33
UFSC - NETI	1.020	1.820	1.630	2.230	2.220	1.990	1.906,67
DAE	3.895	4.495	2.936	2.275	6.208	5.562	7.968,67
CTC	227.833	276.065	235.243	247.747	210.737	200.729	172.719,67
Instituto Eng. Biomédica	15.416	18.885	13.894	17.662	11.868	9.877	5.350,67
Reitoria II	0	0	0	33.995	25.180	27.101	21.864,67
Casa do Estudante - AT	0	0	0	24.440	24.589	26.671	27.464,33
TOTAL	2.175.637,00	2.713.088,00	2.218.628,00	2.560.144,00	2.154.883,00	2.187.263,00	1.927.882,33

APÊNDICE D – Tabelas com as gerações totais dos módulos propostos de acordo com seu ângulo de inclinação.

Mês	Geração (kWh/mês)
Janeiro	2.927.304,03
Fevereiro	2.501.210,98
Março	2.529.601,09
Abril	2.176.465,93
Maiο	1.892.248,77
Junho	1.635.560,62
Julho	1.634.734,94
Agosto	2.070.698,86
Setembro	2.065.607,81
Outubro	2.521.088,64
Novembro	2.967.727,09
Dezembro	3.013.915,72
Total anual	27.936.164,48

Geração esperada para o projeto com módulos inclinados a 10°

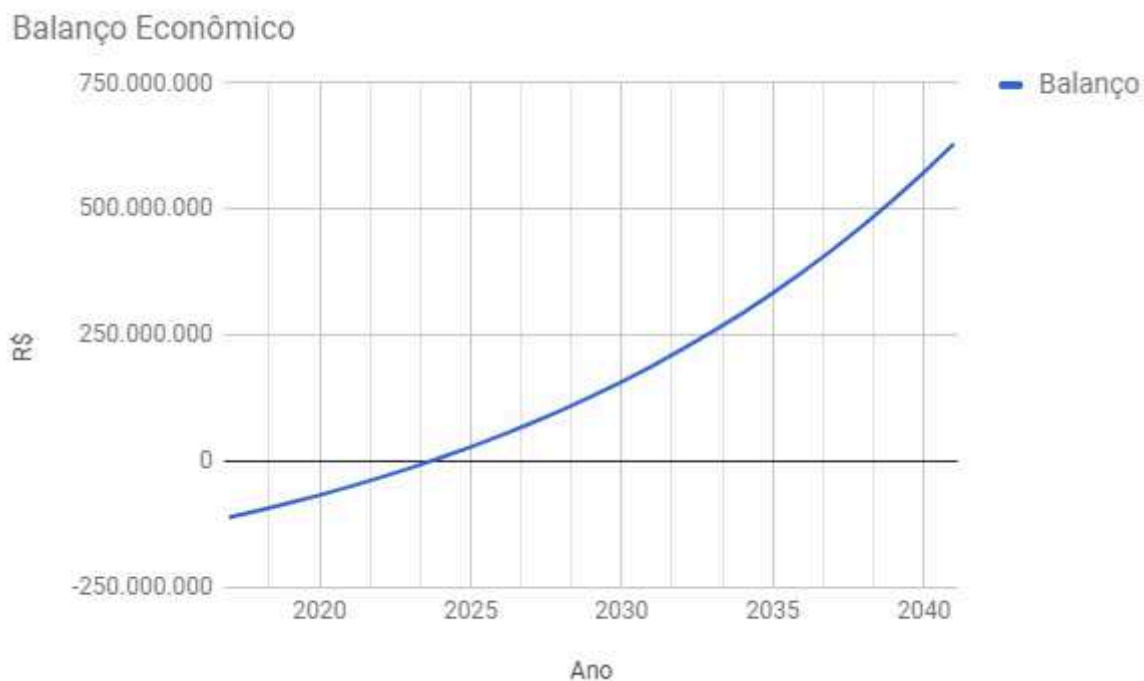
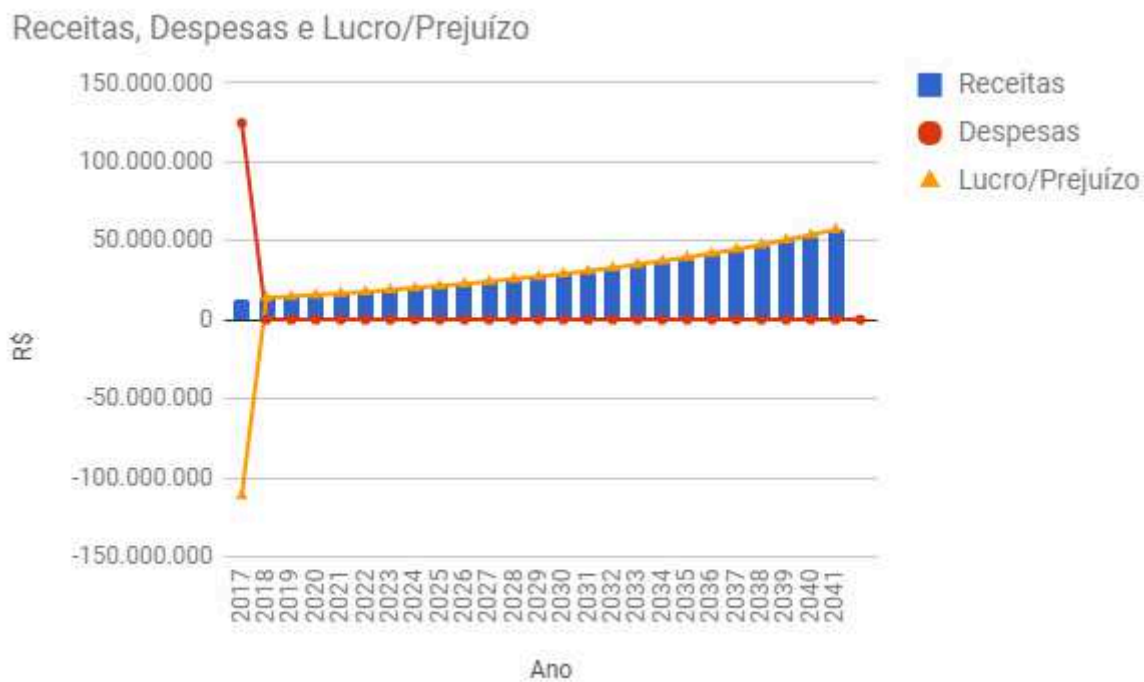
Mês	Geração (kWh/mês)
Janeiro	2.855.126,18
Fevereiro	2.464.402,85
Março	2.530.788,74
Abril	2.232.788,09
Maiο	1.987.628,53
Junho	1.738.942,32
Julho	1.714.483,21
Agosto	2.148.759,33
Setembro	2.076.257,54
Outubro	2.496.097,43
Novembro	2.901.896,12
Dezembro	2.931.914,07
Total anual	28.079.084,41

Geração esperada para o projeto com módulos inclinados a 19°

Mês	Geração (kWh/mês)
Janeiro	2.752.392,06
Fevereiro	2.398.395,55
Março	2.499.016,94
Abril	2.257.365,47
Maiο	2.054.864,18
Junho	1.819.093,12
Julho	1.771.262,80
Agosto	2.196.491,16
Setembro	2.060.038,81
Outubro	2.442.411,38
Novembro	2.800.023,01
Dezembro	2.816.549,71
Total anual	27.867.904,20

Geração esperada para o projeto com módulos inclinados a 27°

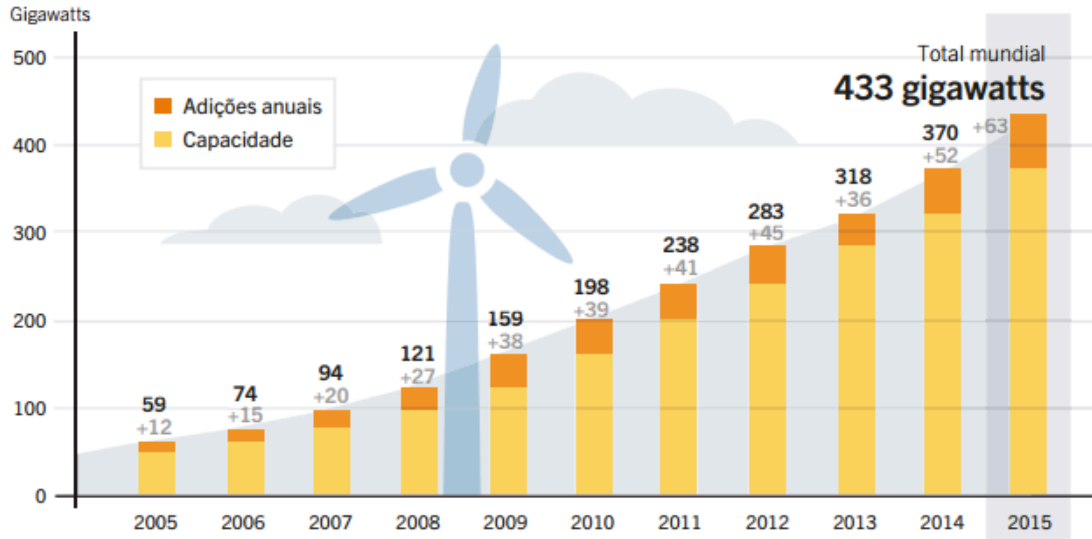
APÊNDICE E – Fluxo de caixa do investimento ano a ano e balanço econômico



ANEXOS

ANEXO A – Crescimento da fonte eólica, ano a ano, na escala anual (REN21, 2016b)

Capacidade mundial e adições anuais de energia eólica, 2005-2015



ANEXO B - Imagens de satélite com marcação das edificações desconsideradas (Google Maps, 2017)















