

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E
ELETRÔNICA**

Fellipe Paolo Buzzarello

**ANÁLISE FINANCEIRA DE REDE INTELIGENTE
PARA A UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA
CATARINA**

Florianópolis

2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Buzzarello, Fellipe Paolo
Análise financeira de rede inteligente para a
Universidade Federal de Santa Catarina / Fellipe Paolo
Buzzarello ; orientador, Marcelo Lobo Heldwein, 2019.
54 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,
Graduação em Engenharia Elétrica, Florianópolis, 2019.

Inclui referências.

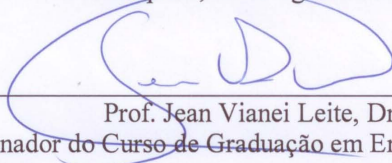
1. Engenharia Elétrica. 2. Sistema Fotovoltaico. 3.
Rede Inteligente. 4. Baterias. 5. Fluxo de Caixa. I.
Heldwein, Marcelo Lobo. II. Universidade Federal de Santa
Catarina. Graduação em Engenharia Elétrica. III. Título.

Fellipe Paolo Buzzarello

Análise Financeira de Rede Inteligente para a Universidade Federal de Santa Catarina

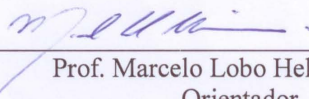
Este Trabalho foi julgado adequado como parte dos requisitos para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Elétrica e aprovado, em sua forma final, pela Banca Examinadora

Florianópolis, 29 de agosto de 2019.

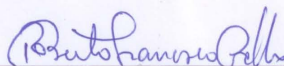


Prof. Jean Viane Leite, Dr.
Coordenador do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

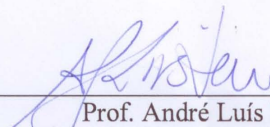
Banca Examinadora:



Prof. Marcelo Lobo Heldwein, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Roberto Francisco Coelho, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. André Luís Kirsten, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

RESUMO

Devido ao gasto anual próximo dos 18 milhões de reais com energia elétrica apresentado pela Universidade Federal de Santa Catarina e a recente situação financeira do serviço público, busca-se otimizar a utilização de energia elétrica. Desta maneira, este trabalho se propôs a analisar uma solução baseada na utilização de redes inteligentes compostas por geração fotovoltaica e armazenamento de energia para melhorar a eficiência do sistema, utilizar mais energia sustentável e obter redução nos custos de operação da universidade. A análise foi desenvolvida utilizando dados de consumo de energia fornecidos pela CELESC e pela UFSC (DPAE) e dados de irradiância solar captados na área da universidade com alto grau de precisão, além de valores do mercado para equipamentos e mão-de-obra.

Palavras-chave: Sistema Fotovoltaico. Rede Inteligente. Energia Limpa. Fluxo de Caixa Descontado. Baterias.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Cidades com unidades consumidoras de energia elétrica da UFSC.....	11
Figura 2	Consumo de energia elétrica ao longo dos anos na UFSC (kWh) (SCHEFFER, 2019).....	12
Figura 3	Custo total (R\$) com faturas de energia elétrica na UFSC: valores com correção monetária (SCHEFFER, 2019).....	12
Figura 4	Consumo na Ponta e Fora de Ponta da UFSC (SCHEFFER, 2019).....	13
Figura 5	Geração de Energia da forma convencional (LOPES; FERNANDES; MUCHALUAT-SAADE, 2015).....	14
Figura 6	Geração de Energia Distribuída (LOPES; FERNANDES; MUCHALUAT-SAADE, 2015).....	15
Figura 7	Projeção de Geração de Energia (ITO, 2017).....	17
Figura 8	Região das Engenharias Civil e Química na cor lilás ...	21
Figura 9	Demanda de energia do dia 24 de janeiro de 2017 na região das Engenharias Civil e Química.....	22
Figura 10	Demanda de energia do dia 15 de julho de 2017 na região das Engenharias Civil e Química.....	23
Figura 11	Demanda de energia por m ² do dia 24 de janeiro de 2017	24
Figura 12	Consumo de energia em 2017 amostrado diariamente ..	25
Figura 13	Consumo de Energia em 2017 no Prédio do IEB amostrado diariamente.....	25
Figura 14	Consumo de Energia em 2017 no Prédio do IEB amostrado diariamente ordenado do menor para o maior consumo e separado em quartis.....	26
Figura 15	4 padrões de Consumo de Energia utilizados para o Prédio do IEB.....	26
Figura 16	Irradiância Solar do dia 24 de janeiro de 2017.....	27
Figura 17	Irradiância Solar do dia 15 de julho de 2017.....	28
Figura 18	Irradiação Solar total amostrada diariamente.....	29
Figura 19	Irradiação Solar total amostrada diariamente ordenada do menor para o maior e separado em quartis.....	29
Figura 20	4 padrões de Irradiância Solar utilizados.....	30
Figura 21	Mapa de Irradiação Solar Direta do Brasil.....	31

Figura 22 Curva de eficiência do inversor Fronius Symo 20.0-3-M.	33
Figura 23 Potência Gerada em cada curva padrão	34
Figura 24 Curvas Padrão de Demanda Energética da Biblioteca Universitária	38
Figura 25 Fluxo de Caixa Descontado para Sistema Fotovoltaico de 200 m ² e 4 tamanhos de baterias - Biblioteca Universitária	41
Figura 26 Fluxo de Caixa Descontado para Sistema Fotovoltaico de 600 m ² e 3 tamanhos de baterias - Biblioteca Universitária	41
Figura 27 Fluxo de Caixa Descontado para Sistema Fotovoltaico de 1000 m ² e 3 tamanhos de baterias - Biblioteca Universitária ...	42
Figura 28 Fluxo de Caixa Cumulativo Descontado para sistema ideal da Biblioteca Universitária com taxa de desconto de 6%	43
Figura 29 Fluxo de Caixa Cumulativo Descontado para sistema ideal da Biblioteca Universitária com taxa de desconto de 15,1%..	43
Figura 30 Centro Tecnológico	45
Figura 31 Curvas Padrão de Demanda Energética do Centro Tec- nológico	46
Figura 32 Fluxo de Caixa Descontado para Sistema Fotovoltaico de 1200 m ² e 3 tamanhos de baterias - Centro Tecnológico	47
Figura 33 Fluxo de Caixa Descontado para Sistema Fotovoltaico de 2200 m ² e 3 tamanhos de baterias - Centro Tecnológico	48
Figura 34 Fluxo de Caixa Descontado para Sistema Fotovoltaico de 3200 m ² e 3 tamanhos de baterias - Centro Tecnológico	48
Figura 35 Fluxo de Caixa Cumulativo Descontado para sistema ideal do Centro Tecnológico com taxa de desconto de 6%	49
Figura 36 Fluxo de Caixa Cumulativo Descontado para sistema ideal do Centro Tecnológico com taxa de desconto de 15,1%	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Área das Edificações	23
Tabela 2	Modelos de Módulos Fotovoltaicos	32
Tabela 3	Modelos de Inversores de Frequência <i>grid-tie</i>	33
Tabela 4	Total de Energia Gerada em um ano	34
Tabela 5	Preço dos Equipamentos	36
Tabela 6	Preço de Instalação e Manutenção	37
Tabela 7	Preço da Energia Elétrica	37
Tabela 8	Dados Gerais da Biblioteca Universitária	39
Tabela 9	Número de dias no ano para cada combinação de curvas padrão	39
Tabela 10	Dados Gerais do Sistema - Biblioteca Universitária	44
Tabela 11	Dados Gerais do Centro Tecnológico	46
Tabela 12	Número de dias no ano para cada combinação de curvas padrão	46
Tabela 13	Dados Gerais do Sistema - Centro Tecnológico	50

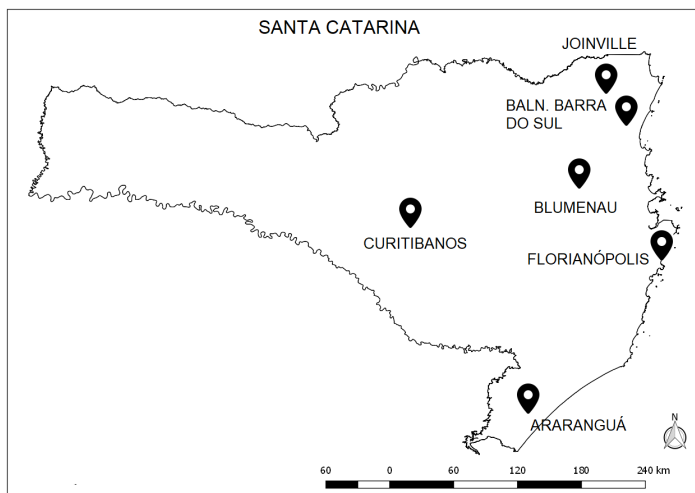
SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 CONSUMO DE ENERGIA DA UFSC	11
1.2 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	14
1.3 METODOLOGIA	18
2 ESTUDO DA DEMANDA DE ENERGIA	21
2.1 ANÁLISE DE DEMANDA	22
2.2 ESTIMATIVA DE CONSUMO PARA EDIFICAÇÕES	23
2.3 PADRONIZAÇÃO DAS CURVAS DE CONSUMO	24
3 GERAÇÃO FOTOVOLTAICA	27
3.1 ANÁLISE DA IRRADIÂNCIA SOLAR	27
3.2 PADRONIZAÇÃO DAS CURVAS DE IRRADIÂNCIA	28
3.3 EFICIÊNCIA NA GERAÇÃO DE ENERGIA	31
3.3.1 Células Solares	31
3.3.2 Inversores de Frequência	32
3.3.3 Energia Gerada	33
4 ESTUDOS DE CASO	35
4.1 PARÂMETROS DO MODELO FINANCEIRO	35
4.1.1 Equipamentos	35
4.1.2 Instalação e Manutenção do sistema	36
4.1.3 Preço da Energia Elétrica	37
4.2 BIBLIOTECA UNIVERSITÁRIA	38
4.2.1 Demanda Energética E Geração de Energia	38
4.2.2 Avaliação Financeira	39
4.3 CENTRO TECNOLÓGICO	44
4.3.1 Demanda Energética e Geração de Energia	45
4.3.2 Avaliação Financeira	47
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	51
5.1 CONCLUSÃO	51
5.2 RECOMENDAÇÕES FUTURAS	52
REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

A Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) concluiu 2018 com 83 unidades consumidoras de energia elétrica, que são atendidas pela concessionária CELESC (Centrais Elétricas de Santa Catarina), pelo mercado cativo. Tais unidades estão dispostas ao longo de Santa Catarina nas cidades de Araranguá, Blumenau, Curitibanos, Joinville, Florianópolis e Balneário Barra do Sul (Figura 1). (SCHEFFER, 2019)

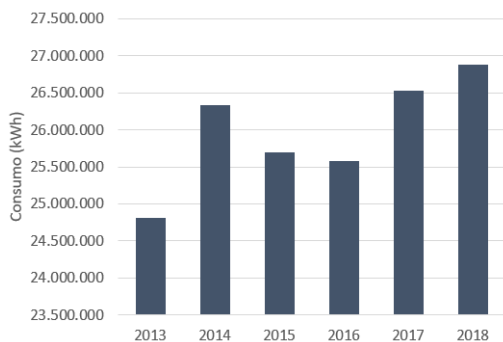
Figura 1 – Cidades com unidades consumidoras de energia elétrica da UFSC.



1.1 CONSUMO DE ENERGIA DA UFSC

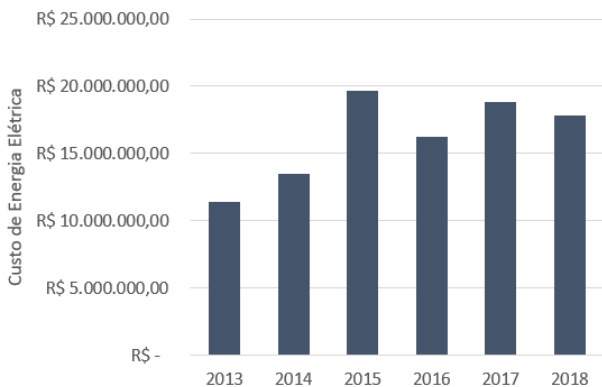
A Figura 2 mostra a evolução do consumo de energia elétrica na UFSC de 2013 a 2018, que representa um aumento de 8,36%, de 24,8 GWh a 26,9 GWh. Esse aumento é representativo, mas é influenciado pelo crescimento das unidades de fora de Florianópolis.

Figura 2 – Consumo de energia elétrica ao longo dos anos na UFSC (kWh) (SCHEFFER, 2019)



O consumo de energia elétrica da UFSC em 2018 representa o equivalente a 11.621 residências catarinenses (SCHEFFER, 2019). Tamanho consumo gera custos elevados, chegando a quase 18 milhões de reais em 2018 (Figura 3), que é um aumento de quase 56% quando comparado ao ano de 2013, mesmo incluindo correção monetária.

Figura 3 – Custo total (R\$) com faturas de energia elétrica na UFSC: valores com correção monetária (SCHEFFER, 2019)



O custo da energia elétrica para a UFSC aumenta sua relevância devido à conjuntura econômica atual. As alterações orçamentárias anunciadas em maio de 2019 obrigaram a UFSC a adequar as contas

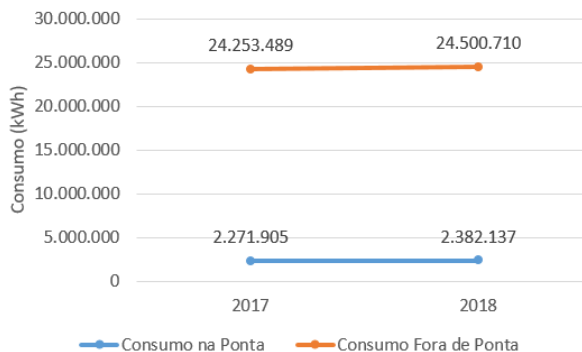
para conseguir manter as atividades normalmente. A Instituição revisou despesas, mas não descarta ter que atrasar pagamentos básicos como energia elétrica se não receber mais recursos. (LAURINDO, 2019)

Porém, de acordo com o Departamento de Planejamento e Gestão da Informação (DPGI) da UFSC, o orçamento de toda a UFSC em 2018 foi de 1,48 bilhões de reais, fazendo da conta de energia apenas 1,2% do custo total da Universidade. Apesar disso, retirando o custo de salários, aposentadoria, benefícios e encargos sociais (ou seja, custos de pessoal), o orçamento de 2018 foi de 171 milhões de reais, fazendo a energia elétrica ter mais de 10% de representatividade, mostrando também ser uma dificuldade orçamentária.

A UFSC recebe cobrança diferenciada de acordo com o horário de consumo ao longo dos dias. Atualmente, há dois postos tarifários que são aplicados às unidades da UFSC, denominadas “horário de ponta” e “horário fora de ponta”. Na CELESC, o horário de ponta se dá no intervalo entre 18h30min e 21h30min. A tarifa para este posto tarifário é mais elevada – como meio de incentivar a redução de consumo da população durante o pico. (SCHEFFER, 2019)

A Figura 4 mostra que em torno de 8,5% da energia consumida pela UFSC é em horário de ponta, onde existe a cobrança de um valor consideravelmente mais elevado que no resto do dia.

Figura 4 – Consumo na Ponta e Fora de Ponta da UFSC (SCHEFFER, 2019)



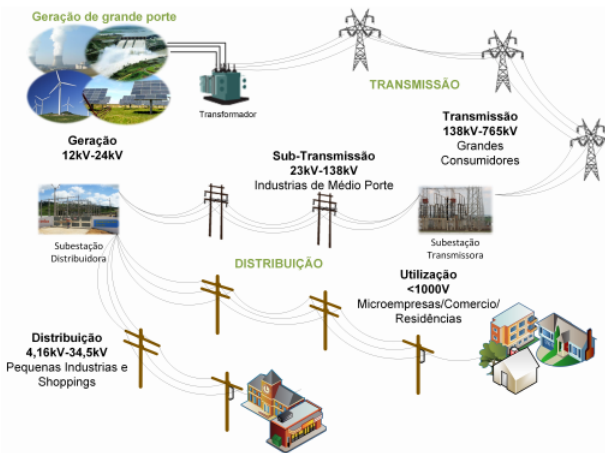
A diferença de valor entre o horário de ponta e horário fora de ponta permite que, com um melhor gerenciamento do uso da energia elétrica, o seu custo seja reduzido consideravelmente. Para melhorar a

eficiência do sistema e reduzir a importação de energia é possível utilizar uma ou mais redes inteligentes compostas por geração distribuída e armazenamento de energia em locais estratégicos da UFSC.

1.2 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Antes de abordar o sistema de geração distribuída, é importante observar o sistema de geração convencional (Figura 5).

Figura 5 – Geração de Energia da forma convencional (LOPES; FERNANDES; MUCHALUAT-SAADE, 2015)



Há duas principais características na geração convencional contrárias à geração distribuída:

- Fluxo unidirecional de comunicação e de energia: não há interação entre os serviços e os consumidores, pois só há transmissão de energia unidirecionalmente, e com isso, o consumidor não pode interagir com serviços, fazendo suas próprias escolhas sobre como usar a energia. O sistema utilizado não facilita e muitas vezes não permite que o consumidor perceba os reflexos decorrentes da forma de usar a eletricidade e tome ações de acordo com as informações recebidas (LOPES; FERNANDES; MUCHALUAT-SAADE, 2015).

- Geração de energia centralizada: Quando diz-se que a geração de energia é feita de forma centralizada, não significa dizer que a geração é realizada em somente um ponto. Na verdade, a geração é feita em grandes usinas distantes e dispostas em várias regiões. Este conceito é relacionado ao fato de que uma grande quantidade de energia é gerada em poucas usinas muito distante do consumidor, tendo então que ser transmitida por longas distâncias, gerando muitas perdas e com custo elevado. Com isso, essa forma de geração de energia por meios tradicionais não consegue mais acompanhar o crescimento da demanda (LOPES; FERNANDES; MUCHALUAT-SAADE, 2015).

Já os sistemas de geração distribuída (Figura 6) são apresentados como uma boa forma de oferecer energia elétrica de maneira sustentável. O conceito é particularmente interessante quando diferentes tipos de fontes de energia estão disponíveis, como geração fotovoltaica, células de combustível ou turbinas eólicas. A geração distribuída permite a integração de fontes renováveis e alternativas. Devido a isso, a geração distribuída está se tornando parte estratégica dos planos da maioria dos países para resolver os atuais desafios associados com o gerenciamento de energia. (GUERRERO et al., 2010)

Figura 6 – Geração de Energia Distribuída (LOPES; FERNANDES; MUCHALUAT-SAADE, 2015)



A geração distribuída pode servir como uma proteção contra as flutuações das tarifas e este é um dos principais *drivers* para a demanda da mesma, ou seja, utilizar a geração distribuída para o uso contínuo ou para o horário de ponta. Isso acontece porque ela permite que os participantes do setor elétrico possam responder, de forma

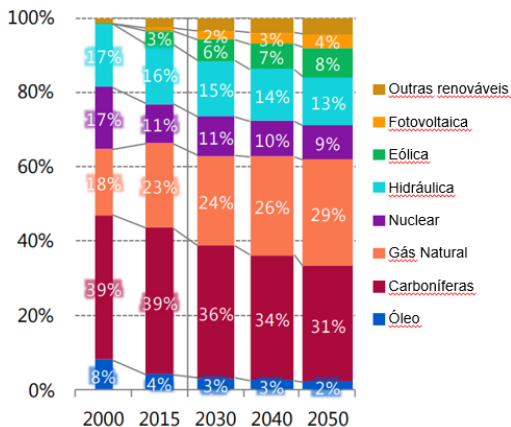
flexível, às mudanças nas condições de mercado (LOPES; FERNANDES; MUCHALUAT-SAADE, 2015).

A geração distribuída pode ser realizada tanto com fontes de energia limpa quanto com fontes tradicionais, por exemplo:

- Energia Hidráulica: funciona por meio da pressão da água que gira uma turbina, transformando a energia potencial em energia mecânica rotacional. Depois de passar pela turbina, o gerador transforma a energia mecânica rotacional em energia elétrica (KAGAN; GOUVEA, 2013).
- Energia Maremotriz: pode ser aproveitada de duas formas: energia potencial, pelas variações do nível do mar, e energia cinética, pela correntes marítimas (KAGAN; GOUVEA, 2013).
- Energia Eólica: instalações eólicas são compostas por hélices presas em um pilar, que aproveitam a energia mecânica produzida pelos ventos para transformá-la em energia elétrica (KAGAN; GOUVEA, 2013).
- Biocombustíveis: a energia da biomassa é aquela que utiliza fontes orgânicas de origem animal ou vegetal. Atualmente as usinas térmicas a biomassa representam 6,6% da matriz de energia elétrica do Brasil (KAGAN; GOUVEA, 2013).
- Energia Fotovoltaica: um sistema de geração fotovoltaica é uma fonte de energia que, utilizando células fotovoltaicas, converte diretamente energia luminosa em eletricidade. O Brasil possui um grande potencial de irradiação solar, porém os sistemas fotovoltaicos conectados à rede brasileira são ainda escassos (KAGAN; GOUVEA, 2013).

Na Figura 7 pode-se notar o rápido crescimento projetado para a geração de energia fotovoltaica, num ritmo de quase 5% ao ano, próximo da geração eólica e muito a frente das demais tecnologias. Por ser a energia limpa que mais se encaixa no ambiente da UFSC, que possui amplo terreno para instalação do arranjo fotovoltaico e demanda de energia predominante durante o dia, a geração fotovoltaica foi utilizada como único tipo de geração de energia para a rede inteligente proposta.

Figura 7 – Projeção de Geração de Energia (ITO, 2017)



O uso da geração distribuída em sistemas de energia não faz sentido sem o uso de sistemas de armazenamento de energia para trabalhar em conjunto no gerenciamento da energia (GUERRERO et al., 2010). Com o propósito de suavizar a intermitência da geração fotovoltaica, é necessário que o período em que o sistema de armazenamento fornece energia vá de minutos até horas e que a potência gerada possa ser estendida até a faixa dos MW (WANG; CIOBOTARU; AGELIDIS, 2012).

Com o uso do armazenamento de energia, há a possibilidade de equilíbrio entre a geração de energia e demanda de energia tanto armazenando energia quando essa é gerada em excesso, quanto utilizando a energia armazenada quando o fornecimento não for suficiente. Portanto, o armazenamento de energia torna o sistema mais flexível para atender as demandas (LOPES; FERNANDES; MUCHALUAT-SAADE, 2015).

Existem várias tecnologias de armazenamento de energia baseadas em baterias, ar comprimido, bombeamento hidráulico, volante inercial, supercapacitores e supercondutores (WANG; CIOBOTARU; AGELIDIS, 2012).

O bombeamento hidráulico é limitado pela necessidade de um local com relevo específico. O armazenamento de energia a ar comprimido é projeto para aplicações de alta potência que requerem um armazenamento de longo prazo, mas depende de condições específicas no local ou de equipamentos de grande porte. O volante inercial e os supercapacitores são bem utilizados em aplicações que requerem armazenamento de curto prazo. O armazenamento de energia com baterias

parece uma boa solução, já que funciona em diversas aplicações e também pode ser utilizado para armazenamento de longo prazo (WANG; CIOBOTARU; AGELIDIS, 2012).

Devido à alta densidade de potência e de energia e também alta eficiência, a bateria de *Li-ion* seria, em teoria, uma excelente tecnologia para redes inteligentes com geração fotovoltaica, porém, não é amplamente adotada devido seu alto custo de produção. Por enquanto, a bateria de chumbo-ácido é a tecnologia dominante no mercado devido ao seu baixo custo. Porém, esta bateria possui grandes limitações em seu ciclo de vida sobre exigentes condições de descarga (WANG; CIOBOTARU; AGELIDIS, 2012).

Em comparação com baterias convencionais, a bateria de fluxo Redox de Vanádio possui um alto número de ciclos e quase não existe degradação causada por razões químicas. Apesar de possuir uma operação mais complexa e uma relativamente baixa densidade energética, sua principal vantagem é que sua energia e potência são completamente independentes uma da outra. Devido a sua flexibilidade de potência e energia, esta bateria é adequada para redes com geração fotovoltaica de larga escala. (WANG; CIOBOTARU; AGELIDIS, 2012)

Sistemas de baterias de fluxo Redox de Vanádio em conjunto com interfaces dedicadas de eletrônica de potência são uma tecnologia promissora para armazenamento de energia em aplicações de redes inteligentes, em quais a geração intermitente das fontes renováveis deve suprir a demanda do sistema e fazer sentido financeiramente (GUARNIERI et al., 2016). Por essas razões a bateria de fluxo redox foi selecionada para o presente estudo de caso.

1.3 METODOLOGIA

Este trabalho tem seu enfoque em verificar a viabilidade financeira de um projeto de implantação de uma rede de energia híbrida composta, além da conexão à rede da CELESC, de geração fotovoltaica e de unidades de armazenamento de energia para formar uma rede inteligente. O trabalho se desenvolve na forma de um estudo de caso, que é a aplicação das soluções vislumbradas na Biblioteca Universitária (BU) e no Centro Tecnológico (CTC) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Assim, as seguintes etapas foram desenvolvidas ao longo do trabalho:

- Estudar a demanda energética;

- Estudar o potencial de geração fotovoltaica;
- Realizar o estudo de caso para a Biblioteca Universitária e para o Centro Tecnológico;
- Realizar a modelagem financeira da implementação da microrrede.

2 ESTUDO DA DEMANDA DE ENERGIA

O primeiro passo do estudo de caso é a análise da demanda de energia do local de foco. Para isso, seriam necessárias unidades de medição instaladas na entrada de energia dos prédios do Centro Tecnológico e da Biblioteca Universitária por um longo período de tempo. Porém, essas unidades de medição não existem hoje nas edificações. Assim, uma metodologia para estimativa da demanda foi utilizada, onde traça-se um paralelo entre o consumo de edificações semelhantes que possuem unidades de medição. Com o auxílio do Departamento de Projetos de Arquitetura e Engenharia (DPAE) foram encontrados dados de consumo do ano de 2017 completo de 3 unidades da UFSC em seu *campus* de Florianópolis na Trindade:

- Região das Engenharias Civil e Química (Figura 8), composta em sua maioria por salas de aula e laboratórios;
- Prédio do IEB, composto em sua maioria por laboratórios;
- Prédio da Reitoria 2, composto por salas administrativas.

Figura 8 – Região das Engenharias Civil e Química na cor lilás



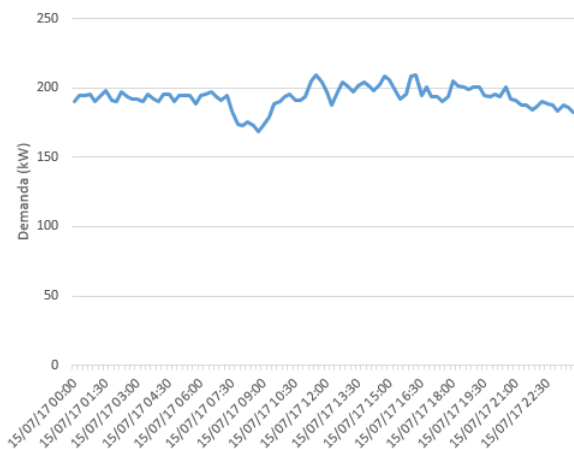
2.1 ANÁLISE DE DEMANDA

Os dados de consumo de energia possuem amostras de 15 em 15 minutos, fornecendo ótima precisão sobre as curvas diárias de consumo das regiões referidas no ano de 2017. Como exemplo, a seguir encontram-se duas curvas de consumo de energia da região das Engenharias Civil e Química. A primeira, na Figura 9, mostra um típico dia de verão com alto consumo de energia, uma terça-feira, dia 24/01/2017. Já a segunda, um sábado de inverno, o dia 15/07/2017, na Figura 10. Estes dois exemplos bastante opostos mostram a clara influência de duas importantes variáveis: férias escolares e padrão climático, ou estação do ano.

Figura 9 – Demanda de energia do dia 24 de janeiro de 2017 na região das Engenharias Civil e Química



Figura 10 – Demanda de energia do dia 15 de julho de 2017 na região das Engenharias Civil e Química



2.2 ESTIMATIVA DE CONSUMO PARA EDIFICAÇÕES

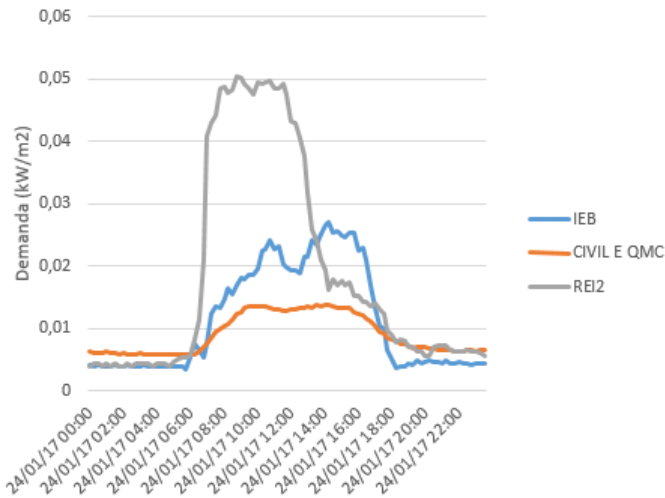
Para que fosse possível extrapolar os resultados para os locais de foco do estudo, o consumo foi normalizado pela área total construída das edificações. Ou seja, foi encontrado o consumo por m^2 das 3 regiões ao longo do ano. Por falta de precisão nas documentações da UFSC, não há certeza sobre as construções que compõem cada uma das 3 unidades de medição. Assim, é importante lembrar que pode existir alguma disparidade entre os dados reais em relação ao que está sendo considerado para o estudo. Os dados relativos às áreas das edificações também foram providos pelo Departamento de Projetos de Arquitetura e Engenharia, por meio de seu formulário de consulta ao acervo, e estão na tabela 1.

Tabela 1 – Área das Edificações

Edificação	Área (m^2)
Região das Engenharias Civil e Química (Figura 8)	42154
Prédio do IEB	2224
Prédio da Reitoria 2	3470

A Figura 11 apresenta a demanda por m^2 das três regiões escolhidas como base para a estimativa de demanda durante um dia do ano. É plausível sugerir que se trata do período de recesso escolar, com tempo de maior utilização do prédio administrativo entre 7h30 e 13h30 e baixa demanda nas demais edificações compostas por laboratórios e salas de aula, devido à ausência da maioria dos discentes. Novamente, foi utilizado como exemplo o dia 24/01/2017, terça-feira.

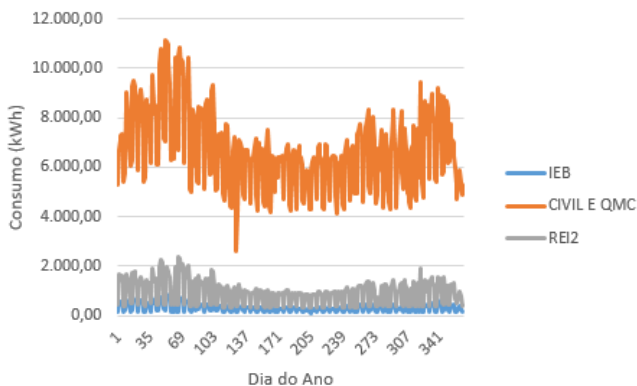
Figura 11 – Demanda de energia por m^2 do dia 24 de janeiro de 2017



2.3 PADRONIZAÇÃO DAS CURVAS DE CONSUMO

Com o objetivo de exigir menor poder computacional e manter a fidelidade do modelo foram criados padrões de consumo para cada tipo de edificação. Os padrões foram estabelecidos com base na divisão por quartil. Na estatística descritiva, o quartil é qualquer um dos três valores que divide um conjunto ordenado de dados (nesse caso, o total de energia consumida em um dia) em quatro partes iguais, fazendo com que cada amostra represente 25% da população total. Observando a curva que representa a energia consumida por dia em cada uma das edificações escolhidas (Figura 12) nota-se uma grande diferença entre cada dia.

Figura 12 – Consumo de energia em 2017 amostrado diariamente



Para exemplificar, é apresentado a seguir um aprofundamento no prédio do IEB. Observa-se uma variação maior que 400% entre os dias de menor consumo e os picos do ano, próximos do dia 55, entre fevereiro e março, na Figura 13. Quando é realizada a separação por quartis, obtêm-se 4 amostras de aproximadamente 90 dias cada, como é visto na Figura 14, com o eixo das abcissas ordenado pelo consumo.

Figura 13 – Consumo de Energia em 2017 no Prédio do IEB amostrado diariamente

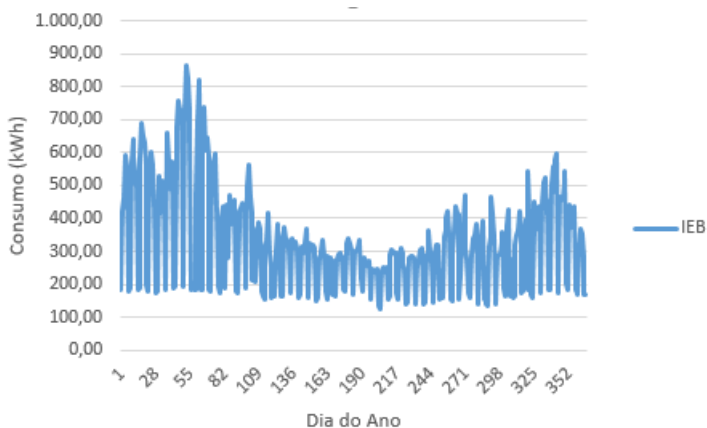
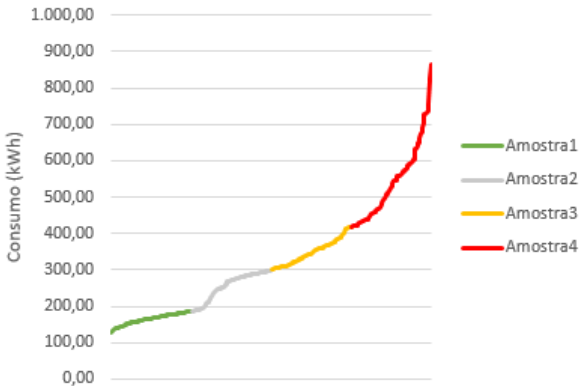
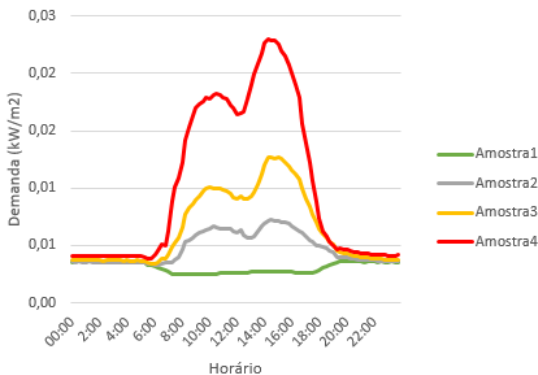


Figura 14 – Consumo de Energia em 2017 no Prédio do IEB amostrado diariamente ordenado do menor para o maior consumo e separado em quartis



Para cada uma das amostras foi realizada uma média das curvas de demanda diária, gerando assim 4 curvas diárias padronizadas a serem consideradas para a modelagem. Esse processo foi utilizado para o IEB, Reitoria 2 e Região das Engenharias Civil e Química, sendo assim cada tipo de edificação possui 4 curvas diárias com amostragem de 15 minutos. Na Figura 15 estão as curvas de demanda por metro quadrado do IEB.

Figura 15 – 4 padrões de Consumo de Energia utilizados para o Prédio do IEB



3 GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

Este capítulo será dedicado à geração de energia para a microrrede hipotética. Os dados de irradiância solar são referentes à área do *campus* Trindade da Universidade Federal de Santa Catarina, em Florianópolis.

3.1 ANÁLISE DA IRRADIÂNCIA SOLAR

A medição da irradiância solar foi obtida com o auxílio do LEP-TEN - Laboratórios de Engenharia de Processos de Conversão e Tecnologia de Energia, que possui cinco estações de medição de irradiância no Estado de Santa Catarina. Com dados de janeiro de 2013 a dezembro de 2018 amostrados minuto a minuto é possível criar um modelo de irradiância solar preciso para o estudo de caso. Como exemplo, a seguir encontram-se duas curvas de irradiância solar nos mesmos dias observados no capítulo anterior. A primeira, na Figura 16, mostra um típico dia de verão com alto consumo de energia, uma terça-feira, dia 24/01/2017. Já a segunda, um sábado de inverno, dia 15/07/2017, na Figura 17.

Figura 16 – Irradiância Solar do dia 24 de janeiro de 2017

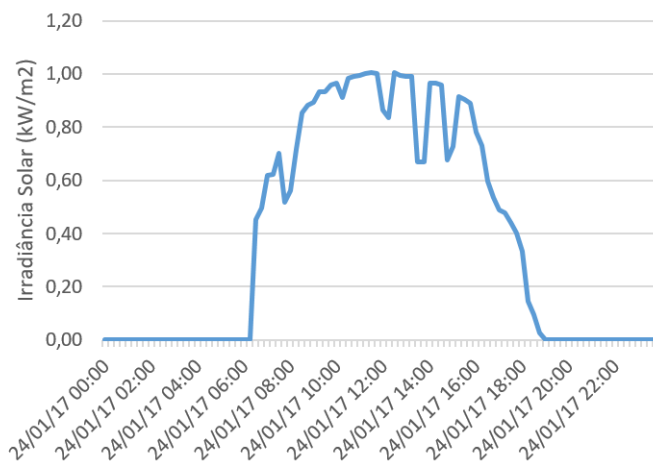
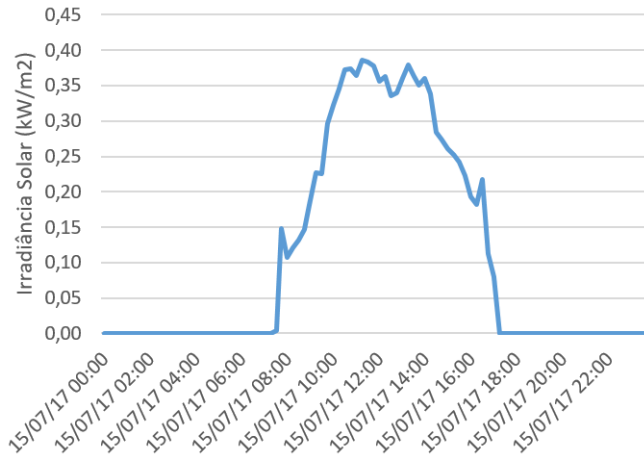


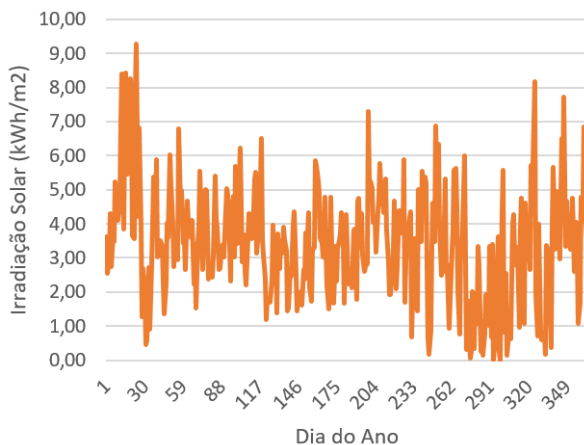
Figura 17 – Irradiância Solar do dia 15 de julho de 2017



3.2 PADRONIZAÇÃO DAS CURVAS DE IRRADIÂNCIA

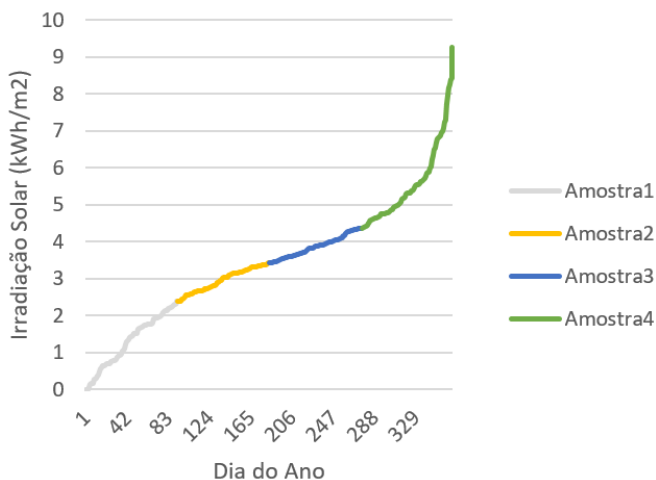
Inicialmente, com os dados de 5 anos (2013 a 2018), foi realizada uma média para encontrar uma aproximação do comportamento padrão de um ano padronizado. Com o padrão de irradiância solar de um ano padronizado foi realizada a divisão por quartis, de maneira análoga à análise do consumo de energia no Capítulo anterior. Essa padronização foi necessária devido à grande variação de irradiação solar de um dia para o outro, chegando a mais de 1000% de variação entre os casos extremos, como visto na Figura 18.

Figura 18 – Irradiação Solar total amostrada diariamente



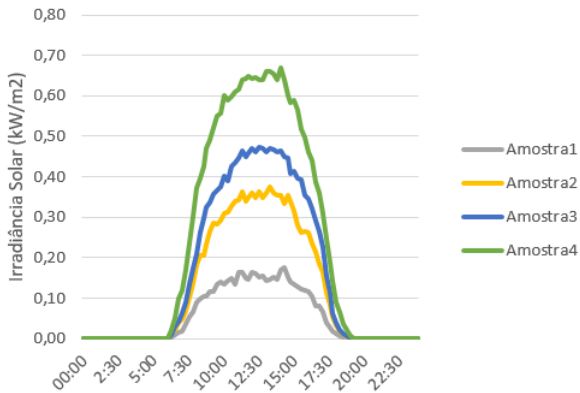
Assim que a separação por quartis é feita, são encontradas 4 amostras de aproximadamente 90 dias cada, como é visto na Figura 19, com o eixo das abcissas ordenado pela irradiação solar total em um dia.

Figura 19 – Irradiação Solar total amostrada diariamente ordenada do menor para o maior e separado em quartis



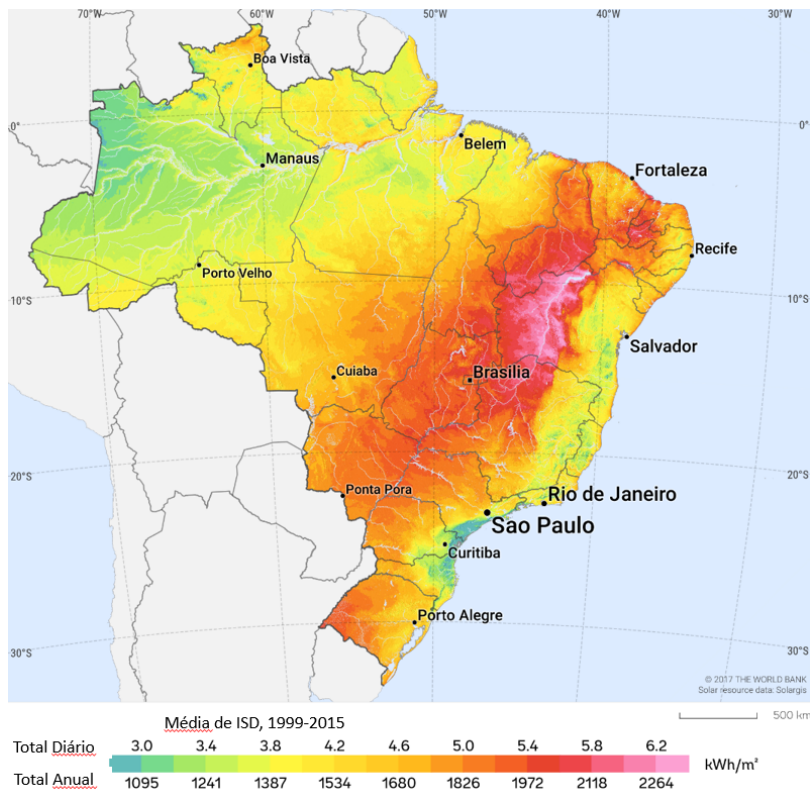
Novamente, com a média de cada quartil foram geradas 4 curvas diárias padronizadas para a modelagem. Na Figura 20 estão as curvas de irradiância solar por m^2 no *campus* Trindade da Universidade Federal de Santa Catarina.

Figura 20 – 4 padrões de Irradiância Solar utilizados



É importante notar que a irradiação solar total encontrada em um ano utilizando as 4 curvas diárias padronizadas é de $1250,83 \text{ kWh/m}^2$. O dado faz sentido quando comparado com o encontrado no Mapa de Irradiação Solar Direta do Brasil pelo *World Bank Group* em parceria com a *Solargis* (SOLARGIS, 2019), na Figura 21.

Figura 21 – Mapa de Irradiação Solar Direta do Brasil



3.3 EFICIÊNCIA NA GERAÇÃO DE ENERGIA

A partir da irradiação solar é possível gerar a energia a ser utilizada na rede inteligente. Um sistema fotovoltaico apresenta perdas que devem ser consideradas no estudo de caso. Foram estudadas as perdas nas módulos fotovoltaicos e nos inversores de tensão.

3.3.1 Células Solares

Com o foco no estudo de caso, foram escolhidos módulos fotovoltaicos facilmente encontradas no mercado brasileiro. Na Tabela 2

encontra-se um resumo com alguns modelos de módulos e suas principais características.

Tabela 2 – Modelos de Módulos Fotovoltaicos

Modelo	Preço ($R\$/m^2$)	Eficiência (%)	Potência (W/m^2)
RSM36-6-150P	349,76	15,15%	149,05
CS6K-275P	344,29	16,80%	170,59
CS6U-330P	334,30	16,97%	169,72
CS3W-395P	387,75	17,88%	179,13
CS3U-360P	383,0	18,15%	181,45
BYDPHK-330P	286,789	16,70%	167,50
GBR-260P	512,7	18,02%	180,15

Com uma média simples da eficiência dos módulos de preço por m^2 próximo (entre $R\ \$ 330,00$ e $R\ \$ 390,00$) chega-se a uma eficiência de 16,99%, que é o valor a ser utilizado no estudo.

Na modelagem também foi utilizada uma taxa de degradação da eficiência dos módulos fotovoltaicos. Esta taxa, para módulos de *Silício Multi-Cristalino* é abaixo de 1% ao ano, assim o valor utilizado no estudo é 1% ao ano, de maneira conservadora. (JORDAN; KURTZ, 2013)

3.3.2 Inversores de Frequência

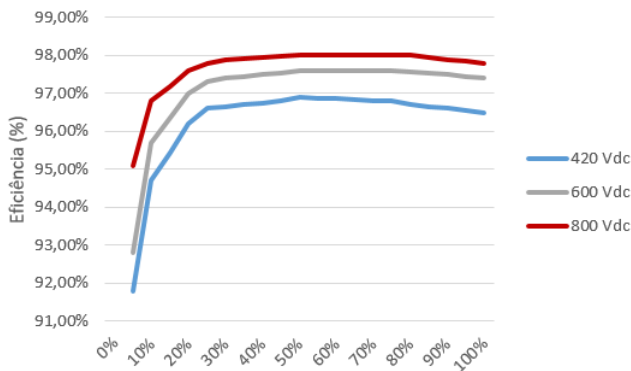
Assim como nos módulos fotovoltaicos, foram pesquisados inversores de tensão comumente utilizados no mercado nacional. Para a aplicação do estudo de caso é necessário que o inversor de tensão seja *grid-tie*, ou seja, que ele possa ser conectado à rede elétrica. Na Tabela 3 pode-se ver um compilado de modelos comumente encontrados no mercado brasileiro.

Tabela 3 – Modelos de Inversores de Frequência *grid-tie*

Marca	Modelo	Preço (R\$)	Potência de Saída
Fronius	Primo 3.0-1	8690,00	3,0 kW
Fronius	Primo 8.2-1	13790,00	8,2 kW
Fronius	Symo 12.5-3-M	20690,00	12,5 kW
Fronius	Symo 20.0-3-M	24000,00	20,0 kW
SMA	SB 1600TL-10	6890,00	1,6 kW
SMA	SB 3000TL-21	10490,00	3,0 kW
SMA	SMC 7000HV-11	14390,00	7,0 kW

Devido à melhor relação de preço e potência de saída e a necessidade de um menor número de equipamentos, além de se encaixar na aplicação proposta, o inversor *Fronius Symo 20.0-3-M* foi utilizado no modelo. A curva de eficiência do mesmo pode ser vista na Figura 22.

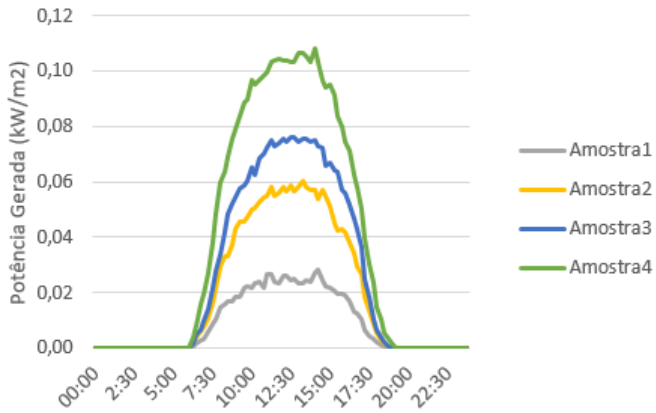
Figura 22 – Curva de eficiência do inversor Fronius Symo 20.0-3-M



3.3.3 Energia Gerada

Considerando as 4 curvas de irradiância e as taxas de eficiência dos principais equipamentos do sistema fotovoltaico foi possível encontrar 4 curvas de geração de energia para o sistema da rede inteligente (Figura 23).

Figura 23 – Potência Gerada em cada curva padrão



Utilizando as quatro curvas de irradiância aproximadas é possível gerar 201,89 kWh/m² em um ano. A Figura 4 detalha a quantidade de energia gerada por cada uma das amostras e o número de ocorrências das mesmas durante um ano padrão.

Tabela 4 – Total de Energia Gerada em um ano

Amostra	Energia (kWh/m ²)	Número de ocorrências no ano
1	0,210	91
2	0,477	91
3	0,624	92
4	0,901	91

4 ESTUDOS DE CASO

Antes de abordar os estudos de caso selecionados é importante a definição de diversos parâmetros que serão utilizados como *inputs* no Modelo Financeiro.

4.1 PARÂMETROS DO MODELO FINANCEIRO

Até o momento 2 grandes parâmetros para a modelagem financeira já estão definidos:

- Demanda de Energia e Potência por m^2 em 3 tipos de edificação, que serão utilizados para estimar essas grandezas em demais locais;
- Geração de Energia por m^2 em toda a área do *campus* Trindade da UFSC.

Porém, há outros parâmetros importantes para que o sistema seja funcional e quantificável financeiramente, começando pelos equipamentos.

4.1.1 Equipamentos

Os três equipamentos principais a se escolher são:

- Módulos fotovoltaicos;
- Inversores;
- Baterias.

Ao invés de escolher uma das opções de módulos fotovoltaicos do mercado nacional encontradas na Tabela 2, foi utilizada a média do preço por m^2 dos mesmos módulos utilizados na escolha da eficiência, ou seja, aquelas com Preço por m^2 entre $R\$ 330,00$ e $R\$ 390,00$, resultando em $R\$ 360,00/m^2$. A escolha do Inversor já foi realizada na Subseção 3.3.2, com o preço unitário de $R\$ 24000,00$.

As baterias a serem utilizadas no projeto são baterias de fluxo Redox de Vanádio. Essas baterias possuem um preço relativamente

elevado e baixa disponibilidade no mercado. Porém, fabricantes prometem uma redução de 50% no preço em baterias de longa duração em no máximo 4 anos, prometendo um valor de *US\$* 100,00 por kWh a *US\$* 150,00 por kWh. (FEIFEI, 2018)

Neste estudo de caso, foi considerado o preço de *US\$* 250,00 por kWh, valor conservador perante as projeções. A conversão para o Real Brasileiro foi feita pela cotação de 15 de agosto de 2019, a *R\$* 3,99, resultando em um custo de *R\$* 997,50 por kWh. Além disso, o valor foi acrescido em 50%, valor estimado referente aos custos de importação de baterias.

Na Tabela 5 pode ser visto um resumo dos preços considerados para o modelo financeiro.

Tabela 5 – Preço dos Equipamentos

Equipamento	Preço	Garantia
Módulo fotovoltaico	<i>R\$</i> 360,00 por m ²	25 anos
Inversor	<i>R\$</i> 24000,00	10 anos
Baterias	<i>R\$</i> 1496,25 por kWh	10 anos

Como o modelo deve simular o retorno a longo prazo, foi considerado que todos os produtos serão completamente substituídos ao final do tempo de garantia e que não haverá custo na troca de equipamentos durante a vida útil.

4.1.2 Instalação e Manutenção do sistema

Por se tratar de um projeto de grande dimensão e funcionamento a longo prazo é imprescindível considerar os gastos de instalação e manutenção do sistema fotovoltaico. Pela falta de acesso direto a esses custos, foi realizado um *benchmarking* com empresas de geração fotovoltaica presentes em Florianópolis. Houve apenas uma resposta com precisão de valores, então há uma margem de erro envolvida devido à baixa amostragem. Os custos encontrados estão na Tabela 6.

Tabela 6 – Preço de Instalação e Manutenção

Item	Preço
Instalação do Sistema	R\$ 0,30 por Watt de Potência Pico
Manutenção	R\$ 10,00 por m ² construído por ano

O custo de Manutenção se refere à área construída do sistema, que é maior do que a área útil de geração fotovoltaica, e de acordo com a referência são levadas em conta a limpeza e substituição de equipamentos necessários. Ainda de acordo com a referência de mercado, pode-se utilizar por padrão o valor de 85% da área construída do sistema como área ativa.

4.1.3 Preço da Energia Elétrica

Para a compreensão do valor gerado pelo sistema é fundamental o preço da energia elétrica, principalmente envolvendo a questão do consumo dentro e fora de horário de ponta. Com faturas de energia relativas ao mês de agosto de 2019 dos pontos de medição da Universidade Federal de Santa Catarina foi possível observar os preços por kWh. (Tabela 7)

Tabela 7 – Preço da Energia Elétrica

Tarifa	Preço agosto de 2019
Ponta	R\$ 1,87
Fora	R\$ 0,54

A previsão do preço da Energia Elétrica dos próximos anos está longe de um consenso, então o preço considerado para todos os anos é o valor de agosto de 2019. Para o estudo de caso, foi considerado que toda a cobrança da energia elétrica é decorrente do consumo em horário de ponta ou fora de ponta. Na realidade, em torno de 88% da fatura da UFSC é decorrente deste fator, sendo o restante se refere a Bandeiras Tarifárias, Multas, Demanda, entre outros. (SCHEFFER, 2019)

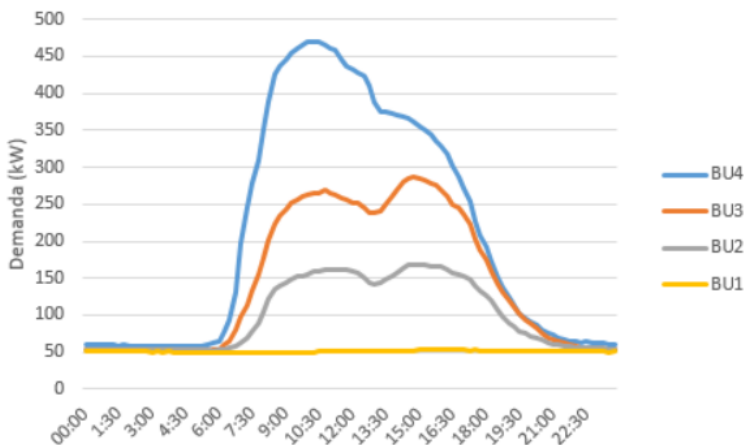
4.2 BIBLIOTECA UNIVERSITÁRIA

A Biblioteca Universitária foi escolhida como estudo de caso por ser um ambiente amplo e de utilização de grande parte dos discentes da Universidade. Além disso, possui uma grande área construída, o que possibilita a instalação do sistema fotovoltaico.

4.2.1 Demanda Energética E Geração de Energia

Para a estimativa da demanda energética foi realizado um paralelo com a Reitoria 2, assumindo que ambas possuem o mesmo consumo por m^2 . Na Figura 24 estão demonstradas as curvas padrão de demanda energética para o caso da Biblioteca Universitária.

Figura 24 – Curvas Padrão de Demanda Energética da Biblioteca Universitária



Na Tabela 8 estão os principais dados da Biblioteca Universitária. A área construída foi utilizada em conjunto com o consumo por m^2 para estimar o Consumo Anual da edificação. Já a área de superfície é importante para se entender as delimitações do sistema de geração fotovoltaica.

Tabela 8 – Dados Gerais da Biblioteca Universitária

Área Construída (m ²)	Área Superfície (m ²)	Consumo Anual (GWh)
11240,00	5620,00	1,118

Para comparar o consumo de energia com a geração fotovoltaica é necessário comparar as 4 curvas padrão de cada. Em um ano padrão, há 16 tipos de dia possíveis, como demonstrado na Tabela 9, onde na vertical está o padrão de irradiância, na horizontal o padrão de consumo e o centro da tabela representa o número de dias de cada combinação durante o ano. É importante ressaltar que, para a demanda de energia, a Curva Padrão 4 é a que possui maior demanda, e para geração fotovoltaica, a Curva Padrão 4 é a que possui maior energia gerada.

Tabela 9 – Número de dias no ano para cada combinação de curvas padrão

Curva Padrão	1	2	3	4
1	29	20	26	16
2	20	20	25	26
3	25	26	21	20
4	17	25	20	29

Com as curvas de demanda energética total (Figura 24) e geração de energia por m² (Figura 23) é possível criar um modelo de rede inteligente que inclui a utilização de baterias e, com o uso dos parâmetros estabelecidos na Seção 4.1, quantificar o retorno financeiro em reais. Neste estudo, as baterias são carregadas em horário fora de ponta e descarregadas em horário de ponta, de maneira a maximizar o retorno financeiro.

4.2.2 Avaliação Financeira

O modelo criado tem como principais variáveis a área utilizada pelo sistema de geração fotovoltaico, que é diretamente ligada à capacidade de geração de energia, e o tamanho da bateria, que influencia a capacidade de modificar o horário de utilização da energia gerada.

Para uma análise mais precisa do retorno financeiro é necessário incluir o conceito de Fluxo de Caixa Descontado, que considera o valor do dinheiro no tempo. Ele traz o valor dos ganhos e perdas futuros a um número atual, podendo-se assim dizer o retorno atual de um investimento futuro. (RAZAV; BREALEY; MYERS, 2002)

$$FCD = \frac{FC_1}{(1+r)^1} + \frac{FC_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{FC_n}{(1+r)^n} \quad (4.1)$$

A equação 4.1 mostra como calcular o Fluxo de Caixa Descontado, sendo:

- FCD = Fluxo de Caixa Descontado;
- FC = Fluxo de Caixa;
- r = taxa de desconto anual, que representa o custo de capital;
- n = tempo em anos antes da ocorrência do Fluxo de Caixa.

Inicialmente, a taxa de desconto escolhida para o cálculo é de 6%, representando a taxa SELIC atualmente, que é a taxa básica de juros do país (RIBEIRO, 2019). Também foi realizado o cálculo considerando um investimento de risco, onde a taxa de desconto utilizada será 15,1%, que é a taxa média de crescimento da Ibovespa de 2014 a 2018. A Ibovespa é o indicador mais importante das cotações das ações negociadas na B3 (Brasil, Bolsa, Balcão), a bolsa de valores oficial do Brasil.

Para demonstrar claramente o efeito das variáveis do sistema no retorno gerado, projeções do Fluxo de Caixa Cumulativo Descontado utilizando a taxa de desconto da SELIC podem ser observadas nas Figuras 25, 26 e 27. O modelo gera o fluxo de caixa anual a partir do ano 0, que é considerado como o momento de início do funcionamento do sistema.

Figura 25 – Fluxo de Caixa Descontado para Sistema Fotovoltaico de 200 m² e 4 tamanhos de baterias - Biblioteca Universitária

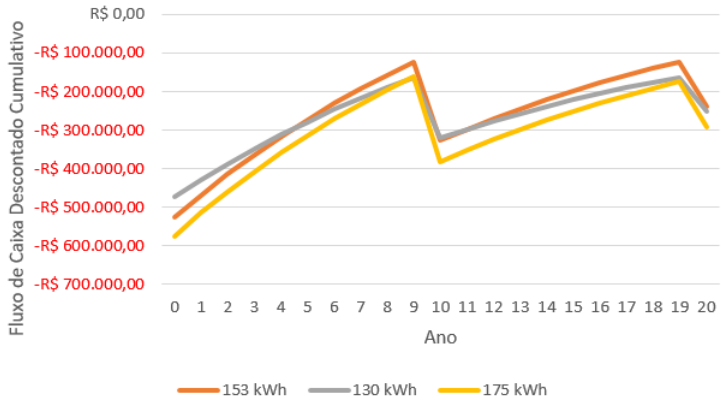


Figura 26 – Fluxo de Caixa Descontado para Sistema Fotovoltaico de 600 m² e 3 tamanhos de baterias - Biblioteca Universitária

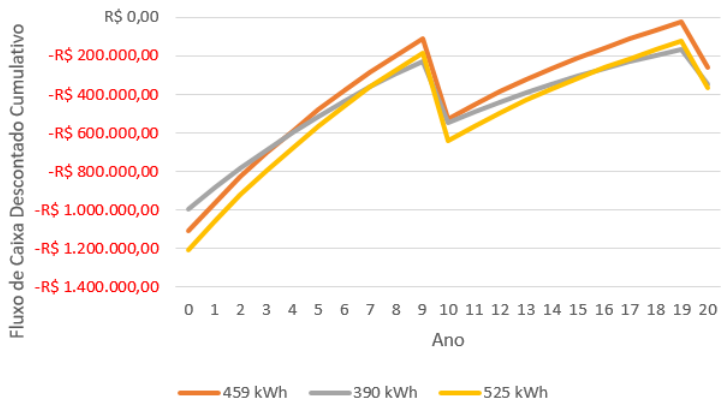
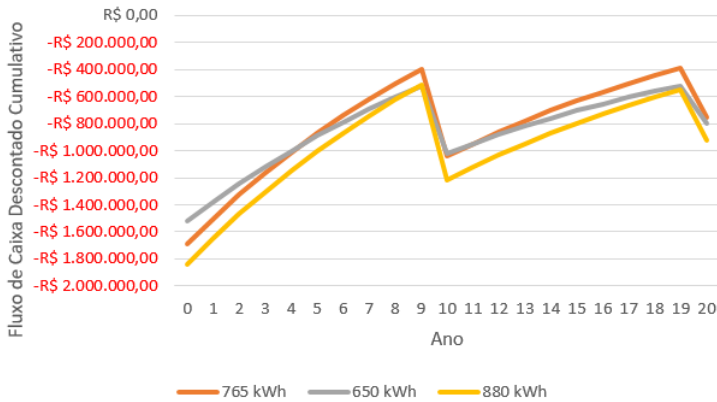


Figura 27 – Fluxo de Caixa Descontado para Sistema Fotovoltaico de 1000 m² e 3 tamanhos de baterias - Biblioteca Universitária



Com as informações já expostas, fica claro que o tamanho ideal do sistema é mais próximo dos 600 m². Mais precisamente, o melhor retorno financeiro é observado com uma área construída do sistema fotovoltaico de 570 m².

A Figura 28 mostra o Fluxo de Caixa Cumulativo Descontado para o caso ideal, com 570 m² de área construída, 436 kWh de baterias e a taxa de desconto da SELIC. Já a Figura 29 utiliza a taxa de desconto acumulada da Ibovespa.

Figura 28 – Fluxo de Caixa Cumulativo Descontado para sistema ideal da Biblioteca Universitária com taxa de desconto de 6%

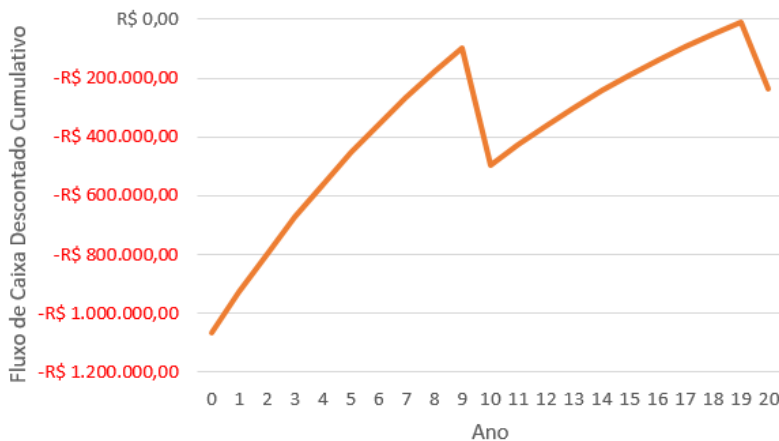
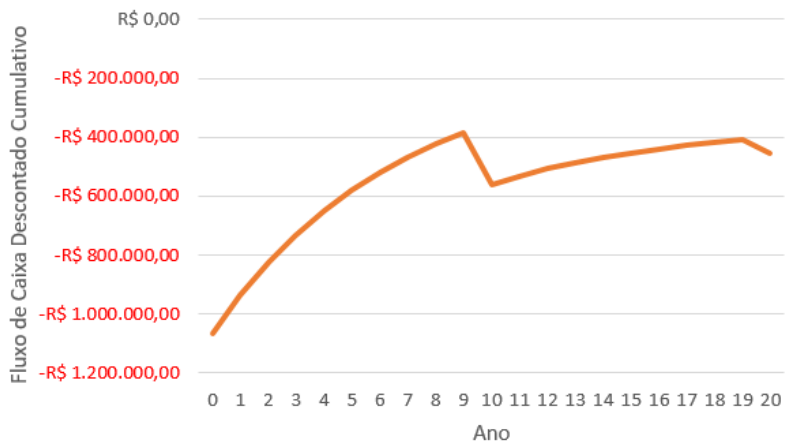


Figura 29 – Fluxo de Caixa Cumulativo Descontado para sistema ideal da Biblioteca Universitária com taxa de desconto de 15,1%



O estudo de caso mostra que uma rede inteligente com geração fotovoltaica integrada com um sistema de armazenamento de energia tende fortemente a não trazer retorno financeiro, mesmo comparando

com investimentos bastante conservadores. Na Tabela 10 encontram-se os dados gerais do sistema hipotético.

Tabela 10 – Dados Gerais do Sistema - Biblioteca Universitária

Área Construída	570 m ²
Área Útil	485 m ²
Energia Gerada	97,5 MWh por ano
R (Equação 4.2)	8,72%
Tamanho das Baterias	436 kWh
Inversores de Frequência	8
Potência Máxima	160 kW
Inclinação dos módulos fotovoltaicos	20°

A equação 4.2 mostra a relação entre a energia gerada e a energia consumida no sistema.

$$R = \frac{E_g}{E_c} \quad (4.2)$$

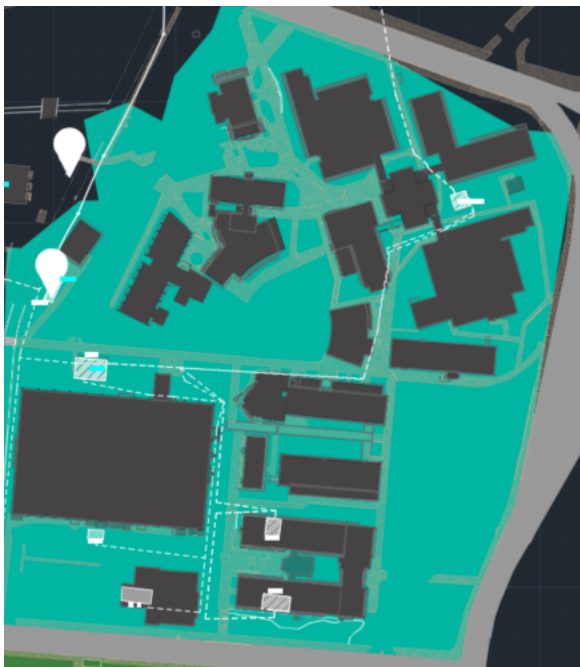
onde:

- E_g = Energia Gerada em 12 meses
- E_c = Energia Consumida em 12 meses

4.3 CENTRO TECNOLÓGICO

Assim como a Biblioteca Universitária, o Centro Tecnológico foi escolhido por possuir uma grande área construída e por ser um alvo interessante de projeto piloto, já que possui laboratórios de alto consumo de energia, juntamente com o fato de que os alunos envolvidos no projeto estudam no centro.

Figura 30 – Centro Tecnológico



A lógica por trás do estudo de caso do Centro Tecnológico e da Biblioteca Universitária é a mesma, então esta seção irá mais rapidamente até os resultados.

4.3.1 Demanda Energética e Geração de Energia

Para a estimativa do demanda energética foi realizado um paralelo com a Região das Engenharias Civil e Química, assumindo que ambas possuem o mesmo consumo por m^2 . Na figura 31 estão demonstradas as curvas padrão de demanda energética para o caso do Centro Tecnológico e na Tabela 11 estão os principais dados do Centro Tecnológico.

Figura 31 – Curvas Padrão de Demanda Energética do Centro Tecnológico

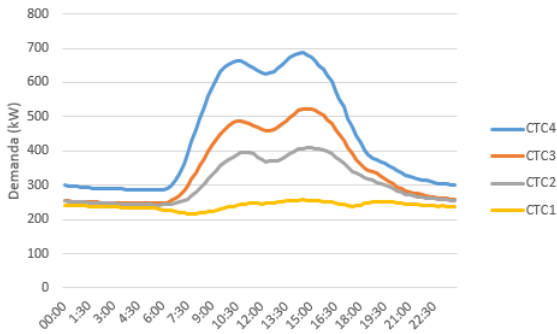


Tabela 11 – Dados Gerais do Centro Tecnológico

Área Construída (m ²)	Área Superfície (m ²)	Consumo Anual (GWh)
50550,00	6552,00	2,937

A Tabela 12 é análoga a Tabela 9, mostrando os 16 tipos de dias possíveis em relação à Demanda Energética e geração fotovoltaica, mas para o caso do Centro Tecnológico.

Tabela 12 – Número de dias no ano para cada combinação de curvas padrão

Curva Padrão	1	2	3	4
1	30	18	25	18
2	18	22	26	26
3	29	24	20	18
4	14	28	20	29

Assim como no caso da Biblioteca Universitária, utilizando as curvas de demanda energética total do Centro Tecnológico (Figura 31) e geração de energia por m² (Figura 23) e incluindo o armazenamento de energia é possível aplicar o modelo e quantificar o retorno financeiro em reais.

4.3.2 Avaliação Financeira

O modelo utilizado é o mesmo do caso anterior, tendo como principais variáveis a área utilizada pelo sistema de geração fotovoltaico e o tamanho das baterias. Assim como no estudo anterior, as baterias são carregadas em horário fora de ponta e descarregadas em horário de ponta.

Para uma análise mais precisa do retorno financeiro é necessário incluir o conceito de Fluxo de Caixa Descontado, abordado na Seção 4.2.2. Os mesmos parâmetros foram utilizados para o cálculo.

Para demonstrar claramente o efeito das variáveis do sistema no retorno gerado, projeções do Fluxo de Caixa Cumulativo Descontado utilizando a taxa de desconto da SELIC podem ser observadas nas Figuras 32, 33 e 34.

Figura 32 – Fluxo de Caixa Descontado para Sistema Fotovoltaico de 1200 m² e 3 tamanhos de baterias - Centro Tecnológico

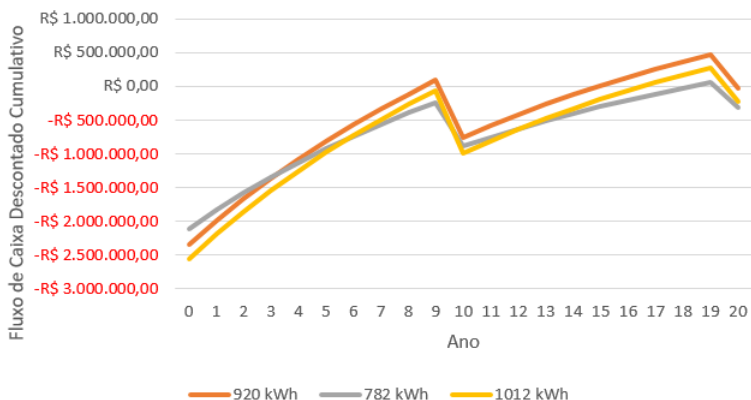


Figura 33 – Fluxo de Caixa Descontado para Sistema Fotovoltaico de 2200 m² e 3 tamanhos de baterias - Centro Tecnológico

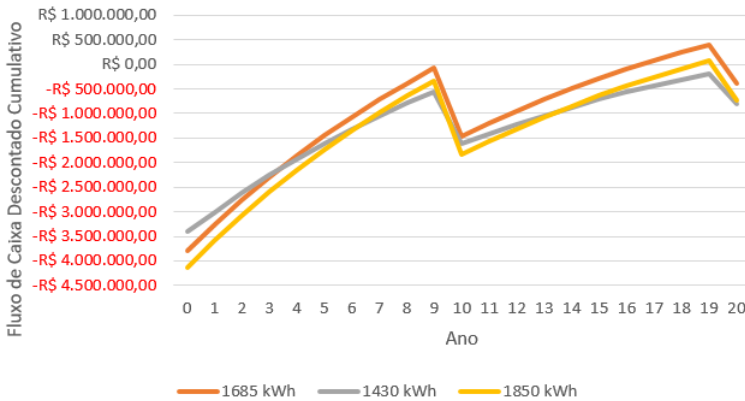
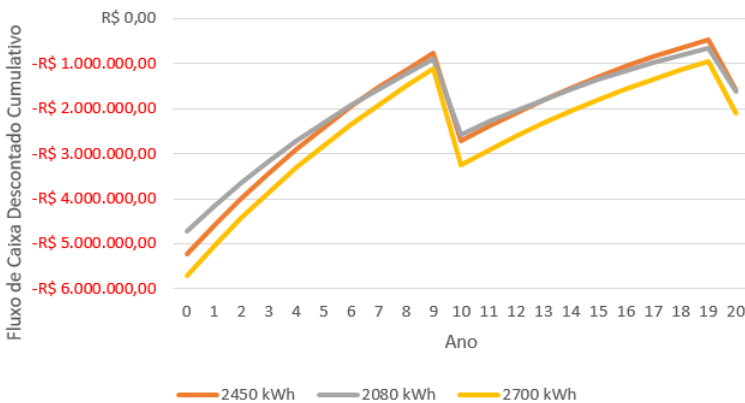


Figura 34 – Fluxo de Caixa Descontado para Sistema Fotovoltaico de 3200 m² e 3 tamanhos de baterias - Centro Tecnológico



Com as informações já expostas, fica claro que o tamanho ideal do sistema é mais próximo dos 1200 m² ou dos 2200 m². Mais precisamente, o melhor retorno financeiro é observado com uma área construída de geração fotovoltaica de 2150 m².

A Figura 35 mostra o Fluxo de Caixa Cumulativo Descontado

para o caso ideal, com 2150 m² de área construída de geração fotovoltaica, 1645 kWh de baterias e a taxa de desconto da SELIC. Já a Figura 36 utiliza a taxa de desconto acumulada da Ibovespa.

Figura 35 – Fluxo de Caixa Cumulativo Descontado para sistema ideal do Centro Tecnológico com taxa de desconto de 6%

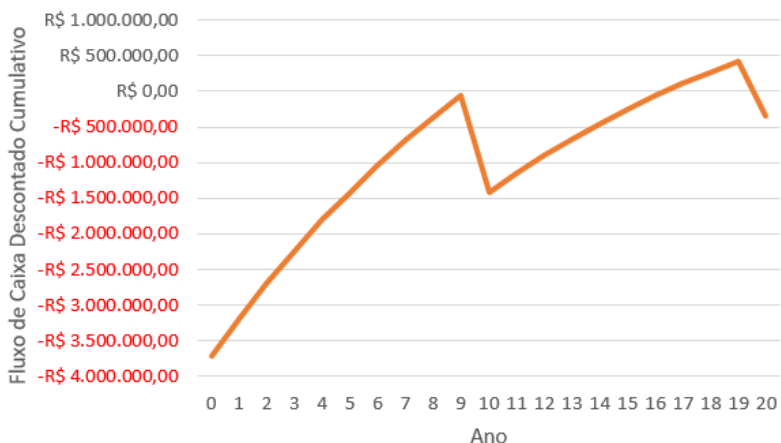
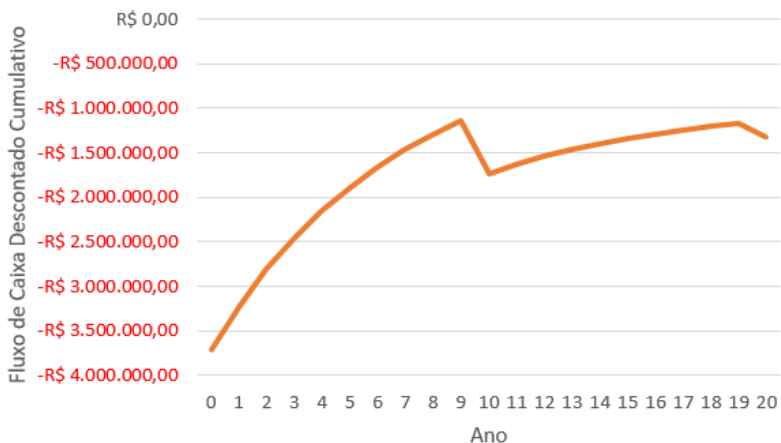


Figura 36 – Fluxo de Caixa Cumulativo Descontado para sistema ideal do Centro Tecnológico com taxa de desconto de 15,1%



Além de não obter retorno financeiro, o sistema ideal ainda exige um investimento inicial de R\$ 3,7 milhões de reais, um banco de armazenamento de energia de 1645 kWh e mais de 25% da área dos tetos das construções utilizada para geração de energia fotovoltaica. Para um projeto piloto essas condições são improváveis, mas o estudo demonstra que um sistema maior tem melhores condições de redução de custo de energia elétrica, já que o sistema esteve próximo de se pagar. Na Tabela 13 encontram-se os dados gerais do sistema hipotético.

Tabela 13 – Dados Gerais do Sistema - Centro Tecnológico

Área Construída	2150 m ²
Área Útil	1825 m ²
Energia Gerada	336,2 MWh por ano
R (Equação 4.2)	12,4%
Tamanho das Baterias	1645 kWh
Inversores de Frequência	20
Potência Máxima	400 kW
Inclinação dos módulos fotovoltaicos	20°

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 CONCLUSÃO

Este trabalho demonstra a avaliação financeira de uma rede inteligente com geração fotovoltaica e armazenamento de energia. Como o caso estudado é o da Universidade Federal de Santa Catarina, buscou-se o melhor resultado financeiro possível devido às limitações orçamentárias da Universidade.

Como a preocupação maior era uma estimativa com um bom grau de confiança do possível retorno financeiro, a simulação do funcionamento do sistema proposto foi realizada com o auxílio do Microsoft Office Excel, o que limita a amostragem dos dados mas não diminui a precisão significativamente. Ainda assim, fica claro que o melhor retorno possível é alcançado com a otimização máxima do consumo no horário de ponta. Utilizando o conceito do Fluxo de Caixa Descontado, não foi possível encontrar um sistema que alcançasse redução de custos em menos de 20 anos em ambos os estudos de caso.

Portanto, o sistema proposto parece ter um resultado ruim no que tange o objetivo inicial, que é aliviar a situação financeira da UFSC. As configurações de equipamentos encontradas para ambos os casos estudados em seus sistemas ideais são bastante robustas, principalmente devido ao grande volume das baterias e ao investimento inicial exigido. Mesmo assim, os principais componentes utilizados na rede inteligente do trabalho possuem projeções positivas em relação a custo e eficiência nos próximos anos, possibilitando uma mudança no panorama.

Sabe-se que podem haver desvios nas estimativas realizadas, principalmente relacionadas à demanda energética dos locais estudados, já que não foi realizada a medição precisa do consumo dos mesmos. Diversas estimativas foram utilizadas para chegar nos parâmetros utilizados para a modelagem, mas sempre com um tom conservador, para compensar as incertezas existentes.

Não foi realizado o dimensionamento exato dos componentes do sistema proposto, pois o foco do trabalho era uma avaliação em cima do retorno financeiro da rede inteligente, e não o projeto da mesma.

5.2 RECOMENDAÇÕES FUTURAS

Pensando no desenvolvimento do modelo financeiro existem quatro pontos interessantes a serem trabalhados como continuação do trabalho, que vão agregar tanto para melhorar a precisão do mesmo quanto para validar o impacto possível para a UFSC. São eles:

- Realizar a medição do consumo de energia nas áreas escolhidas para o estudo de caso, de maneira a melhorar a precisão dos dados utilizados no modelo;
- Implementar a quantificação do retorno financeiro para o caso da UFSC sair do mercado cativo e entrar para o mercado livre de energia, que tem potencial para resultados ainda mais significativos;
- Incluir as perdas do sistema fotovoltaico por temperatura, nos conectores e nos condutores, além de considerar a troca de equipamentos durante sua vida útil, que é o cenário mais próximo do real;
- Desenvolver o estudo de caso do Restaurante Universitário (RU), utilizando a geração com biomassa, sendo essa os dejetos do próprio RU.

REFERÊNCIAS

- FEIFEI, S. *Canada Battery Maker Says Flow Storage Costs to Tumble by Half*. Produced by Bloomberg, 2018. <<https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-12-24/canada-battery-maker-says-flow-storage-costs-to-tumble-by-half>>. Acessado em 10 jul. 2019.
- FILHO, W. P. B.; AZEVEDO, A. C. S. de. Geração distribuída: Vantagens e desvantagens. *II Simpósio de Estudos e Pesquisas em Ciências Ambientais na Amazônia*, 2014.
- GREEN, M. et al. Solar cell efficiency tables (version 50). *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, v. 25, p. 668–676, 2017.
- GUARNIERI, M. et al. Vanadium redox flow batteries: Potentials and challenges of an emerging storage technology. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, v. 10, p. 20–31, 2016.
- GUERRERO, J. M. et al. Distributed generation: Toward a new energy paradigm. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, v. 4, p. 52–64, 2010.
- ITO, K. *IEEJ Outlook 2018: Prospects and challenges until 2050*. Produced by IEEJ Outlook 2018. [S.l.]: The Institute of Energy Economics, 2017.
- JORDAN, D. C.; KURTZ, S. R. Photovoltaic degradation rates — an analytical review. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, v. 21, p. 12–29, 2013.
- KAGAN, N.; GOUVEA, M. *Redes Elétrica Inteligentes no Brasil - Análise de custo e benefícios de um plano nacional de implantação*. [S.l.]: Synergia Editora, 2013.
- LAURINDO, J. *"Se o governo não liberar dinheiro, não passamos de agosto", diz diretor da UFSC*. Produced by NSC Total, 2019. <<https://www.nsctotal.com.br/noticias/se-o-governo-nao-liberar-dinheiro-nao-passamos-de-agosto-diz-diretor-da-ufsc>>. Acessado em 06 ago. 2019.
- LOPES, Y.; FERNANDES, N. C.; MUCHALUAT-SAADE, D. C. *Minicursos do XXXIII Simpósio Brasileiro de Redes*

de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC). Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, 2015. <<http://sbrc2015.ufes.br/wp-content/uploads/Ch2.pdf>>.

RAZAV, B.; BREALEY, R.; MYERS, S. *Principles of Corporate Finance*. 1. ed. [S.l.]: Mcgraw Hill, 2002. 1120 p.

RIBEIRO, E. T. e A. *Copom reduz taxa Selic em 0,5 ponto, para 6% ao ano*. Produced by Valor Econômico. 2019. <<https://www.valor.com.br/financas/6372771/copom-reduz-taxa-selic-em-05-ponto-para-6-ao-ano>>. Acessado em 03 ago. 2019.

SCHEFFER, J. de A. *Relatório de Energia Elétrica 2018*: Relatório de acompanhamento sobre energia elétrica de todos os campi e unidades da ufsc. Produced by Departamento de Projetos de Arquitetura e Engenharia. Repositório Institucional da UFSC, 2019. <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/195680>>.

SOLARGIS. *Global Solar Atlas*. Produced by World Bank Group. 2019. <<https://globalsolaratlas.info>>. Acessado em 25 jul. 2019.

WANG, G.; CIOBOTARU, M.; AGELIDIS, V. G. Integration of vanadium redox battery with pv systems: Modeling and operational characteristics. *2012 IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, p. 1598–1603, 2012.