

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**Análise de Modelos e Viabilidades para
Inserção de Sistemas de Geração
Fotovoltaica em Universidades Públicas
Brasileiras Visando a Sustentabilidade
Energética**

Patrícia Ferreira Silva

Julho de 2021

Itajubá - MG

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

Patrícia Ferreira Silva

**Análise de Modelos e Viabilidades para
Inserção de Sistemas de Geração
Fotovoltaica em Universidades Públicas
Brasileiras Visando a Sustentabilidade
Energética**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências em Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Economia do Setor Eletroenergético

Orientador: Prof. Ph.D. Benedito Donizeti Bonatto

Coorientador: Prof. Dr. Victor Eduardo de Mello Valério

Julho de 2021

Itajubá - MG

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, pela benção de poder estar aqui e pela oportunidade de aprendizagem que muitos jovens e crianças não tiveram e ainda não têm e também pelo discernimento de fazer as escolhas certas. À minha mãe, Terezinha de Jesus Silva, que sempre me incentivou a realizar meus sonhos se fazendo presente e me apoiando mesmo diante das dificuldades e nunca me deixou desamparada nessa caminhada. Aos amigos e familiares pelo apoio e carinho, aos colegas que fiz durante esse tempo e que contribuíram para meu aprendizado, alguns passageiros, outros que marcaram e certamente levarei comigo para o resto da vida como o Vinícius Braga e Natália Vilas Boas que estiveram ao meu lado e me ajudaram sempre no que precisei.

Agradeço aos meus orientadores, Prof. Ph.D. Benedito Donizeti Bonatto pelos ensinamentos e a oportunidade de poder trabalhar ao seu lado e aos desafios que me foram impostos, contribuindo muito para o meu crescimento acadêmico e ao Prof. Dr. Victor Eduardo de Mello Valério que foi uma inspiração profissional, só tenho a agradecer por confiar e ter paciência durante as reuniões semanais.

Agradeço às instituições de fomento que contribuíram financeiramente para a realização desta etapa em minha vida, sendo elas a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Energia Elétrica (INERGE). Deixo ainda o meu agradecimento à Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI).

RESUMO

Embora as Universidades e Institutos Federais brasileiros tenham sido contemplados com algumas descentralizações do poder público para a instalação de sistemas fotovoltaicos para atenuar os gastos com energia elétrica, ainda se faz necessário um incentivo econômico maior do poder público, de modo que, eles possam utilizar melhor as práticas das ciências e tecnologias que desenvolvem de maneira que se tornem sustentáveis energeticamente. O presente trabalho teve por objetivo geral organizar um modelo de negócio de modo estocástico para fomentar o investimento público em sistemas fotovoltaicos no contexto de Geração Distribuída — GD em uma amostra de Institutos Federais de Ensino Superior — IFES, sendo analisadas 9 universidades e 26 campi. Os seguintes objetivos específicos de pesquisa foram investigados por meio da avaliação da viabilidade de geração na própria carga das universidades federais, avaliação da viabilidade de autoconsumo remoto das universidades federais, análise de risco e incerteza em cada um dos casos e por fim organização de um quadro de tomada de decisão de investimento de acordo com a área de concessão de cada universidade federal, de modo a otimizar a sua questão energética e estabelecer um método de tomada de decisão. A análise foi realizada por meio da simulação de Monte Carlo. Por se tratar de alternativas que competem entre si e possuem o mesmo horizonte de tempo, pode-se dizer então, que são alternativas mutuamente excludentes e, portanto, apenas uma será executada (escolhida). E como indicadores para análise foram usados o Valor Presente Líquido, Valor anualizado, Retorno sobre o Investimento e o *payback* descontado. Com os resultados obtidos, concluiu-se que a instalação de um sistema fotovoltaico em ambos os cenários é viável, porém, como se deve escolher apenas um projeto, a instalação de sistema fotovoltaico em cada campus das universidades é bem mais atrativa como mostraram os estudos.

Palavras-chave – Sustentabilidade energética, sistemas fotovoltaicos, análise econômica, modelo econômico, universidade pública

ABSTRACT

Although Brazilian Universities and Federal Institutes have been awarded some decentralizations of the public power for the installation of photovoltaic systems to mitigate electricity costs, a greater economic incentive from the government is still needed, so that they can use better the practices of the sciences and technologies that they develop in a way that they become energetically sustainable. The present work had as general objective to organize a business model in a stochastic way to foment public investment in photovoltaic systems in the context of Distributed Generation - GD in a sample of Federal Institutes of Higher Education - IFES, being analyzed 9 universities and 26 campuses. The following specific research objectives were investigated by evaluating the feasibility of generation in the federal universities' own load, assessing the feasibility of remote self-consumption of federal universities, analyzing the risk and uncertainty in each case and finally organizing a framework of investment decision-making according to the concession area of each federal university, in order to optimize its energy issue and establish a decision-making method. The analysis was performed using Monte Carlo simulation. As they are alternatives that compete with each other and have the same time horizon, it can be said that they are mutually exclusive alternatives and, therefore, only one will be executed (chosen). And as indicators for analysis, Net Present Value, Annualized Value, Return on Investment and discounted payback were used. With the results obtained, it was concluded that the installation of a photovoltaic system in both scenarios is feasible, however, as only one project should be chosen, the installation of a photovoltaic system in each university campus is much more attractive, as the studies showed.

Keywords – Energy sustainability, photovoltaic systems, economic analysis, economic model, public university

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	II
ABSTRACT.....	III
SUMÁRIO	IV
LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE TABELAS	X
LISTA DE SIGLAS	XII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO E RELEVÂNCIA DO TEMA.....	1
1.2. OBJETIVOS E CONTRIBUIÇÕES DA DISSERTAÇÃO.....	7
1.3. LIMITAÇÕES DA PESQUISA	8
1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	8
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	10
2.1. REVISÃO DA LITERATURA.....	10
2.2. GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	14
2.2.1. NORMAS BRASILEIRAS.....	15
2.2.2. SISTEMA DE TARIFICAÇÃO	16
2.3. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	19
2.3.1. CONCEITOS BÁSICOS DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO	19
2.3.2. CENÁRIO ATUAL BRASILEIRO.....	20
2.3.3. ATUAÇÃO DO PODER PÚBLICO.....	23
2.4. ANÁLISE ECONÔMICA.....	25
2.4.1. VALOR PRESENTE LÍQUIDO.....	25
2.4.2. TAXA INTERNA DE RETORNO.....	26
2.4.3. ANÁLISE DE RISCO.....	27
3. MÉTODO DE PESQUISA	29

3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	29
3.2. CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	29
3.3. MÉTODO DE ANÁLISE	30
3.4. ETAPA 1 - ANÁLISE TÉCNICA	32
3.4.1. COLETA DOS DADOS	32
3.4.1. TRATAMENTO DOS DADOS	32
3.4.2. DIMENSIONAMENTO	32
3.5. ETAPA 2 - ANÁLISE FINANCEIRA	33
3.5.1. ESTRUTURAÇÃO DOS CENÁRIOS	33
3.5.2. COLETA DE DADOS.....	33
3.5.3. ANÁLISE DE VIABILIDADE FINANCEIRA	33
3.5.4. ANÁLISE DE RISCO	34
3.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
4. ANÁLISE ECONÔMICO-FINANCEIRA DE SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA UNIVERSIDADES PÚBLICAS	35
4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	35
4.2. DADOS DE ENTRADA DAS UNIVERSIDADES (MODALIDADE TARIFÁRIA VERDE E AZUL)	36
4.3. EQUACIONAMENTO DO DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO E DAS VARIÁVEIS DO FLUXO DE CAIXA (MODALIDADE TARIFÁRIA VERDE E AZUL)	38
4.4. UNIVERSIDADES PERTENCENTES A MODALIDADE TARIFARIA VERDE E AZUL	44
4.4.1. CENÁRIO I – IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO EM CADA CAMPUS	44
4.4.2. CENÁRIO II – IMPLANTAÇÃO DE UMA USINA FOTOVOLTAICA	49
4.4.3. ANÁLISE COMPARATIVA DOS CENÁRIOS	51
4.4.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	65
4.5. EQUACIONAMENTO DO DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO E DAS VARIÁVEIS DO FLUXO DE CAIXA (MODALIDADE TARIFÁRIA CONVENCIONAL)	65

4.6. UNIVERSIDADES PERTENCENTES A MODALIDADE TARIFÁRIA CONVENCIONAL	66
4.6.1. CENÁRIO I – IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO EM CADA CAMPUS	66
4.6.2. CENÁRIO II – IMPLANTAÇÃO DE UMA USINA FOTOVOLTAICA	68
4.6.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	72
4.7. RESULTADOS ECONÔMICOS	73
4.7.1. ECONOMIA ANUAL DAS UNIVERSIDADES	73
4.7.2. RETORNO ESPERADO E PAYBACK DESCONTADO.....	74
4.7.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	77
5. CONCLUSÃO	77
5.1. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	79
5.2. PUBLICAÇÕES	79
REFERÊNCIAS	81

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1 – Proporção dos gastos por item de despesa nos últimos 6 anos [2].	1
Figura 1-2 – Proporção dos gastos por órgão superior nos últimos 6 anos [2]. .	3
Figura 1-3 – Proporção dos gastos por classificação da unidade orçamentária nos últimos 6 anos [2].	4
Figura 1-4 – Gastos públicos com energia elétrica das UFs e Institutos Federais nos últimos cinco anos (adaptado) [2].	4
Figura 1-5 – Cortes no orçamento em bilhões em UFs [4].	5
Figura 2-1 – Estrutura de geração distribuída [30].	15
Figura 2-2 – Estrutura de geração centralizada [33].	15
Figura 2-3 – Classificação das modalidades tarifárias [40]. (adaptado)	18
Figura 2-4 – Classificação dos subgrupos [40]. (adaptado)	19
Figura 2-5 – Sistema FV <i>on-grid</i> sendo a imagem da esquerda e <i>off-grid</i> a imagem da direita [41], [42].	20
Figura 2-6 – Localização geográfica da GD no Brasil, sendo que à esquerda tem- se a GD no período de 2008 – 2014 e à direita a GD de 2014 - 2021 [43].	21
Figura 2-7 – Energia solar FV no Brasil [46].	22
Figura 2-8 – Programas e incentivos do poder público para GD. Fonte: O autor (2021).	24
Figura 2-9 – Conceito do VPL. Fonte: O autor (2021).	26
Figura 2-10 – Conceito da Taxa Mínima de Atratividade. Fonte: O autor (2021)	27
Figura 2-11 – Função Distribuição Triangular [65] (adaptado)	28
Figura 2-12 – Função Distribuição uniforme [66] (adaptado)	28
Figura 3-1 – Modelo de pesquisa para simulação	30
Figura 3-2 – Fluxograma das etapas do desenvolvimento da pesquisa.	31

Figura 4-1 – Fluxograma estruturado do processo de cálculos, dimensionamento e avaliação de viabilidade econômico-financeira do sistema FV em algumas universidades públicas.	35
Figura 4-2 – Tarifas adicionais para as bandeiras amarela e vermelha [75]. ...	42
Figura 4-3 – Distribuição de probabilidade do VPL para cenário I UFOB.	52
Figura 4-4 – Distribuição de probabilidade do VPL para cenário II UFOB.	52
Figura 4-5 – Análise de sensibilidade do primeiro cenário UFOB.	53
Figura 4-6 – Análise de sensibilidade do segundo cenário UFOB.	53
Figura 4-7 – Distribuição de probabilidade do VPL para cenário I UFMT.	54
Figura 4-8 – Distribuição de probabilidade do VPL para cenário II UFMT.	54
Figura 4-9 – Análise de sensibilidade do primeiro cenário UFMT.	55
Figura 4-10 – Análise de sensibilidade do segundo cenário UFMT.	56
Figura 4-11 – Distribuição de probabilidade do VPL para cenário I UFRB.....	56
Figura 4-12 – Distribuição de probabilidade do VPL para cenário II UFRB.....	57
Figura 4-13 – Análise de sensibilidade do primeiro cenário UFRB.	57
Figura 4-14 – Análise de sensibilidade do segundo cenário UFRB.....	58
Figura 4-15 – Distribuição de probabilidade do VPL da UFBA.....	59
Figura 4-16 – Análise de sensibilidade da UFBA.	59
Figura 4-17 – Distribuição de probabilidade do VPL da UFPA.....	60
Figura 4-18 – Análise de sensibilidade da UFPA.	60
Figura 4-19 – Distribuição de probabilidade do VPL da UnB.	61
Figura 4-20 – Análise de sensibilidade da UnB.....	61
Figura 4-21 – Distribuição de probabilidade do VPL da UFCSPA.....	62
Figura 4-22 – Análise de sensibilidade da UFCSPA.	62
Figura 4-23 – Distribuição de probabilidade do VPL da UFPB.....	63
Figura 4-24 – Análise de sensibilidade da UFPB.	63
Figura 4-25 – Distribuição de probabilidade do VPL da UFSM.	64
Figura 4-26 – Análise de sensibilidade da UFSM.....	64
Figura 4-27 – Distribuição de probabilidade do VPL para cenário I UFCSPA..	69

Figura 4-28 – Distribuição de probabilidade do VPL para cenário II UFCSPA.	70
Figura 4-29 – Análise de sensibilidade do primeiro cenário UFCSPA.....	70
Figura 4-30 – Análise de sensibilidade do primeiro cenário UFCSPA.....	71
Figura 4-31 – Distribuição de probabilidade do VPL da UFBA.....	71
Figura 4-32 – Análise de sensibilidade da UFBA.	72
Figura 4-33 – Economia estimada em R\$ dos campi da UFOB, UFMT, UFRB e UFCSPA em função de instalação de sistemas FVs.	74
Figura 4-34 – Economia estimada em função de instalação de sistemas FVs.	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-1 – Gastos por item de despesa anual com energia elétrica [2].....	2
Tabela 1-2 – Gastos por órgão superior anual [2].....	3
Tabela 1-3 – Instalação de sistemas FVs em 5 UFs no ano de 2020.	6
Tabela 2-1 – Postos Tarifários das Distribuidoras [35]. (adaptado).....	17
Tabela 4-1 – Cenários Analisados por campi.....	36
Tabela 4-2– Variáveis estocástica de entrada.....	37
Tabela 4-3 – Parâmetros e Pressupostos usados para análise.	37
Tabela 4-4 – Dados meteorológicos de cada UFs e respectivos campi [74]. ...	39
Tabela 4-5 – Perdas no sistema fotovoltaico.....	41
Tabela 4-6 – Fluxo de caixa do cenário I do cenário II.....	44
Tabela 4-7 – Média anual de consumo de energia elétrica de cada campus universitário considerado no período de 2017-2019.	45
Tabela 4-8 – Investimento de instalação de sistema FV em cada campus universitário considerado.	46
Tabela 4-9 – Parâmetros e pressupostos usados para análise de preços de FV.	47
Tabela 4-10 – Resultados do VPL e TIR na simulação de Monte Carlo.	48
Tabela 4-11 – Média de consumo de energia elétrica total no HFP e HP das UFs consideradas no período de 2017-2019.....	49
Tabela 4-12 – Preços de mercado utilizados como pressupostos.	50
Tabela 4-13 – Investimento de instalação de uma usina FV nas UFs consideradas.....	50
Tabela 4-14 – Resultados do VPL e TIR do cenário II na simulação de Monte Carlo.....	51
Tabela 4-15 – Resultado estatístico do VPL e TIR dos cenários analisados. ...	51
Tabela 4-16 – Média anual de consumo de energia elétrica das UFs consideradas no período de 2017-2019.....	67

Tabela 4-17 – Investimento de instalação de sistema FV necessário para as UFs consideradas.....	67
Tabela 4-18 – Parâmetros e pressupostos usados para análise.....	68
Tabela 4-19 – Resultados do VPL e TIR dos cenários analisados.....	68
Tabela 4-20 – Média de consumo de energia elétrica total da UFCSPA.	69
Tabela 4-21 – Parâmetros e pressupostos usados para análise de preços.....	69
Tabela 4-22 – Investimento de instalação de uma usina FV na UFCSPA.	69
Tabela 4-23 – Resultados do ROI e <i>payback</i> descontado de cada campi das UFs.	76
Tabela 4-24 – Resultados do ROI e <i>payback</i> descontado.	77

LISTA DE SIGLAS

ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BB	Banco do Brasil
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CEF	Caixa Econômica Federal
CIDE	Contribuição de Investimento no Domínio Econômico
COELBA	Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia
CONFAZ	Concelho Nacional de Política Fazendária
EMT	Energisa de Mato Grosso
FV	Fotovoltaico
GD	Geração Distribuída
HFP	Horário Fora de Ponta
HP	Horário de Ponta
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFES	Instituições Federais de Ensino Superior
IPI	Imposto sobre Produtos Industrializados
MEC	Ministério da Educação
MME	Ministério de Minas e Energia
PADIS	Desenvolvimento Tecnológico da Indústria de semicondutores
PASEP	Programa de Formação do Patrimônio do Setor Público
PRODEEM	Programa de Desenvolvimento Energéticos dos Estados e Municípios
ProGD	Programa de Desenvolvimento de Geração

	Distribuída de Energia Elétrica
REIDI	Desenvolvimento da Infraestrutura
ROI	Retorno sobre o Investimento
TIR	Taxa Interna de Retorno
UFBA	Universidade Federal da Bahia
UFC	Universidade Federal do Ceará
UFCSP	Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre
UFG	Universidade Federal de Goiás
UFGD	Universidade Federal de Grande Dourados
UFLA	Universidade Federal de Lavras
UFMT	Universidade Federal de Mato Grosso
UFOB	Universidade Federal do Oeste da Bahia
UFPA	Universidade Federal do Pará
UFPB	Universidade Federal da Paraíba
UFPR	Universidade Federal do Paraná
UFRB	Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
UnB	Universidade de Brasília
UNIFEI	Universidade Federal de Itajubá
VA	Valor Anualizado
VPL	Valor Presente Líquido

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO E RELEVÂNCIA DO TEMA

A discussão sobre como os gastos públicos têm crescido significativamente ao longo do tempo em vários países é um tema que vem recebendo atenção e participação não apenas na área acadêmica, mas também do setor público. De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica — ANEEL, os prédios públicos são reconhecidos dentro das classes ou subclasses de consumo de energia elétrica, como Poder Público [1]. De acordo com [2] os gastos por item de despesa que os prédios públicos tiveram nos últimos 6 anos, que totalizam R\$206.664.442.027, já com consumo de energia elétrica o Poder Público teve gasto de R\$11.523.246.830,00, ou seja, cerca de 5,6% do total, tal como ilustrado na Figura 1-1 e na Tabela 1-1.

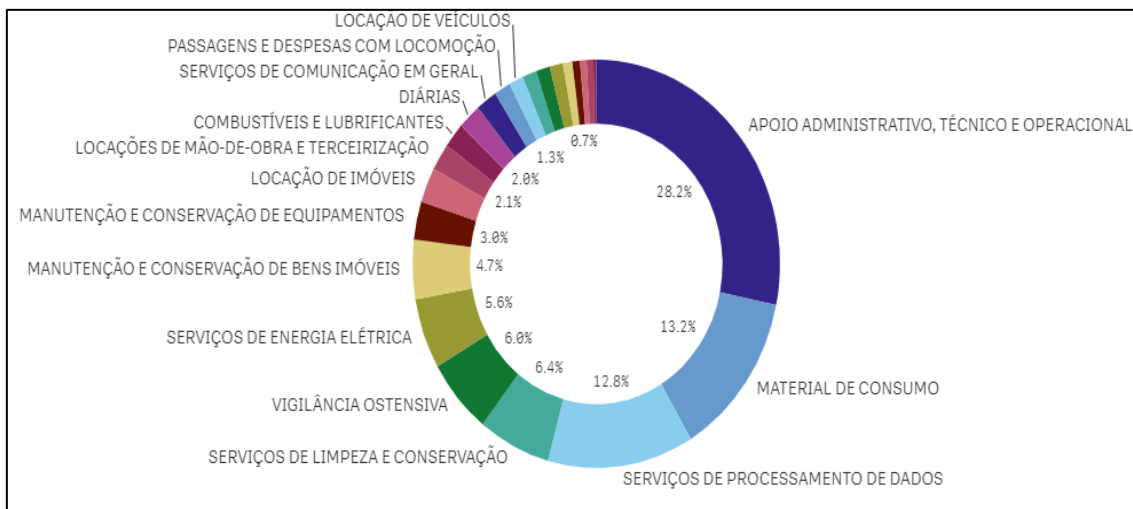


Figura 1-1 – Proporção dos gastos por item de despesa nos últimos 6 anos [2].

Ainda que o governo brasileiro tenha instituído instrumentos legais na forma de leis, decretos, normas, instruções para a promoção da sustentabilidade como alicerce à preservação do meio ambiente, à promoção da cidadania e para o desenvolvimento econômico e bem-estar das futuras gerações, paradoxalmente as Universidades Federais — UFs não têm adotado as melhores práticas da ciência e tecnologia que desenvolvem na promoção de sua própria sustentabilidade energética.

Tabela 1-1 – Gastos por item de despesa anual com energia elétrica [2].

PERIODOS	GASTOS	(%)
2016	R\$2.156.707.902	1,04
2017	R\$2.018.989.413	0,98
2018	R\$2.308.781.601	1,12
2019	R\$2.564.308.546	1,24
2020	R\$2.153.937.146	1,04
2021(até abril)	R\$320.522.131	0,16

Existem programas criados para incentivar o uso de fontes renováveis como, por exemplo, o Programa de Desenvolvimento de Geração Distribuída de Energia Elétrica — ProGD criado pelo Ministério de Minas e Energia — MME em 2015, que tem por finalidade estimular todas as classes consumidoras a ter sua própria geração de energia por fontes renováveis e seu maior incentivo está na energia solar [3].

Bem como ilustrado na Tabela 1-2 e na Figura 1-2, os gastos com o Ministério da Educação (31,0%), o Ministério da Defesa (14,6%) e o Ministério da Saúde (8,2%) totalizam (53,8%) provindo de serviços de energia elétrica, além disso, da totalidade do Ministério da Educação 22,8% foram alocados para as UFs e 7,0% para os institutos federais como mostra a Figura 1-3. Portanto, em média, os gastos públicos com energia elétrica em UFs e institutos federais chegam a R\$650 milhões por ano.

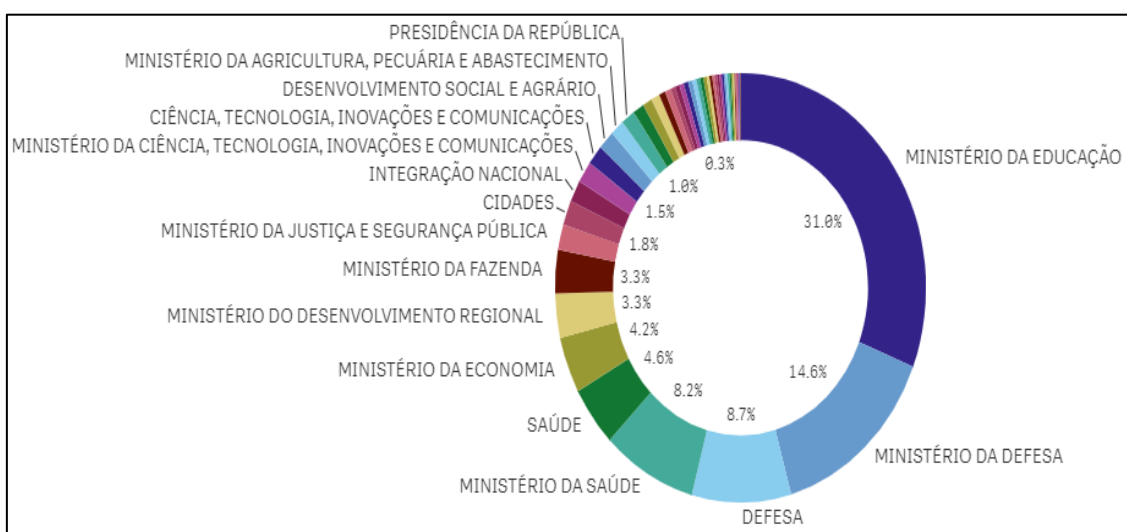


Figura 1-2 – Proporção dos gastos por órgão superior nos últimos 6 anos [2].

Tabela 1-2 – Gastos por órgão superior anual [2].

PERIODOS	MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO	MINISTÉRIO DA DEFESA	MINISTÉRIO DA SAÚDE
2016	R\$707.930.140	R\$497.296.653	R\$226.491.034
2017	R\$647.585.241	R\$483.463.784	R\$245.145.397
2018	R\$733.697.467	R\$516.992.639	R\$280.756.862
2019	R\$829.069.709	R\$592.567.474	R\$296.923.888
2020	R\$607.941.923	R\$524.725.593	R\$326.750.233
2021	R\$93.835.665	R\$67.251.916	R\$44.817.175

A Figura 1–4 mostra a evolução do quanto foi gasto em energia elétrica pelo Poder Público brasileiro em UFs e institutos federais entre os anos de 2016–2020. Observa-se que os gastos do poder público com energia elétrica em UFs brasileiras, por exemplo, no ano de 2020, segundo [2], foram de R\$450.219.268,00, ou seja, 21,1% do seu orçamento. Já com Institutos Federais de Educação Superior os gastos foram R\$120.083.671,00 ou 5,6% de seu orçamento. Comparados com anos anteriores, esses valores são relativamente menores devido ao cenário de pandemia, uma vez que muitas UFs estão desenvolvendo o seu trabalho de forma remota.

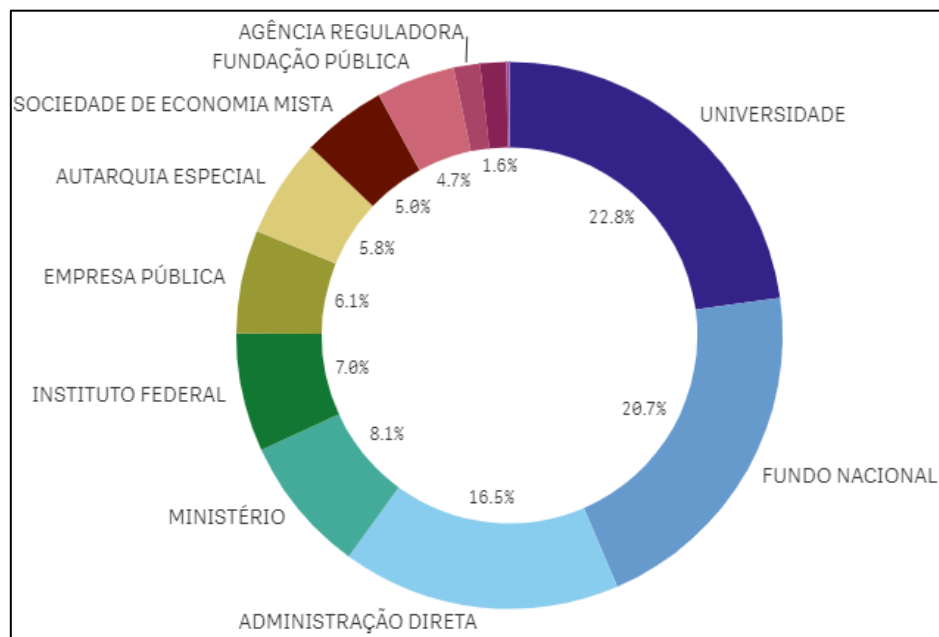


Figura 1-3 – Proporção dos gastos por classificação da unidade orçamentária nos últimos 6 anos [2].

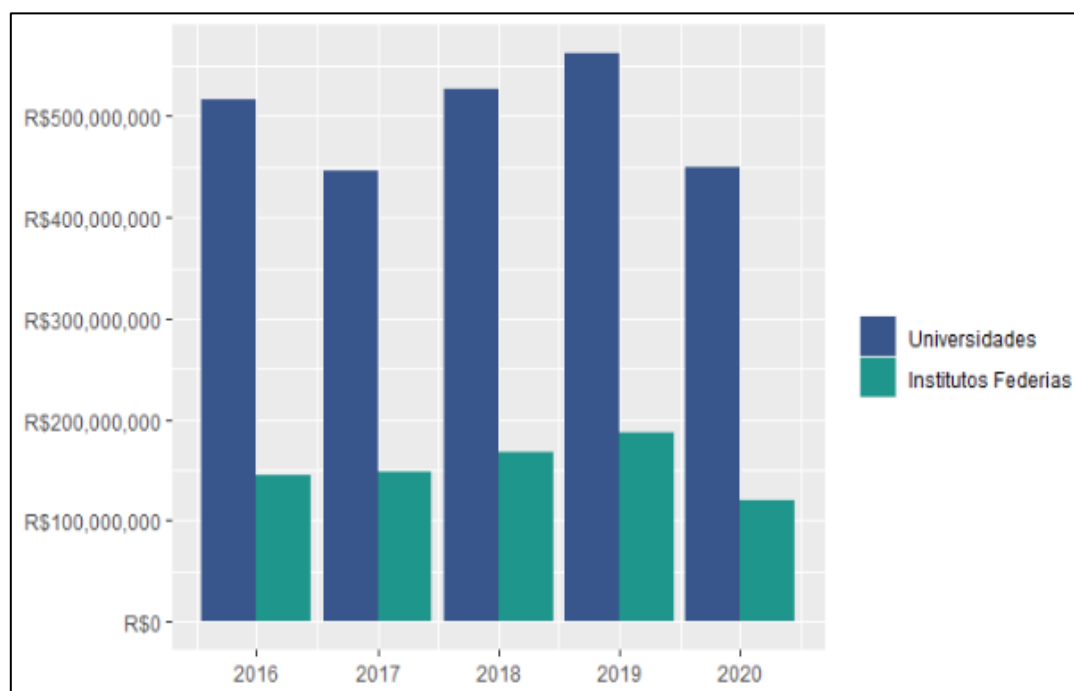


Figura 1-4 – Gastos públicos com energia elétrica das UFs e Institutos Federais nos últimos cinco anos (adaptado) [2].

É importante ressaltar que o governo por meio da Lei Orçamentária Anual — LOA vem fazendo cortes nos orçamentos das UFs como pode ser visto na Figura 1-5 [4], [5]. Segundo a Associação Nacional dos Dirigentes das

Instituições Federais de Ensino Superior — Andifes o corte no orçamento destinado às 69 UFs é de mais de 18%, o que acaba por causar impacto nas pesquisas e no ensino no país, além de comprometer as manutenções dos prédios [6]. Mas também é evidente que o setor público gasta muito com energia elétrica e grande parte dele é para sustentar as atividades das UFs. Portanto, alguns mecanismos para redução de gastos com energia elétrica devem ser tomados, e uma solução seria a instalação do sistema Fotovoltaico — FV.

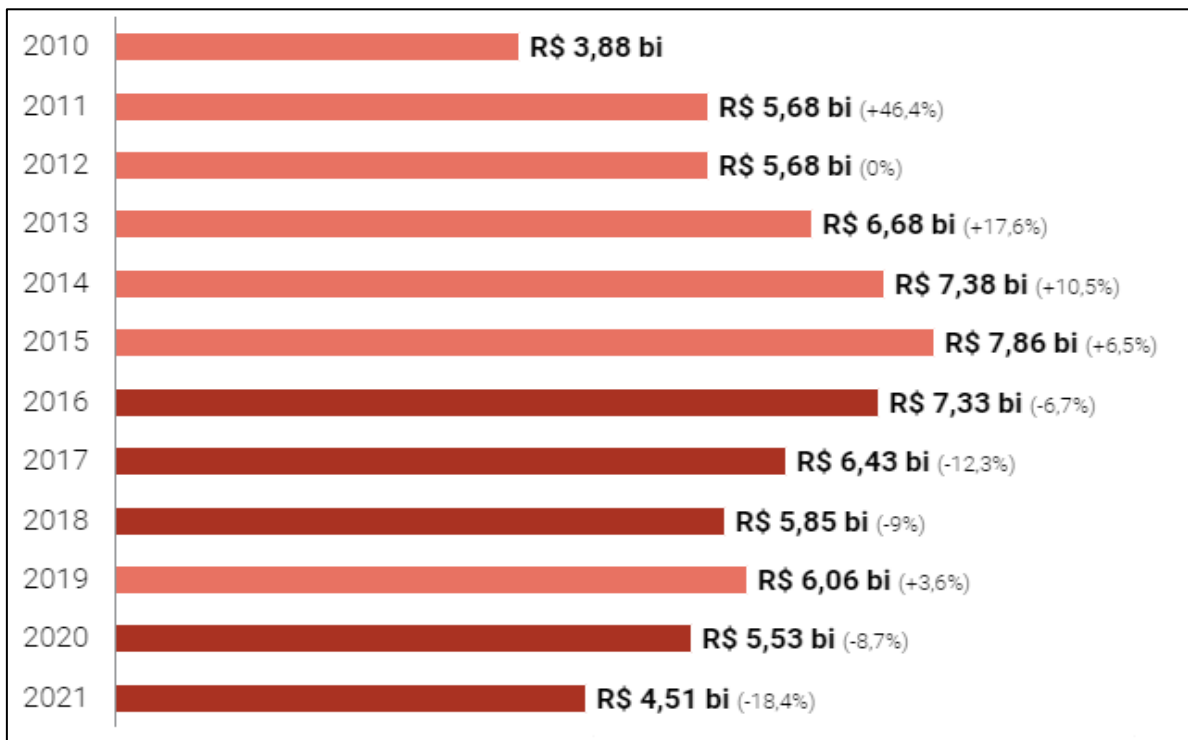


Figura 1-5 – Cortes no orçamento em bilhões em UFs [4].

De modo a reduzir os gastos públicos com energia elétrica, algumas medidas como a instalação de sistema FV foram aderidas pelo Poder Público, como mostra os indicadores divulgados pela ANEEL. De capacidade instalada de geração de energia elétrica por fonte solar nos prédios públicos entre o período de 2008 a 2020 chegou-se a 4.676 MW, já de potência instalada de sistemas de geração solar é de apenas 57.351,84 kWp em todo o território brasileiro nesse mesmo período [7]. É importante ressaltar que a participação do poder público é irrisória se comparar como por exemplo, a classe residencial que nesse mesmo período chegou a 2.524.902,81 kWp de potência instalada, Fica evidente que diante desses valores a participação do poder público na GD

precisa ser mais eficaz, levando em consideração que alguns prédios públicos ultrapassam o limite de potência estabelecido pela ANEEL por meio da RN 482/2012 como é o caso de algumas UFs, isso acaba por atrapalhar a atuação do poder público na GD.

Sistemas de geração fotovoltaica são as fontes renováveis mais utilizadas para atenuar os custos financeiros do consumo de energia. Assim, a injeção de energia gerada a partir de fontes renováveis e a utilização das mesmas em períodos de alta demanda reduzem os custos marginais de energia elétrica. Existem várias UFs que aderiram à redução de custo, algumas delas são exibidas como modelos que instalaram sistemas FVs no ano de 2020, como mostra a Tabela 1-3.

Tabela 1-3 – Instalação de sistemas FVs em 5 UFs no ano de 2020.

IFES	ENERGIA GERADA	POTÊNCIA INSTALADA	ECONOMIA
UFGD	1.702 MWh/ano	1,13 MWp	R\$ 764 mil
UFG	-	3,49 MWp	R\$2,7 milhões
UFPR	1.299,715 MWh/ano	-	R\$1,5 milhões
UFC	970 MWh/ano	-	R\$ 500 mil
UFLA	447.821 MWh/ano	1,3 MWp	-

A UF de Grande Dourados — UFGD opera hoje com uma estrutura de sistema FV com potência instalada de 1.125,6 kWp e sua capacidade de geração é de 1.702 MWh por ano. O sistema estava funcionando em fase de teste desde outubro de 2019 até fevereiro de 2020 e já gerava uma economia de R\$ 764.400,00 em energia elétrica [8]. Outra universidade que iniciou a instalação de usinas solares fotovoltaicas é a UF de Goiás — UFG no campus Samambaia, cuja potência total prevista é de 2.605 kWp, sendo que atualmente ela já conta com uma potência instalada de 880 kWp, sendo duas no Campus Colemar Natal e Silva e três no Campus Samambaia. O objetivo é que em setembro de 2021, juntas totalizem 3.485 kWp de potência instalada, resultando em uma economia de R\$ 2,7 milhões por ano [9].

A UF do Paraná — UFPR, tem um complexo solar com capacidade de geração de 1.299,715 MWh por ano o que permite uma economia de R\$1,5 milhões em energia elétrica [10]. A UF do Ceará — UFC, conta com a expectativa de gerar uma economia de R\$ 500 mil por ano com a instalação de duas usinas de energia solar, que produzem o equivalente a 970 MWh/ano [11]. Em março de 2020 a UF de Lavras — UFLA, recebeu 2600 placas fotovoltaicas que foram incorporadas com outras 950 que já estavam instaladas, totalizando 1,3 MWp de potência instalada [12]. Foi implantado também na UF de Juiz de Fora — UFJF, um sistema FV com 500 kWp de potência instalada [13].

Entretanto, é ainda irrisória a aplicação de sistemas de geração fotovoltaico em unidades consumidoras classificadas como órgãos públicos sendo apenas 1.519 GDs [7]. Falta para o poder público uma melhor estratégia de investimento ou de alocação de seus recursos, de forma a reduzir os gastos com energia elétrica e promover o uso consciente. Tendo em vista a possível instalação de sistemas de geração FV em todas as UFs brasileiras, todos seriam beneficiados por possuírem um sistema de geração própria que poderá trazer a redução de gastos à unidade consumidora e também poderia servir como instrumento de capacitação dos alunos, desde ensinar conceitos e aplicações de sistemas de geração FV, o consumo consciente de energia elétrica, chegando até a capacitação de profissionais na área, além de servir como um “laboratório vivo” para pesquisas avançadas.

1.2. OBJETIVOS E CONTRIBUIÇÕES DA DISSERTAÇÃO

Com base na contextualização do problema de pesquisa, o presente trabalho tem por objetivo geral organizar um modelo de negócio de modo estocástico. Estruturar um plano de negócio, onde é feito uma análise de viabilidade econômica e o risco associado ao investimento público de modo a mostrar ao MEC qual é o melhor investimento em sistema FV no contexto de GD em UFs.

De modo a atingir o objetivo geral foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos de pesquisa:

- Avaliar a viabilidade de geração na própria carga das UFs;

- Avaliar a viabilidade de autoconsumo remoto das UFs;
- Análise de risco e incerteza em cada um dos casos;
- Organizar um quadro de tomada de decisão de investimento de acordo com a área de concessão de cada universidade federal.

1.3. LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Apesar da análise compreender nove UFs (devido à ausência de dados das outras universidades), a técnica pode ser aplicada para qualquer universidade brasileira, uma vez que os resultados obtidos nessa amostra são suficientes para que as UFs e outras edificações públicas utilizem como parâmetro e que venha servir de referência para a diminuição de gastos com energia elétrica. Além disso, a proposta de negócio aqui estudada apresenta algumas limitações como:

- ICMS: esse tributo pode acarretar alterações na análise uma vez que ele pode ser isento em alguns estados ou cobrado em outros mudando a análise devido as UFs aqui estudadas variarem de um estado para outro.
- O limite de potência, que atualmente é de 5MW impõe limitações na instalação de usina FV, uma vez que, as UFs aqui estudadas apresentaram potência acima do que é estabelecido na RN 482. Então, para as UFs que não possuem campi mas que tem potência acima de 5MW não seria possível instalação de sistema FV em sua unidade de modo a suprir todo seu consumo, mas apenas parcial.
- A alteração da Resolução Normativa Nº 482/2012, afeta a análise uma vez que este estudo está utilizando como base a que está em vigência, desta forma, assim que ela mudar a análise também sofrerá alterações.

1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O presente trabalho está dividido em 5 capítulos. O capítulo 1 faz a introdução dos temas abordados, apresentando a contextualização e a relevância do tema, motivações, objetivos da pesquisa, limitações da pesquisa e contribuições da dissertação.

O capítulo 2 refere-se à fundamentação teórica que toma como referência para a metodologia proposta do tema de pesquisa, seguido da revisão da literatura que serviram de base para a elaboração do trabalho, sendo o mesmo dividido em 3 tópicos: Geração distribuída, que aponta as normas brasileiras e o como funciona o sistema de tarifação, sistemas FVs são sintetizados os conceitos do sistema FV, o cenário atual do Brasil e a atuação do poder público, em seguida, análise econômica que abrange os principais referenciais teóricos para sustentar essa dissertação, o valor presente líquido, a taxa interna de retorno, análise de risco e distribuição de probabilidade.

O capítulo 3 apresenta o método de pesquisa Modelagem e Simulação que guiou este trabalho. Ao longo desse capítulo também foram descritas as etapas que foram utilizadas para fomentar toda a elaboração da pesquisa. No capítulo 4, mostrou-se a análise econômico-financeira de sistema FV para UFs, bem como, um fluxograma estruturado do processo de cálculos. Buscou-se ainda nesse capítulo, propor um modelo de negócio de modo a fomentar a tomada de decisão do investidor.

Por fim, o capítulo 5 conclui o trabalho fazendo as últimas observações dos resultados apresentados desta pesquisa e finaliza com a proposição de trabalhos futuros decorrentes deste estudo.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. REVISÃO DA LITERATURA

Em [14], elaborou-se uma análise para a viabilidade econômica e técnica de se alterar o atual sistema de funcionamento (isolado) para um sistema interligado à rede de distribuição na UF do Paraná. A partir dos resultados obtidos, foi possível fazer uma análise dos custos unitários da energia elétrica gerada pelos dois tipos de sistemas FV e compará-los com as tarifas da energia da concessionária. Como resultado, verificou-se neste estudo de caso que a substituição do então atual sistema isolado por um sistema interligado à rede de distribuição seria tecnicamente possível e as estimativas apontavam um *payback* de 8 anos. Caso a instituição não investisse na transformação anteriormente indicada, seria desconectada as luminárias do atual sistema isolado e as conectarem na rede elétrica da concessionária, se apresentando como alternativa mais econômica para os cofres públicos.

Nos estudos de [15] buscou-se contribuir com a redução da demanda de energia, com a eficiência energética e a quantificação das emissões de CO₂, buscando com que as mesmas fossem evitadas com a energia gerada por meio da utilização da energia fotovoltaica na Universidade Tecnológica Federal do Paraná — UTFPR, campus Curitiba. Os resultados obtidos mostravam que a UTFPR — campus Curitiba apresentava um vasto potencial para a geração de energia fotovoltaico, sendo que a instituição poderia alocar um sistema com potência instalada total de 3,25 MW, e gerar um total anual de energia de 4,37 GWh. Com relação ao nível de penetração energética total calculado, obtiveram-se 489,97%, significando a ocorrência de injeção do excedente de energia fotogerada no sistema elétrico. Afirmou-se que além da possibilidade de redução de custos com energia elétrica, havia uma redução significativa nas emissões de gases do efeito estufa referente ao cálculo de CO₂, correspondendo a emissão de 284,43 tCO₂ ao ano.

No trabalho de [16] o objetivo principal do trabalho foi avaliar de maneira estocástica o desempenho econômico da implantação de sistemas de geração

fotovoltaico no campus da UNIFEI — UF de Itajubá. Apresentou-se uma metodologia de modo a estimar o retorno econômico e o seu risco associado ao investimento em sistemas de geração fotovoltaico e isso foi feito através da simulação de Monte Carlo.

Em [17], é apresentada uma modelagem para avaliação da viabilidade econômica e gerenciamento de riscos em contratos de construção ou locação para geração de energia fotovoltaica distribuída na UF de Itajubá — UNIFEI. A partir dos resultados destas simulações, foram realizadas comparações entre dois modelos de contrato propostos: o Modelo de Construção, no qual a Universidade faz o investimento em um sistema de geração fotovoltaica e, em contrapartida, reduz seus gastos com energia elétrica e o Modelo de Locação, em que uma empresa locadora faz o investimento no sistema FV, realiza a instalação na UNIFEI e consequentemente passa a receber um aluguel da Universidade, cujo valor é equivalente à sua conta de energia reduzida por um desconto percentual. Por fim, fez-se uma comparação entre os resultados dos modelos de contrato visando encontrar a melhor solução para a Universidade.

Em conformidade com [18], o trabalho apresenta os benefícios e vantagens em todos os aspectos do desenvolvimento sustentável (econômico, social e ambiental), que uma universidade pública pode alcançar ao adquirir e fazer uso de sistema solar fotovoltaico como fonte geradora alternativa de energia elétrica.

De acordo com [19], apresentou-se o projeto de instalação de um sistema FV no estacionamento da Universidade de São Paulo — USP, na área 2 do campus de São Carlos. O objetivo foi trazer ao campus de São Carlos a redução dos gastos com energia elétrica e também trazer visibilidade à instituição com relação ao uso de fontes renováveis para geração de energia elétrica. Concluiu-se a partir de uma análise de viabilidade financeira que o projeto é economicamente viável, com uma expectativa de geração no primeiro ano de 68MWh e um *payback* de 7,5 anos.

Em [20] tem como objetivo avaliar o desempenho do primeiro ano de operação do sistema FV instalado no campus Floriano do Instituto Federal do Piauí, que vai de maio de 2016 a junho de 2017. Foi feito uma análise técnica

por meio do cálculo dos índices de mérito: Taxa de Desempenho de Produtividade Final e Fator de Capacidade e na análise econômica foram utilizados os conceitos de Valor Presente Líquido — VPL, Taxa Interna de Retorno, *Payback* e Relação Custo-Benefício.

Segundo [21], realizou-se um estudo de caso na rede de distribuição de uma universidade localizada no sul do Brasil, onde foi feito uma análise técnico-econômica do impacto da instalação de painéis solares, considerando os impactos na qualidade de energia das instalações do consumidor. Foi realizado um diagnóstico da rede por meio de monitoramento de energia que foi estimada considerando o método analítico, para determinar o impacto sobre a qualidade de energia das instalações e avaliar a necessidade de adequações das instalações e para tanto, usou-se o software *OpenDss*.

Buscou-se por [22] avaliar a eficiência energética na TSU, além disso, realizou uma análise financeira para mostrar que os projetos de energia sustentável selecionado podem não apenas reduzir o uso de energia na TSU e, sim vir a fortalecer o compromisso da Universidade com a sustentabilidade. A abordagem do artigo foi de determinar o nível de atratividade ao investir em novas tecnologias, calculando o VPL em termos de economia financeira a cada ano (retorno simples) ou um período mais prolongado (modelo de fluxo de caixa).

Conforme [23], avaliou-se a viabilidade econômica de uma usina FV na Universidade de L'Aquila, aproximadamente 10 anos após um terremoto devastar a região. O processo de reconstrução está em andamento e uma usina solar fotovoltaica pode potencialmente mover a cidade em uma direção sustentável. O desenvolvimento de modelos de sustentabilidade requer a verificação econômica dos projetos relevantes e uma lista completa de indicadores para os tomadores de decisão.

Abordou-se em [24] uma análise técnica e econômica de uma usina FV no setor público brasileiro e vários cenários foram avaliados, indicando que uma mudança na política tarifária brasileira poderia ser uma alternativa para impulsionar a geração fotovoltaico no setor público. A análise de risco demonstrou que a taxa de retorno mínima aceitável é a variável que mais afeta a viabilidade do sistema. Além disso, uma Simulação de Monte Carlo — MCS

mostrou que o sistema fotovoltaico proposto tem uma probabilidade de viabilidade superior a 92%.

Em [25] estuda o potencial de instalação da Geração Distribuída fotovoltaica na *Universidad Politécnica de Madrid* — campus Ciudad Universitaria. Para tal, o estudo foca na geração de eletricidade, redução de carbono e viabilidade econômica da instalação de sistemas solares fotovoltaico utilizando e comparando duas abordagens diferentes, baseadas na introdução de dados com diferentes resoluções de tempo, *software* de simulação e nível de detalhe.

Segundo [26], investigaram-se técnicas do sistema solar FV conectado à rede; módulos fotovoltaicos de rastreamento de eixo único e duplo fixo. Além do mais, dois modelos de engenharia para a construção de tal projeto foram investigados; o modelo *Build Operate Transfer* — BOT e o modelo de engenharia *Engineering Procurement Construction* — EPC. A análise de desempenho foi conduzida em termos de rendimento final, uso da terra e eficiência de conversão, enquanto a análise econômica investiga o período de retorno simples e a taxa interna de retorno. A simulação foi realizada utilizando um modelo *Trnsys* validado experimentalmente pelos autores.

Em conformidade com [27], estudou-se o comportamento ambiental que foi caracterizado para um sistema FV integrado ao edifício — BIPV de 840 Wp instalado no Departamento de Física da Faculdade de Ciências da Universidade Nacional da Colômbia, campus de Bogotá. O artigo baseou-se na comparação do potencial de impactos ambientais de cinco cenários de geração de energia, tomando como referência a instalação do sistema FV na Universidade. [28] Testa se é viável operar o campus de Swinburne com sistemas FVs e o estudo teve como objetivo projetar e implementar um sistema de energia fotovoltaica para alimentar a *Swinburne University of Technology Sarawak*. As análises econômicas como custo nivelado de energia — LCOE, análise de custo do ciclo de vida — LCCA e período de retorno são estudados para o sistema FV.

É de suma importância o assunto sobre sustentabilidade energética nas Universidades Federais e a busca pela eficiência energética, e para tanto foram pesquisadas publicações que abordaram o tema em questão. Foi possível notar

que na maioria dos trabalhos apresentados, não foi abordado a análise e aplicação de modo que supra o consumo de energia total das universidades, ou que tenham usado um método para tomada de decisão, fizeram uso de análise determinística em suas pesquisas. No entanto, outros que abordam esse tema de sustentabilidade e sistemas FV em universidades exibem uma análise estocástica específica para seu próprio campus e em pequenos blocos, porém, nenhum deles adotaram um método para tomada de decisão. Neste trabalho uma abordagem estruturada é proposta, a qual trata de uma modelagem e simulação para universidades do país.

2.2. GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

A geração distribuída é caracterizada pelo uso de geradores descentralizados e recebe esta denominação por representar um modelo de produção de energia elétrica próxima ao centro de consumo, sendo capaz de ser conectados à rede elétrica *on grid* ou isolados *off grid*. Quando corretamente implantados (dependendo da capacidade instalada pode vir a trazer problemas para a rede) demandam menos investimento em infraestrutura, permitindo aliviar as linhas de transmissão e os sistemas de distribuição e, conseqüentemente, também geram uma redução das perdas inerentes ao fluxo de energia, além de proporcionar bem-estar e melhoria na qualidade de vida ao consumidor [16], [29]. A Figura 2–1 ilustra uma possível estrutura de geração distribuída.

A geração distribuída é composta por pequenas fontes geradoras de energia elétrica (turbinas eólicas, geradores a diesel, sistema térmico, módulos solares com ou sem armazenamento) e ela se opõe ao modo tradicional de geração de energia elétrica, conhecida como geração centralizada, cuja energia é transmitida a longas distâncias e possui complexos sistemas de distribuição, desde o ponto de geração até o local de consumo, ou seja, a geração centralizada é constituída de grandes usinas onde são produzidas grandes quantidades de energia elétrica, construídas em locais distantes dos consumidores [31], [32]. Pode-se analisar a estrutura da geração centralizada conforme mostra a Figura 2–2.



Figura 2-1 – Estrutura de geração distribuída [30].

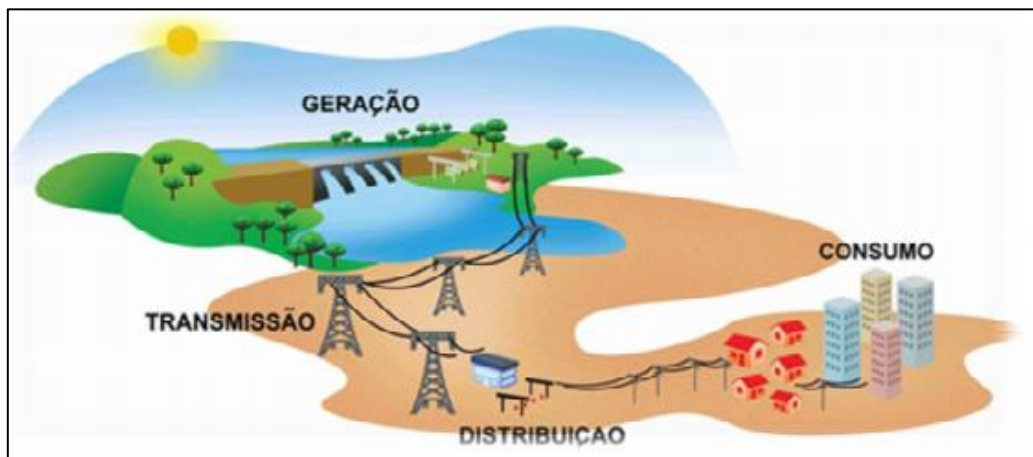


Figura 2-2 – Estrutura de geração centralizada [33].

A introdução de fontes renováveis na matriz energética é um processo lento, longo e muito complicado por possuir complexidades normativas, técnicas, ambientais, políticas e econômicas e consequentemente dificulta a expansão do mercado de geração distribuída de ser mais rápida, fazendo com que grande parte da energia elétrica seja proveniente de fontes não renováveis [34], principalmente em países onde há abundância de carvão e petróleo, como os Estados Unidos e China, os maiores poluidores do planeta.

2.2.1. NORMAS BRASILEIRAS

A partir de 2012 entrou em vigor a Resolução Normativa Nº 482/2012

criada pela ANEEL, a mesma permitiu a criação dos sistemas de microgeração e minigeração distribuídas, possibilitando a geração da própria energia solar, o fornecimento de energia para a rede e a transformação do excedente em desconto nas próximas contas de energia, proveniente de fontes renováveis e alternativas conectadas às redes elétricas de baixa tensão [35].

De acordo com as normas estabelecidas, a definição de microgeração distribuída teria um sistema menor ou igual a 100kW e a minigeração com sistemas de 100kW a 1MW. Para complementar as normas existentes foram criadas a Resolução Nº 517/2012 e a Resolução Nº 687/2015 com o objetivo de alterar substancialmente os limites de microgeração e minigeração que passaram a ter sistemas com potência menor ou igual a 75kW para microgeração com potência entre 75kW a 5MW. Para geradoras acima de 5MW criou-se a Resolução 676/2015 [36], [37].

2.2.2. SISTEMA DE TARIFICAÇÃO

Segundo a Resolução Normativa Nº 479/2012 define-se como posto tarifário o período de tempo em horas para aplicação das tarifas de energia elétrica de forma diferente ao longo do dia, tendo nesse período de tempo o Horário de Ponta — HP, o Horário Fora de Ponta — HFP e o período intermediário que corresponde a uma hora antes e uma hora depois do período de ponta, além disso, o posto tarifário de ponta é determinado como 3 horas diárias consecutivas definidas pelas concessionárias, como apresentado na Tabela 2-1 com as distribuidoras selecionadas para esse estudo. Esse período varia de uma para outra, considerando a curva de carga do seu sistema elétrico. O horário fora de ponta consiste em período do dia onde o consumo de energia elétrica é mais baixo [38], [39].

Tabela 2-1 – Postos Tarifários das Distribuidoras [35]. (adaptado)

DISTRIBUÍDORAS	INTERMEDIÁRIO 1	HORÁRIO DE PONTA	INTERMEDIÁRIO 2	RESOLUÇÃO
CEB-DIS	17:00 – 18:00	18:00 – 21:00	21:00 – 22:00	2.161/2016
CEEE-D	17:00 – 18:00	18:00 – 21:00	21:00 – 22:00	2.171/2016
COELBA	16:00 – 18:00	18:00 – 21:00	-	2.382/2018
EMT	15:30 – 17:30	17:30 – 20:30	20:30 – 21:30	2.379/2018
EPB	13:00 – 17:30	17:30 – 20:30	20:30 – 21:30	2.291/2017
RGE	16:00 – 18:00	18:00 – 21:00	21:00 – 22:00	2.557/2019
EQ- PA	-	-	-	-

A Resolução Normativa Nº482/2012 da ANEEL estabelece que a energia gerada será utilizada para compensar a energia consumida no mesmo posto tarifário que foi gerada, caso haja excedente, esse saldo poderá ser utilizado para compensar o consumo em outro posto tarifário, através de um fator de ajuste. Esse fator de ajuste é calculado da seguinte forma: o quociente entre a tarifa de energia no posto tarifário em que a energia foi gerada no HFP e a tarifa de energia no posto tarifário em que a energia foi consumida no HP [35], [16]. Segundo a ANEEL por meio da Resolução Normativa Nº 479, pode-se estabelecer as bandeiras tarifárias que atualmente são três: bandeira verde, amarela e vermelha, sendo que as mesmas têm por finalidade sinalizar aos consumidores os custos da geração de energia atual. Têm-se ainda as modalidades tarifárias, que nada mais é do que um conjunto de tarifas aplicáveis aos componentes de consumo de energia elétrica e demanda de potência ativa como mostra a Figura 2–3.

Segundo a Resolução Normativa Nº 414/2010 os grupos e subgrupos de consumidores são classificados de acordo com a tensão que são ligados na rede elétrica, como mostra a Figura 2–4. O Grupo A é composto por unidades consumidoras que consomem energia em tensão igual ou superior a 2,3 kV e seus subgrupos se enquadram a indústrias e estabelecimentos comerciais de médio e grande porte; o grupo B que é composto por unidades consumidoras com fornecimento em tensão inferior a 2,3 kV [40].

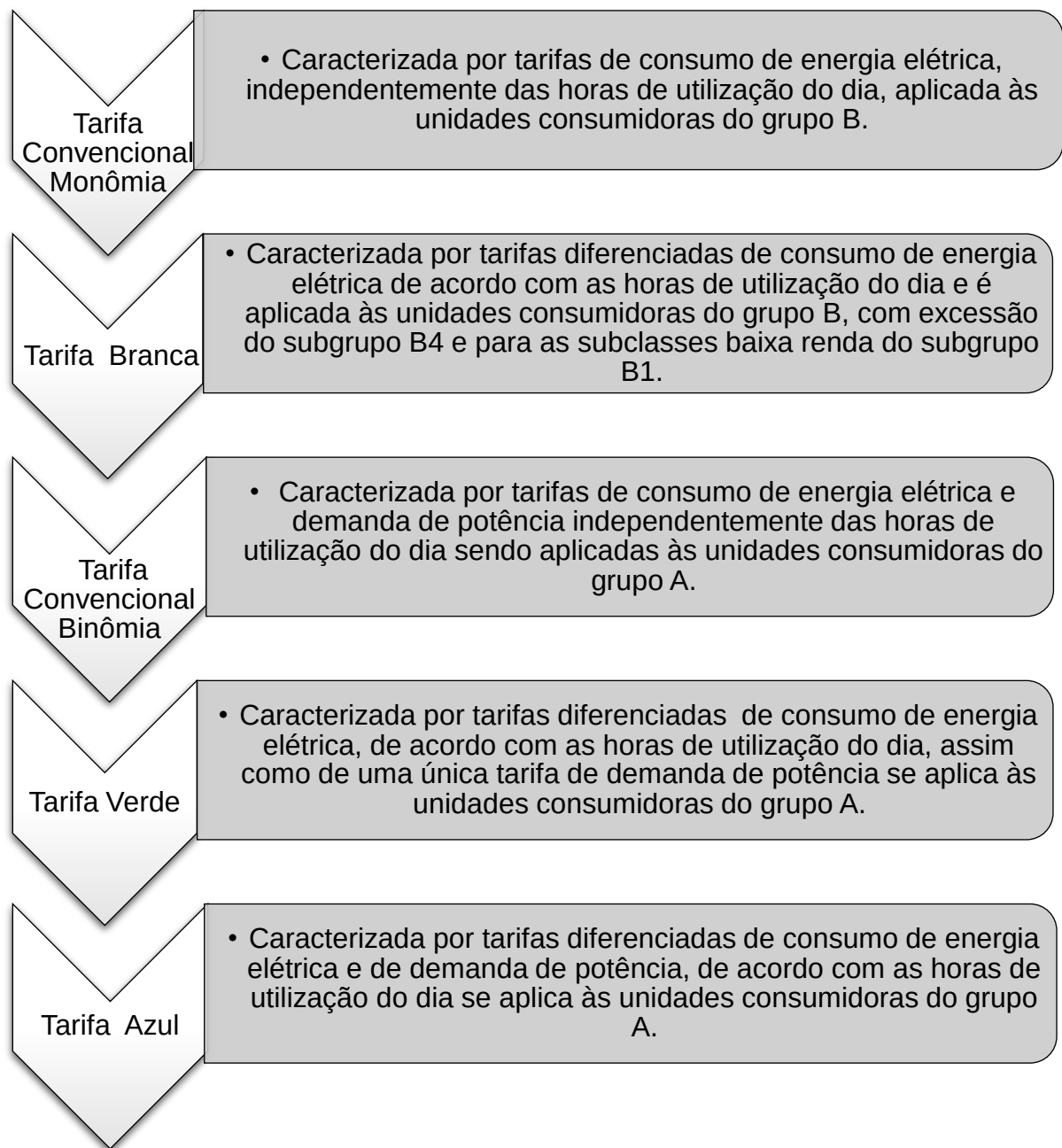


Figura 2-3 – Classificação das modalidades tarifárias [40]. (adaptado)

Grupo A	Grupo B
• Tensão com fornecimento superior a 230 kV pertencem ao subgrupo A1; • Tensão com fornecimento de 88kV a 138 kV pertencem ao subgrupo A2; • Tensão com fornecimento de 69 kV pertencem ao subgrupo A3; • Tensão com fornecimento de 30 kV a 44 kV pertencem ao subgrupo A3a; • Tensão com fornecimento entre 2,3 kV e 25 kV pertencem ao subgrupo A4.	• Residencial pertencente ao subgrupo B1; • Rural pertencente ao subgrupo B2 • Demais classes pertencente ao subgrupo B3 • Iluminação pública pertencente ao subgrupo B4.

Figura 2-4 – Classificação dos subgrupos [40]. (adaptado)

2.3. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

2.3.1. CONCEITOS BÁSICOS DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO

Um sistema FV permite a conversão direta da luz solar em eletricidade, fenômeno este que ocorre quando a radiação solar incide sobre as células que são compostas por materiais semicondutores como o silício, sendo que dentre as diversas tecnologias, é a mais utilizada [29].

Existem dois tipos de sistema FV: o conectado à rede elétrica e o autônomo. O conectado à rede elétrica opera em locais onde os consumidores já são atendidos pela energia elétrica fornecida pela concessionária distribuidora local e o seu objetivo é gerar excedente, dessa forma se tornam produtores de eletricidade e também reduzem o consumo da rede. Já o autônomo, também conhecido como sistema isolado, atua de forma independente da rede elétrica e são aplicados em locais onde não esteja disponível a energia elétrica provinda da rede como praias, zonas rurais, dentre outros. Neste caso é necessário que exista um sistema de armazenamento de energia que faça o trabalho de armazenar a energia gerada no horário de maior incidência solar para que após esse período possa ser consumida.

A Figura 2–5 mostra a diferença entre um sistema *off-grid* e *on-grid* e os seus componentes, podendo analisar s componentes de um sistema FV autônomo, sendo ele um conjunto de placa(s) a depender da quantidade que será dimensionado, um controlador de carga, bateria(s) e um inversor de tensão.

Todavia, para sistemas conectados à rede são necessários, o inversor, a(s) placa(s) e um medidor.

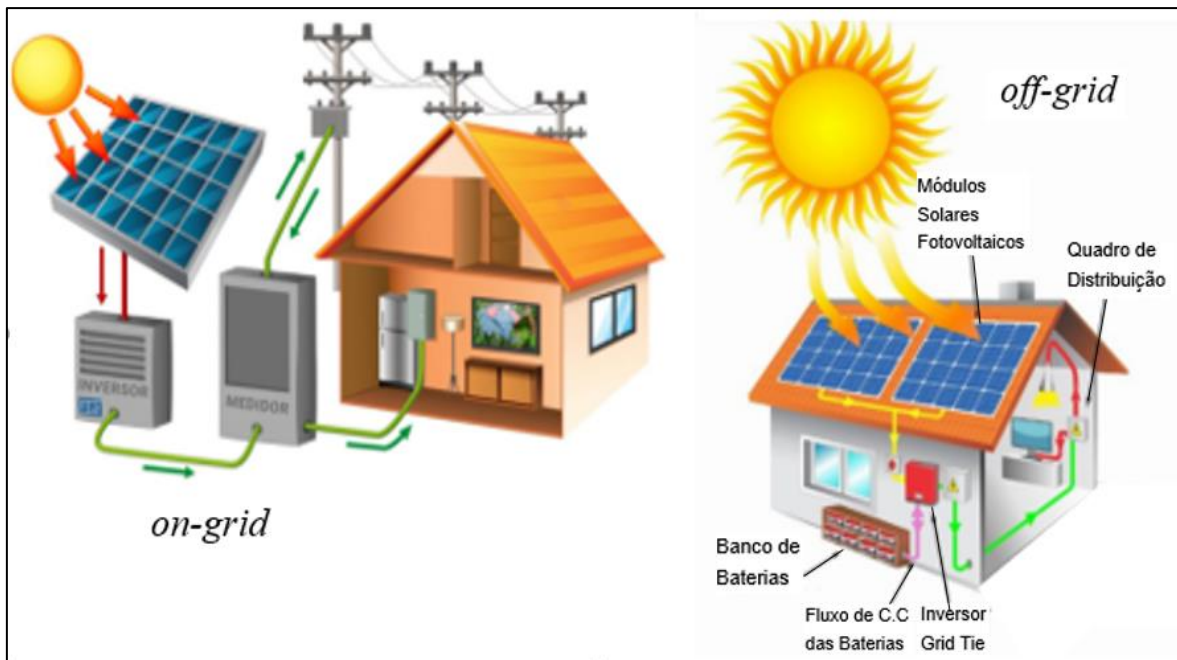


Figura 2-5 – Sistema FV *on-grid* sendo a imagem da esquerda e *off-grid* a imagem da direita [41], [42].

2.3.2. CENÁRIO ATUAL BRASILEIRO

O interesse por fontes renováveis alternativas e limpas de energia vem tornando possível a aplicação de sistemas FV e a sua utilização cresceu nos últimos anos. De acordo com a ANEEL, de dezembro de 2008 até março de 2014 a quantidade de Geração Distribuída — GD no Brasil era de 107 sistemas, apenas 64 municípios possuíam a GD e 22.387,08 kW de potência instalada. Em 2014 até março de 2021 a GD passou dos 428 mil sistemas e o país passou a possuir 5.080.853,37 kW de potência instalada em 5.259 municípios, visto que, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística — IBGE o número de municípios é de 5.570 [43], [44]. A Figura 2-6 mostra a localização geográfica das instalações de GD em todo território brasileiro.

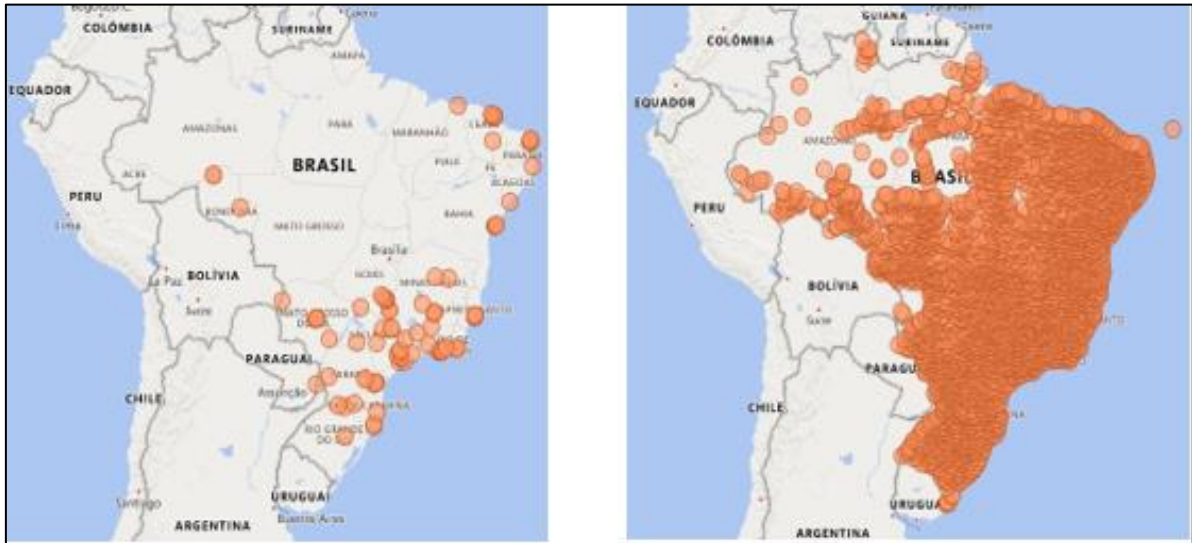


Figura 2-6 – Localização geográfica da GD no Brasil, sendo que à esquerda tem-se a GD no período de 2008 - 2014 e à direita a GD de 2014 - 2021 [43].

A energia solar era exclusivamente empregada aqui no Brasil apenas em sistemas isolados, regiões onde era difícil acesso para implantação de linhas de distribuição de energia elétrica. Como dito anteriormente, nos últimos sete anos a GD teve um crescimento muito expressivo mostrando que embora o sistema FV seja uma boa solução para esse problema de acesso às regiões de difícil acesso, ela não foi limitada apenas para esse uso, muitas das classes consumidoras como poder público, residencial, setor industrial dentre outras, aderiram essa modalidade sustentável depois da criação do Projeto de P&D Estratégico Nº 13/2011, “Arranjos Técnicos e Comerciais para a Inserção de Geração Solar Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira”. Foram realizadas algumas pesquisas que apontaram importantes contribuições para o mercado, ganhos na produção e redução de custos, novos conhecimentos tecnológicos [45]. Diante disso, muitos lugares do país aderiram a GD e hoje vários estados brasileiros são produtores de energia elétrica provindo do sistema FV, dentre eles se destacam Minas Gerais (887,1 MW), São Paulo (613,6 MW) e Rio grande do Sul (601,8 MW), apresentado na Figura 2–7, com o ranking dos estados que possuem maior potência instalada (MW) de acordo com a análise feita pela Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica — ABSOLAR [46].

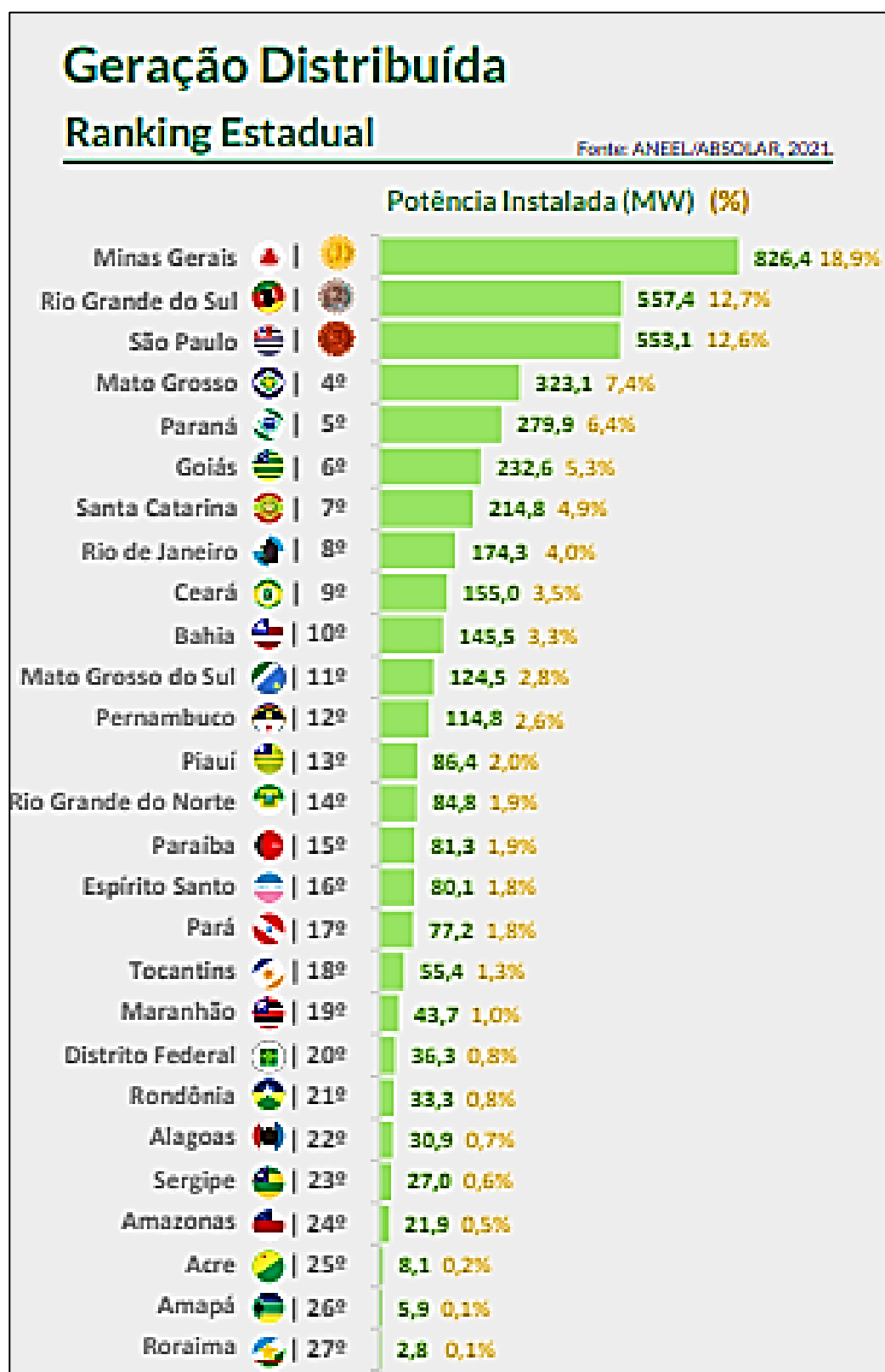


Figura 2-7 – Energia solar FV no Brasil [46].

2.3.3. ATUAÇÃO DO PODER PÚBLICO

Segundo [47] o primeiro incentivo do poder público para com o sistema FV ocorreu em 1994 por meio do Programa de Desenvolvimento Energéticos dos Estados e Municípios — PRODEEM criado pelo Governo Federal, no âmbito do Ministério de Minas e Energia — MME e teve por objetivo levar energia elétrica aos locais isolados não supridos por energia elétrica convencional [48].

Outras ações foram implementadas como as Resoluções Normativas 481/2012 e 482/2012 e as mesmas obtiveram resultados satisfatórios. A Resolução 481/2012 permitiu pelo período de 10 anos um desconto de 80% na Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição — TUSD e Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão — TUST; já a Resolução 482/2012 beneficiou a microgeração e a minigeração distribuída que posteriormente foi reformulada pela Resolução Normativa 687/2015 [49].

Além disso, foi estabelecido a isenção do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços — ICMS sobre a energia injetada na rede para os estados brasileiros como nas operações com equipamentos, nos componentes para o aproveitamento das energias solar, eólica e nas operações internas relativas à circulação de energia elétrica, sujeitas a faturamento sob o sistema de compensação de energia elétrica, estabelecidos pelo Conselho Nacional de Política Fazendária — CONFAZ por meio dos convênios 101/97 e 16/2015 [50].

Além do ICMS, outros tributos foram isentos pelo governo federal por meio da criação do Regime Especial de Incentivo para o Desenvolvimento da Infraestrutura — REIDI, sendo que o mesmo tem por finalidade incentivar investimentos privados em infraestrutura e suspender a exigência de contribuição de Programa de Integração Social — PIS/Programa de Formação do Patrimônio do Setor Público — PASEP e Contribuição para Financiamento de Seguridade Social — COFINS para redução nos custos dos materiais, serviços e equipamentos para transporte, energia, portos, irrigação e saneamento básico, bem como Programa de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Indústria de semicondutores — PADIS que também foi criado visando reduzir a zero as alíquotas pagas aos PIS/PASEP; COFINS; Imposto sobre Produtos

Industrializados — IPI, imposto de importação e Contribuição de Investimento no Domínio Econômico — CIDE [51], [52], [3]. A Figura 2-8 mostra os programas e incentivos do poder público para alavancar o crescimento da GD no Brasil.

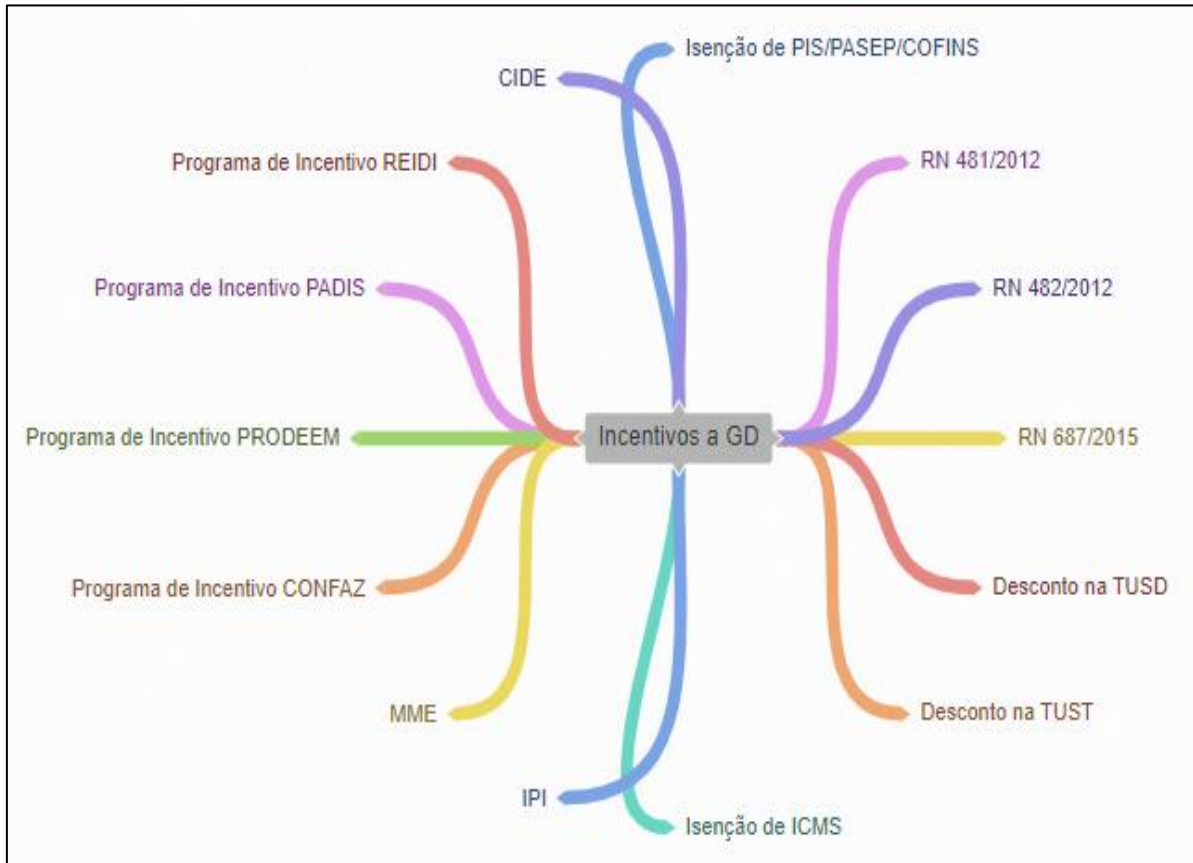


Figura 2-8 – Programas e incentivos do poder público para GD. Fonte: O autor (2021)

Com a obtenção de incentivar ainda mais os avanços da GD no Brasil, o MME criou o ProGD com intuito de estimular todas as classes consumidoras a terem a sua própria geração de energia através de fontes renováveis e o seu maior incentivo está na energia solar. Em parceria com bancos públicos e instituições governamentais criaram-se linhas de financiamento com as instituições financeiras como Banco do Brasil — BB, Caixa Econômica Federal — CEF, Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social — BNDES, além das condições dos bancos públicos, ainda contaram com linhas de financiamento disponibilizadas pelos Bancos Bradesco e Santander, bem como pelo SICREDI-MS, Agência Desenvolve SP e SIC-Goiás [3], [53].

2.4. ANÁLISE ECONÔMICA

Diante de um mercado tão competitivo é necessário que os investidores tenham o máximo de assertividade na hora de decidir, sabendo aplicar técnicas e ferramentas para se saber onde e em que se deve aplicar seu capital. Portanto, se faz necessário uma análise econômica, essa análise prévia é de suma importância para determinar se o investimento do capital em determinado projeto é viável ou não.

Existem várias métricas para fazer a análise de viabilidade, por meio destas pode-se obter as vantagens e desvantagens e a partir das métricas o investidor toma a decisão de escolher qual será o melhor investimento a se fazer e partindo da sua decisão pode-se utilizar ferramentas econômicas como por exemplo VPL, Retorno sobre o Investimento, Valor Anual, dentre outros para fazer uma análise [54].

A viabilidade é a parte mais importante do planejamento de projetos, seja este com recursos próprios ou de terceiros e necessitam sempre de um estudo prévio de viabilidade por ser considerado um dos principais pilares, ou seja, se o projeto for viável, não haverá perda de dinheiro em termos financeiros e consequentemente ficarão longes de darem errados [55].

2.4.1. VALOR PRESENTE LÍQUIDO

Segundo [56], o VPL é obtido através de fluxos de caixas descontados para a data presente resultando na adição de todos os fluxos de caixa na data zero, a Figura 2–9 apresenta esse conceito do VPL, considerando o valor atual de investimento, calculado a partir dos custos e das receitas futuras, descontados a uma Taxa Mínima de atratividade — TMA pré definida. Em outras palavras, o VPL mede o valor presente dos fluxos de caixa gerados pelo projeto ao longo de sua vida útil. Para facilitar a tomada de decisão utiliza-se o VPL para orientar o administrador financeiro a maximizar a riqueza do investidor, as análises feitas com base no VPL são importantes, pois, esse método considera todos os fluxos de caixas originários do projeto além dos custos inerentes ao risco [57].

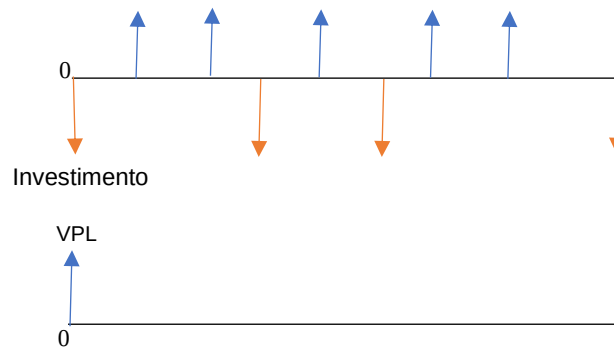


Figura 2-9 – Conceito do VPL. Fonte: O autor (2021)

Para tanto, a seguinte expressão define o VPL:

$$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{FC_t}{(1 + K)^t} \quad (2.1)$$

VPL = Valor Presente Líquido (R\$);

FC_t = fluxo de caixa líquido anual (R\$);

K = custo do capital (%);

t = período.

2.4.2. TAXA INTERNA DE RETORNO

A TIR nada mais é do que a taxa exigida de retorno, ela não é como o VPL que tem por finalidade avaliar a rentabilidade total a determinado custo do capital, ela objetiva encontrar uma taxa inerente de rendimento. A taxa é calculada de forma que o valor presente dos fluxos de caixa ao longo do tempo se iguale a zero, ou seja, ela anula o VPL e define um limite para a variação da TMA, a Figura 2–10 apresenta o conceito da TIR. Para tomada de decisão não se costuma usar muito a TIR, pois, a mesma só é aplicável em fluxos de caixas que possuam uma única inversão de sinal, além disso, como regra de aceitação o projeto só é aceito se a TIR for superior à TMA [58], [59], [60].

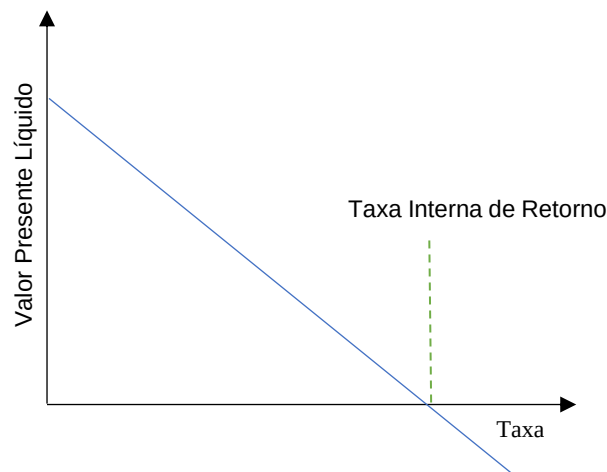


Figura 2-10 – Conceito da Taxa Mínima de Atratividade. Fonte: O autor (2021)

Para tanto, a seguinte expressão define o TIR:

$$0 = \sum_{t=0}^n \frac{FC_t}{(1 + TIR)^t} \quad (2.2)$$

TIR = Taxa Interna de Retorno (%).

2.4.3. ANÁLISE DE RISCO

Uma análise de viabilidade econômica e financeira considerando o risco para o investimento serve de base para que seja tomada uma decisão sobre um novo empreendimento, na qual, demonstrará a viabilidade ou inviabilidade do negócio. Análise de risco pode ser apresentado segundo [61] como um processo racional e estruturado, na qual, está ligado a tomada de decisões futuras e tem por finalidade controlar e reduzir os riscos, pois, o mesmo sofre variações ao longo do tempo sob influência de vários fatores.

A análise de risco busca garantir que o projeto seja capaz de gerar um retorno sobre o patrimônio líquido na qual o investidor possa tomar decisões pautadas em uma análise prévia do risco, de modo que, tenha o mínimo de perdas ou danos em determinado investimento [62]. Para fazer uma análise onde se leva em consideração o risco utiliza-se para isso a simulação de Monte Carlo, uma vez que se obtém uma distribuição de probabilidade de cada variável e é possível calcular cada indicador com valores aleatórios obtendo resultados estocásticos e grande variabilidade de fluxos de caixas.

Uma distribuição de probabilidade é a mensuração da hipótese de ocorrência de fenômenos aleatórios mostrando como poderão ocorrer os fatos, ou seja, associa uma probabilidade a cada resultado numérico de um experimento que pode fornecer diferentes resultados. Através da simulação de Monte Carlo é possível realizar amostragens aleatórias dessa função por consistir em grande quantidade de simulações, além disso, pode-se utilizar no modelo a função de probabilidade triangular que encaixa muito bem em modelos de gestão de projetos. A probabilidade triangular é definida com três dados como mostra a Figura 2-11, que contém o valor máximo, o valor mínimo e o valor mais provável que são baseados em estimativas [63], [64].

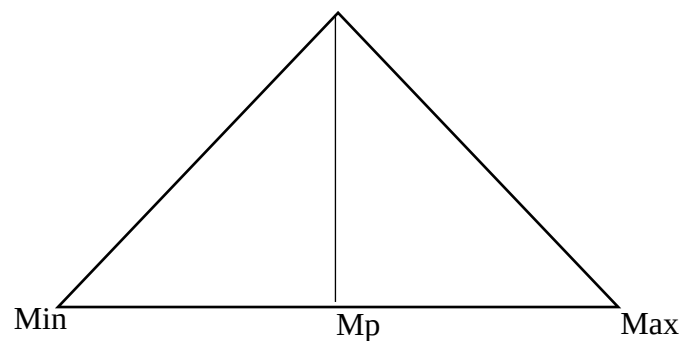


Figura 2-11 – Função Distribuição Triangular [65] (adaptado)

Em uma distribuição uniforme é considerada um intervalo de $[a, b]$ independentes e identicamente distribuídas, onde ambos têm a mesma probabilidade de ocorrência, mesmo comprimento, portanto, a mesma área abaixo da curva como mostra a Figura 2-12. Essa distribuição é usada quando não se conhece nada a respeito de uma variável, mas apenas o seu intervalo de variação [66].

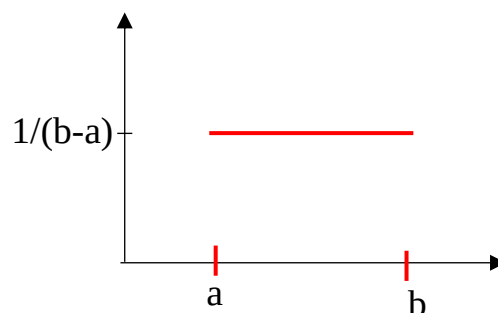


Figura 2-12 – Função Distribuição uniforme [66] (adaptado)

3. MÉTODO DE PESQUISA

3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Neste capítulo será abordado o método utilizado para o estudo, para tanto, o trabalho consistiu, primeiramente, em levantamento dos dados necessários para o dimensionamento de sistemas FVs, que se encontra na primeira etapa de desenvolvimento da pesquisa, seguido da segunda etapa que se trata da análise econômica.

3.2. CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa desse trabalho foi classificada como pesquisa quantitativa (Modelagem e Simulação), visto que, o objetivo foi fazer o uso de ferramentas estatísticas, técnicas computacionais e matemáticas. Esses que tem a definição feita por [67] como pesquisa quantitativa axiomática normativa, que por sua vez, busca verificar e explicar a influência sobre outras variáveis [68].

Com base em suas considerações pode-se então afirmar que, o presente trabalho se enquadra na metodologia normativa. Além disso, a pesquisa pode ser classificada como aplicada, pois, se utilizou de conceitos econômicos para avaliar um resultado e tem por objetivo desenvolver, testar e avaliar produtos e processos, além de comprovar ou rejeitar hipóteses sugeridas pelos modelos teóricos [69], [70]. Seguindo as considerações feitas por [71] a Figura 3-1 apresenta as etapas da modelagem e simulação utilizadas neste trabalho bem como o ciclo de pesquisa para organização do método científico.

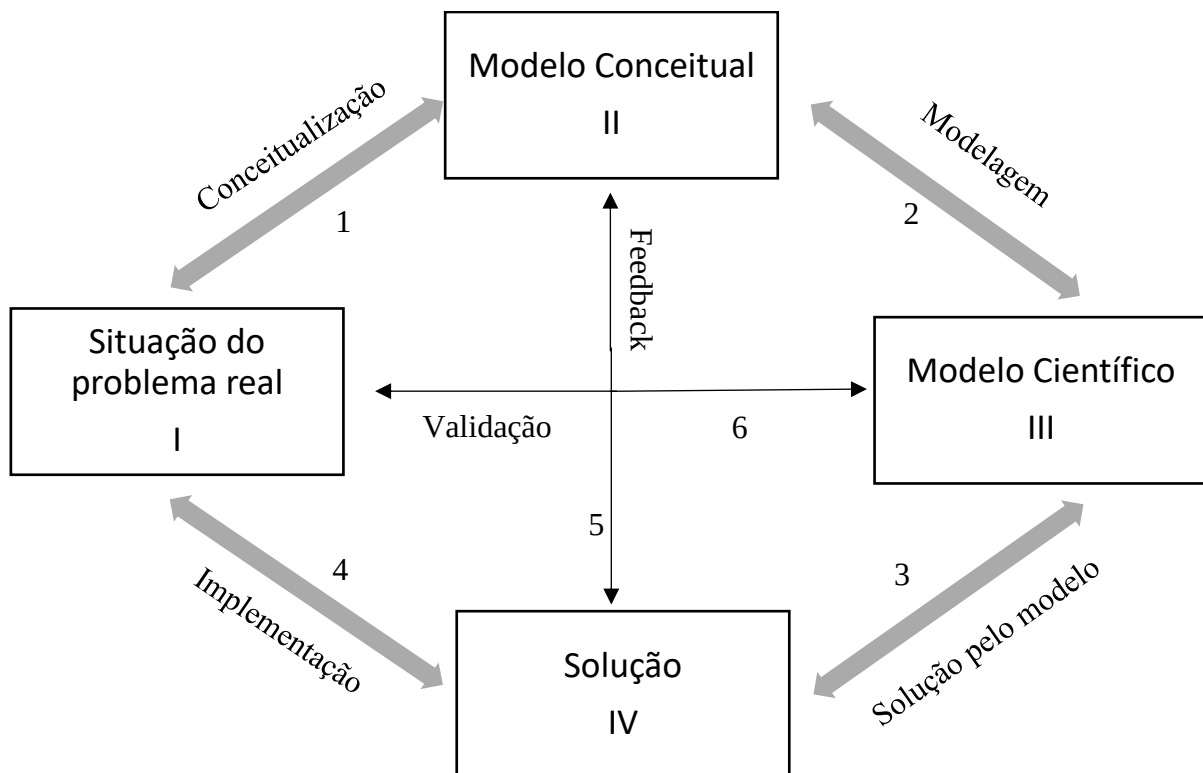


Figura 3-1 – Modelo de pesquisa para simulação

Fonte: Adaptado de Mitroff *et al.* (1994)

Em conformidade com a Figura 3–1 pode se observar que o modelo de pesquisa possui quatro fases essenciais para organização da modelagem e a trajetória de desenvolvimento que a cada ciclo pode recomeçar: conceitualização — fase em que se estrutura as variáveis de entrada que serão utilizadas no modelo, modelagem — constrói-se o modelo científico, a solução pelo modelo — onde é aplicada a matemática e por último a implementação — que resulta na interpretação dos resultados obtidos na fase de solução [72], [73].

3.3. MÉTODO DE ANÁLISE

A figura 3–2 mostra a aplicação do modelo de Mitroff no contexto do trabalho, ou seja, o modelo de negócio proposto e é através dessas etapas que se desenvolveu o trabalho, desta forma, facilita a tomada de decisão de qualquer investidor. Seguindo a linha de Mitroff o trabalho consistiu em duas etapas, primeiramente são coletados os dados e feito seu tratamento, na

conceitualização que corresponderá em levantamento dos dados necessários para aplicação do método e para tanto, foram utilizados os dados de consumo de energia elétrica de uma amostra das universidades federais brasileiras (9 UFs e de 26 *campi*) suas respectivas localidades e a irradiação solar média de cada local [74].

Com base nisso, a próxima etapa se trata da análise econômica, e na fase de modelagem foi dimensionado um sistema FV com objetivo de possivelmente zerar a parcela de energia da fatura de energia elétrica considerando valores de consumo base do ano de 2017 – 2019.

Na fase de solução pelo modelo, utilizou-se o método desenvolvido e nele foram feitas 20.000 simulações para otimizar o método empregado e para tanto o *software* utilizado foi *Oracle Crystal Ball®* onde os resultados obtidos são comparados. Por último tem-se a fase de implementação onde os resultados obtidos são empregados e comparados.

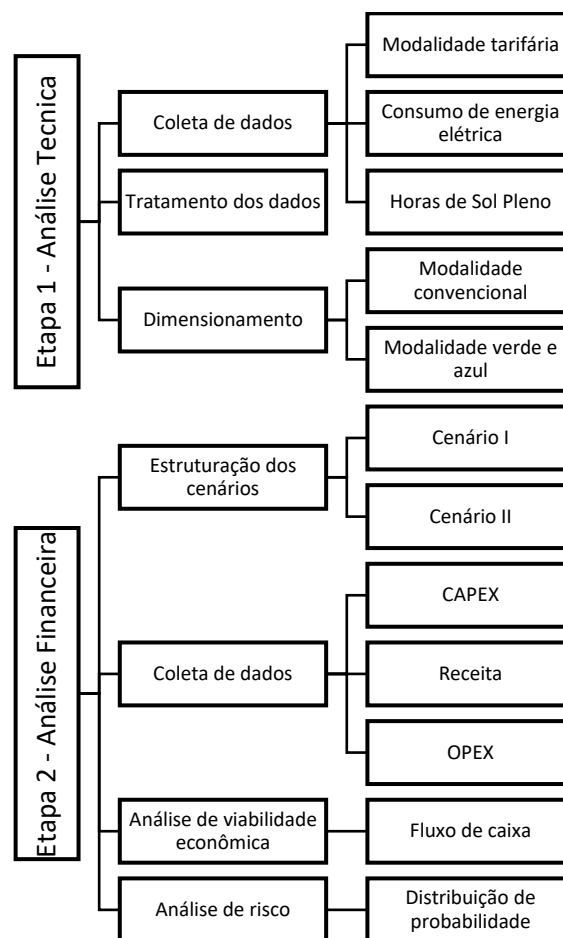


Figura 3-2 – Fluxograma das etapas do desenvolvimento da pesquisa.

3.4. ETAPA 1 - ANÁLISE TÉCNICA

3.4.1. COLETA DOS DADOS

A etapa de análise é iniciada a partir da coleta de dados necessários e suficientes para o dimensionamento dos sistemas FVs sendo eles:

O consumo de energia foi obtido a partir de uma coleta de dados (faturas referentes aos anos de 2017, 2018 e 2019) organizada pelo MEC juntamente com as UFs, no entanto nem todas as elas disponibilizaram suas faturas e algumas que disponibilizaram não divulgou de todos os seus campi.

A tarifa foi estabelecida por uma média feita das faturas obtidas das UFs. As Horas de sol pleno foram retirados da plataforma Global Solar Atlas. Esta é uma plataforma que oferece uma série de informações específicas do local de instalação, incluindo dados atualizados sobre o potencial solar anual médio, bem como os dados do sistema de informações geográficas.

3.4.1. TRATAMENTO DOS DADOS

O tratamento dos dados foi feito por meio do *software* R, esse *software* é uma linguagem de programação e ambiente de *software* livre para computação estatística além de auxiliar na pesquisa de mineração dos dados e estudos de banco de dados acadêmicos. O objetivo de utilizar esse *software* foi de obter o consumo diário e anual das UFs.

3.4.2. DIMENSIONAMENTO

Os dimensionamentos são alterados de acordo com a modalidade tarifária delimitada pela REN 482 (modificada pela REN 687) em que seu art. 7º, que especifica o regime de compensação por posto tarifário onde a distribuidora deve apurar o montante de energia ativa consumido e o montante de energia ativa injetado na rede pela unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída.

3.5. ETAPA 2 - ANÁLISE FINANCEIRA

3.5.1. ESTRUTURAÇÃO DOS CENÁRIOS

Os cenários propostos buscam fomentar a tomada de decisão, de modo que, fique mais fácil o esclarecimento dos cálculos e da análise, desta forma, o cenário I busca expor a avaliação da viabilidade de geração na própria carga das UFs e o cenário II a avaliação da viabilidade de autoconsumo remoto das UFs.

3.5.2. COLETA DE DADOS

Os dados coletados nessa etapa são referentes ao CAPEX, OPEX e a receita, para posteriormente fazer o fluxo de caixa dos cenários, essas variáveis foram calculadas com base dos resultados obtidos na fase do dimensionamento. O cálculo do CAPEX basicamente é provindo dos resultados do dimensionamento, pois, se trata de gastos com aquisição do equipamento do sistema FV. No cálculo do OPEX encontra-se os dados referentes os gastos com a instalação do sistema FV, a manutenção e a mão de obra. Por fim, para o cálculo da receita levou-se em conta a média do consumo anual de cada campi, a média da tarifa de acordo com a sua modalidade e a perda de eficiência.

3.5.3. ANÁLISE DE VIABILIDADE FINANCEIRA

Quanto a análise de viabilidade financeira dos cenários, foi obtido através dos cálculos feitos no fluxo de caixa de cada um dos cenários, onde ao final foi possível chegar-se os resultados do VPL, TIR, VA, ROI e do *payback* descontado. Essas premissas foram calculadas no fluxo de caixa, com objetivo de auxiliar na tomada de decisão. Os resultados do VPL, serviram para analisar e comparar a viabilidade do investimento em um dos dois cenários propostos, a Taxa Interna de Retorno assim como o VPL auxiliou na análise e comparação da viabilidade dos cenários, pois, ela foi comparada com a Taxa Mínima de Atratividade para indicar viabilidade do projeto ou não, caso desse uma Taxa Interna de Retorno menor ou maior que a Taxa Mínima de Atratividade. O Valor Anualizado foi obtido com o intuito de mostrar a economia anual dos campi, ou seja, a expectativa de ganho em um investimento. O Retorno sobre o

Investimento é um indicador muito utilizado para medir os resultados econômicos a partir dos investimentos realizados, ele foi obtido com o intuito de saber qual é a rentabilidade de cada cenário e por fim, tem-se o *payback* descontado que foi calculado para representar o tempo necessário para os retornos de um investimento cobrirem o capital investido.

3.5.4. ANÁLISE DE RISCO

Com o objetivo de diminuir o erro em projeções e estimar formas mais eficazes do fluxo de caixa, foi feito então na segunda etapa do trabalho a análise de risco. Essa análise é muito recomendada para incorporar a variabilidade das variáveis de interesse na análise de viabilidade econômica possibilitando valores aleatoriamente das variáveis, resultando em resultados estocásticos com uma grande variabilidade de fluxo de caixas possíveis. Para se chegar aos resultados, essa análise foi feita com o software Oracle Crystal Ball®, que permitiu quantificar os riscos e realização de uma análise econômica por meio de algoritmo que executa uma metodologia denominada simulação de Monte Carlo.

3.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo foi possível expor o método utilizado para essa dissertação, bem como seus passos para o estudo e simulação. De fato, é evidente que as características do trabalho adéquam perfeitamente no método de pesquisa apresentada pelos autores aqui mencionados que ajudaram para a classificação da pesquisa atribuindo a essa dissertação como uma pesquisa quantitativa.

4. ANÁLISE ECONÔMICO-FINANCEIRA DE SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA UNIVERSIDADES PÚBLICAS

4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Nessa seção é aplicada a etapa 1 (análise técnica) do método de pesquisa, que é a coleta dos dados, tratamento dos dados e o dimensionamento. A análise de viabilidade de implantação de um sistema FV foi feita por estimativa, análise do valor do negócio inicialmente investido e a elaboração do fluxo de caixa, considerando que, na análise do primeiro cenário não foi contabilizado o fluxo de caixa o ICMS, devido à REN 482/2012 [35] que estabelece que o mesmo não será cobrado em geração na própria carga.

O dimensionamento para sistemas de geração de energia fotovoltaica e para obtenção dos resultados do VPL, e da TIR se fez por meio do *software Microsoft Excel 2019*. Visto que, em qualquer projeto exista a ocorrência de riscos inerentes, realizou-se uma análise estocástica com base no *software Oracle Crystal Ball®* que nos permitiu quantificar os riscos e realização de uma análise econômica por algoritmo que executa uma simulação de Monte Carlo. A Figura 4-1 apresenta o fluxograma estruturado do processo de cálculos, dimensionamento e avaliação de viabilidade econômico-financeira do sistema FV para uma amostra de universidades públicas.

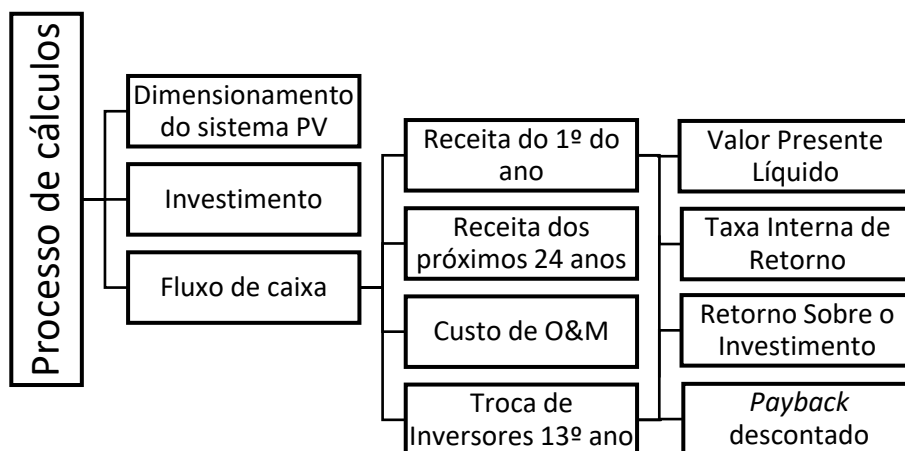


Figura 4-1 – Fluxograma estruturado do processo de cálculos, dimensionamento e avaliação de viabilidade econômico-financeira do sistema FV em algumas universidades públicas.

Para melhor esclarecimento, a Tabela 4-1 mostra as universidades e seus respectivos campi, tal como as que foram analisadas no cenário I e no cenário II ou analisadas apenas no cenário I (algumas universidades não divulgaram dados de todos seus campi) e a modalidade tarifária que cada uma delas pertencem. Em seguida, foram apresentadas as análises das 9 UFs e dos 26 campi, bem como a análise dos dois cenários propostos para avaliação comparativa.

Tabela 4-1 – Cenários Analisados por campi.

UNIVERSIDADES	CENÁRIO I	CENÁRIO II	MODALIDADE VERDE	MODALIDADE AZUL	MODALIDADE CONVÊNACIONAL
UFOB	X	X	X		
UFBA	X		X		X
UFMT	X	X	X		
UFPA	X		X		
UFRB	X	X	X		
UnB	X		X		
UFCSPA	X		X		
UFPB	X			X	
UFSM	X			X	
UFCSPA	X	X			X

4.2. DADOS DE ENTRADA DAS UNIVERSIDADES (MODALIDADE TARIFÁRIA VERDE E AZUL)

O uso de painéis fotovoltaico é proposto como uma ferramenta em que o poder público possa fazer a utilização do mesmo para atenuar os gastos com energia elétrica nas UFs e institutos federais. Para tanto, foi elaborado o dimensionamento do cenário I e II seguidos por uma análise econômica. Primeiramente foi realizada uma análise econômica de viabilidade para se instalar um sistema FV em cada um dos campi e o segundo cenário foi avaliar se o melhor retorno ocorrerá com uma única usina fotovoltaica para atender a todos os campi.

Nesse capítulo, equacionou-se o dimensionamento do sistema solar fotovoltaico bem como os investimentos, as receitas, a economia anual (mantendo apenas a parcela de demanda de potência junto à concessionária) que serão válidos para todas as UFs que fazem parte das modalidades tarifárias verde e azul. Para melhor compreensão, tais riscos foram considerados nos equacionamentos como ilustra a Tabela 4-2.

Tabela 4-2– Variáveis estocástica de entrada.

PREMISSAS	DISTRIBUIÇÃO
Tarifas	Triangular
Custo de O&M	Triangular
Troca de Inversores	Triangular
Valor Residual	Triangular
Perda de Eficiência	Triangular
Taxa Mínima de Atratividade	Uniforme
Preços dos sistemas FV	Triangular

Na Tabela 4-3 foram apresentados uma distribuição de probabilidade triangular para a simulação estocástica dos três possíveis cenários, denominado pessimista, provável e otimista e que também são válidos para todos.

Tabela 4-3 – Parâmetros e Pressupostos usados para análise.

VARIÁVEIS	PESSIMISTA	PROVÁVEL	OTIMISTA
Perda de Eficiência	0,7%	0,6%	0,5%
Crescimento anual da Tarifa	1%	2%	3%
Custo de O&M (em % do Investimento)	6%	3%	1%
Valor residual (em % do Investimento)	10%	15%	20%
Custo percentual para a troca de Inversores do sistema FV (em % do Investimento)	35%	30%	25%

Os dados meteorológicos utilizados para este trabalho, foram retirados da plataforma Global Solar Atlas, como mostra a Tabela 4-4, sendo apresentados os dados meteorológicos de cada uma das UFs e seus respectivos campi, além

do mais, esta é uma plataforma que oferece uma série de informações específicas do local de instalação, incluindo dados atualizados sobre o potencial solar anual médio, bem como os dados do sistema de informações geográficas [74].

4.3. EQUACIONAMENTO DO DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO E DAS VARIÁVEIS DO FLUXO DE CAIXA (MODALIDADE TARIFÁRIA VERDE E AZUL)

Em primeiro momento, foi calculado o dimensionamento do sistema FV para as universidades no HFP e HP, sendo estes estimados pelas equações:

$$Sd_{HFP} = \frac{C_{mdfp}}{IHG} \quad (4.1)$$

$$Sd_{HP} = \frac{C_{mdfp}}{IHG} \quad (4.2)$$

sendo:

Sd_{HFP} é o sistema dimensionado de potência a ser instalada em fotovoltaico em [kWp_{médio}] no HFP;

Sd_{HP} é o sistema dimensionado de potência a ser instalada em fotovoltaico em [kWp_{médio}] no HP;

C_{mdfp} é a média de consumo diário de energia no período fora de ponta [kWh/dia];

C_{mdp} é a média de consumo diário de energia no período de ponta [kWh/dia];

IHG é a irradiação horizontal global (kWh/m² por dia) / (1 kWp/m²). A irradiância horizontal global é calculada e posteriormente pós-processada por outros modelos para obter irradiância direta e difusa e irradiância global em superfícies inclinadas. Esses valores são corrigidos para efeitos de sombreamento do terreno circundante, degradação do desempenho, perdas de conversão dentre outras, portanto, as perdas listadas na Tabela 4-5 não estão nas equações pois os dados coletados de IHG já conta com essas perdas.

Tabela 4-4 – Dados meteorológicos de cada UF e respectivos campi [74].

UNIVERSIDADES	CAMPUS	MUNICÍPIOS	LATITUDE/ LONGITUDE	GLOBAL IRRAD. (kWh / m² / dia)	DIFUSO (kWh / m² / dia)	TEMPERATURA (C)
UFOB	Centro Multidisciplinar da Barra	Barra	-12°59'58", -38°31'06"	6,296	1,741	27,3
	Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa	Bom Jesus da Lapa	-13°15'33", -43°24'53"	6,02	1,849	27,1
	Campus Reitor Edgard Santos	Barreiras	-12°08'38", -44°59'48"	6,018	1,883	26,1
	Centro Multidisciplinar Luís Eduardo Magalhães	Luiz Eduardo Magalhães	-12°13'55", -46°06'53"	5,767	2,021	23,6
	Reitoria	Barreiras	-12°08'38", -44°59'48"	6,018	1,883	26,1
	Centro Multidisciplinar de Santa Maria da Vitória	Santa Maria da Vitória	-13°23'25", -44°12'05"	6,008	1,838	26,4
UFBA	Ondina	Salvador	-13°00'37", -38°30'33"	5,530	2,174	25,4
UFMT	Araguaia	Barra do Garça	-15°52'41", -52°17'59"	5,498	2,042	26,3
	Araguaia	Pontal do Araguaia	-15°58'03", -52°45'15"	5,542	2,027	25,4
	Cuiabá	Cuiabá	-15°35'46", -56°05'48"	5,363	2,143	26,5
	Rondonópolis	Rondonópolis	-16°28'13", -54°38'02"	5,446	2,045	26,3
	Sinop	Sinop	-11°51'39", -55°29'01"	5,490	2,254	25,3
UFPA	Cidade Universitária Prof. José da Silveira Netto	Belém	-01°27'02", -48°28'06"	5,533	2,341	27,2

UFRB	Amargosa	Amargosa	-13°01'43", -39°36'07"	5,179	2,353	23,1
	Cachoeira	Cachoeira	-12°36'04", -38°57'58"	5,244	2,314	25,5
	Cruz das Almas	Cruz das Almas	-12°40'10", -39°06'01"	5,325	2,308	24,0
	Santo Antônio de Jesus	Santo Antônio de Jesus	-12°58'43", -39°15'00"	5,225	2,339	23,8
UnB	Darcy Ribeiro	Brasília	-15°45'48", -47°52'10"	5,502	2,041	22,2
UFCSPA	Sarmento leite	Porto Alegre	-30°01'48", -51°13'10"	4,611	1,819	19,8
UFPB	Campus I	João Pessoa	-01°27'02", -48°28'06"	5,533	2,341	27,1
UFSM	Santa Maria	Santa Maria	-29°43'01", -53°43'00"	4,720	1,753	19,5
UFCSPA	Arabutã	Porto Alegre	-30°01'57", -51°13'49"	4,622	1,813	19,8
	Canoas	Canoas	-29°55'18", -51°10'48"	4,591	1,818	19,8
	Correia Lima	Porto Alegre	-30°01'57", -51°13'49"	4,622	1,813	19,8
	Conceição	Porto Alegre	-30°01'57", -51°13'49"	4,622	1,813	19,8
	Sete de Setembro	Porto Alegre	-30°01'57", -51°13'49"	4,622	1,813	19,8

Tabela 4-5 – Perdas no sistema fotovoltaico.

TIPO	FAIXA	VALOR
Perdas por Temperatura	7 a 18%	11,5
Incompatibilidade Elétrica	1 a 2%	1,5
Acumulo de sujeira	1 a 8%	2
Cabeamento CC	0,5 a 1%	1
Cabeamento CA	0,5 a 1%	1
Inversor	2,5 a 5%	4
Total		21

O cálculo estimado do investimento para o sistema FV pode ser obtido pela equação (4.3) com base em (4.1) e (4.2). Sabe-se que, a energia é gerada no HFP e que a mesma é injetada no mesmo período sob determinada tarifa, ocasionando em um saldo para o produtor, e seu maior consumo ocorre no horário onde a tarifa é maior, desta forma, segundo a RN 482/2012 é necessário fazer a aplicação do ajuste para casos em que haja sobra de saldo. Sendo assim, esse fator de ajuste é considerado no cálculo:

$$I = [Sd_{HFP} + (Sd_{HP} \cdot At)] P_a \quad (4.3)$$

sendo:

I é o Investimento necessário em [R\$];

At é o fator de ajuste, resultado da divisão do valor da tarifa de energia HP pela tarifa de energia HFP;

P_a é a média de preços de mercado de sistemas FVs em [R\$/kWp].

No cálculo da receita, foi feita uma média da respectiva tarifa (verde, azul) cobrada durante o período de 2017 – 2019 por meio das faturas disponibilizadas pelas UFs. Para as bandeiras adicionais (vermelha, amarela) foram assumidas as tarifas vigentes segundo a ANEEL [75], como mostra a Figura 4–2.

Partindo desse resultado criou-se três possíveis cenários, denominado pessimista, provável e otimista adicionando a bandeira vermelha ou amarela nas modalidades tarifárias verde e azul.

Adicionais Sistema de Bandeiras Tarifárias	
Adicional Bandeira Amarela	0,01343 R\$/kWh
Adicional Bandeira Vermelha – Patamar 1	0,04169 R\$/kWh
Adicional Bandeira Vermelha – Patamar 2	0,06243 R\$/kWh

Figura 4-2 – Tarifas adicionais para as bandeiras amarela e vermelha [75].

Visto que o sistema FV durante sua vida útil (duração média de 25 anos) é passível de perda de eficiência, essa variável deve ser considerada na avaliação financeira da receita. Sabe-se que, no primeiro ano a perda de eficiência do sistema é da ordem de 2%. Sendo assim, o cálculo para o primeiro ano da receita é dado por:

$$R_1 = [(C_{HFP} \cdot TC_{HFP}) + (C_{HP} \cdot TC_{HP}) \cdot (1 - P_{ef})] \quad (4.4)$$

sendo:

R_1 é a receita bruta no ano 1 em [R\$];

C_{HFP} é a média de consumo de energia anual no HFP [kWh/ano];

C_{HP} é a média de consumo de energia anual no HP [kWh/ano];

P_{ef} é o percentual da perda de eficiência do primeiro ano de 2%;

TC_{HFP} é o percentual da tarifa de energia do cenário provável no HFP;

TC_{HP} é o percentual da tarifa de energia do cenário provável no HP.

A equação (4.4) é aplicada em (4.5), para se saber qual é a receita bruta correspondente aos próximos 24 anos, tem-se:

$$R_{24} = R_1 \cdot (1 - PE_{CP}) \cdot (1 + TE_{CP}) \quad (4.5)$$

sendo:

R_{24} é a receita bruta dos próximos 24 anos em [R\$];

PE_{CP} é percentual da perda de eficiência, para o cenário provável tem-se 0,6%, no cenário otimista de 0,5% e 0,7% para o cenário pessimista;

TE_{CP} é o percentual da tarifa de energia, sendo o cenário provável igual a 2,0%, no cenário otimista de 3,0% e 1,0% para o cenário pessimista.

A TMA adotada nesse estudo seguiu como base a taxa do Sistema Especial de Liquidação e Custódia — Selic, por se tratar de análise de

investimentos públicos a Selic já é o custo de capital uma vez que o poder público é o único investidor e a Selic aqui utilizada já está deflacionada, portanto foi estabelecido para a distribuição uniforme de valor mínimo real de 4,5% a.a. e valor máximo real de 6,5% a.a.

O custo de O&M é um dos fatores a serem considerados para avaliar a viabilidade do projeto, uma vez que, ele é um desembolso (custo) que garante a execução das atividades e das operações. Desta forma, a equação para estimar o custo de O&M tem como base (4.6):

$$Mt = I \cdot CP_{O\&M} \quad (4.6)$$

Onde:

Mt é o custo de operação e manutenção do sistema FV em [R\$];

$CP_{O\&M}$ é o percentual do custo de O&M necessário para manutenção anual das placas fotovoltaicas, sendo o cenário provável igual a 3,0%, no cenário otimista de 1,0% e 6,0% para o cenário pessimista. Estes parâmetros foram levantados com base de estudos de mercado organizados por uma empresa do segmento fotovoltaico Greener [76]

No décimo terceiro ano é necessário fazer a troca dos inversores, então, novos investimentos devem ser considerados. Aplicando (4.3) como base para o cálculo de quanto será necessário para fazer a troca do equipamento. Tem-se (4.7).

$$TI = I \cdot CP_{ti} \quad (4.7)$$

onde:

TI é o valor de investimento para a troca de inversores do sistema FV em [R\$];

CP_{ti} é o valor em percentual do investimento inicial necessário para a troca dos inversores, sendo este valor no cenário provável igual a 30%, no cenário otimista de 25% e 35% para o cenário pessimista.

Depois de realizados os cálculos de dimensionamento, de perda de eficiência, da receita, do custo de O&M e o investimento, o fluxo de caixa estará estruturado de forma contábil, para que se possa realizar a modelagem como

mostra a Tabela 4-6. A esquerda tem-se o fluxo de caixa do cenário I e para o fluxo de caixa do cenário II está à direita e nele é adicionado o ICMS, antes de ser calculado o lucro líquido.

Tabela 4-6 – Fluxo de caixa do cenário I do cenário II.

Receita Bruta de Vendas	Receita Bruta de Vendas
- Custo de O&M	- Custo de O&M
	- Tributos (ICMS)
(=) Lucro Líquido	(=) Lucro Líquido
- Investimentos (CAPEX)	- Investimentos (CAPEX)
+ Valor Residual	+ Valor Residual
(=) Fluxo de Caixa	(=) Fluxo de Caixa

4.4. UNIVERSIDADES PERTENCENTES A MODALIDADE TARIFARIA VERDE E AZUL

4.4.1. CENÁRIO I – IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO EM CADA CAMPUS

Nessa seção será aplicada então a etapa 2 (análise financeira), onde será mostrado a estruturação dos cenários, os resultados do CAPEX, OPEX e receita e posteriormente a análise de viabilidade dos cenários. A análise dos dados foi feita de acordo com a modalidade tarifária, em que se apresentou os dados de consumo das UFs pertencentes à modalidade tarifária verde ou azul. A primeira situação simulada foi o dimensionamento para cada campus universitário com o objetivo de zerar o consumo de modo que venha ser pago apenas a demanda contratada, sendo estes estimados pelas equações (4.1) e (4.2). A Tabela 4-7 mostra os respectivos consumos de energia média anual em HFP e HP de cada campus universitário no período de 2017-2019.

Em seguida, foi feito o cálculo do investimento necessário para a instalação do sistema FV em cada campus universitário, com base na equação (4.3). Desta forma, obtiveram-se os investimentos estimados de instalação como visto na Tabela 4-8 levando em consideração o consumo do HFP e do HP. Sendo assim, de acordo com o dimensionamento feito, o investimento para cada campus da UFOB variou entre R\$193.638,00 a R\$2.497.026,00, da UFBA seria

de R\$451.774,00, os investimentos da UFMT variaram de R\$742.458,00 a R\$33.312.288,00 e para a UFPA seria necessário R\$81.116.177,00, a UFRB possuem valores que variam de R\$ 730.359,00 a R\$7.181.164,00 o investimento para a UnB seria de R\$ 156.232.092,00, a UFCSPA necessitaria de R\$5.336.904,00, para a UFPB necessitaria de R\$5.591.563,00 e por fim, o investimento da UFSM seria de R\$42.000.673,00.

Tabela 4-7 – Média anual de consumo de energia elétrica de cada campus universitário considerado no período de 2017-2019.

UNIVERSIDADES	CAMPUS	CONSUMOS DE ENERGIA (kWh)	
		HFP MÉDIA	HP MÉDIA
UFOB	Centro Multidisciplinar da Barra	183.125	20.348
	Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa	141.643	17.224
	Campus Reitor Edgard Santos	1297.820	170.512
	Centro Multidisciplinar Luís Eduardo Magalhães	432.668	10.709
	Reitoria	334.104	32.902
	Centro Multidisciplinar de Santa Maria da Vitória	93.132	11.663
UFBA	Ondina	218.383	21.704
UFMT	Barra do Garça	1357.176	1054.400
	Araguaia	1318.931	1178.430
	Cuiabá	1172.801	1078.724
	Rondonópolis	1226.339	1297.767
	Sinop	1760.309	1323.540
UFPA	Cidade Universitária Prof. José da Silveira Netto	29945.265	5385.686
UFRB	Amargosa	280.450	103.877
	Cachoeira	252.987	35.218
	Cruz das Almas	2830.343	295.638
	Santo Antônio de Jesus	357.817	42.003
UnB	Darcy Ribeiro	38244.839	23861.468
UFCSPA	Sarmento Leite	1904.634	218.629
UFPB	Campus I	12216.071	1439.859
UFSM	Santa Maria	14313.649	1407.430

Tabela 4-8 – Investimento de instalação de sistema FV em cada campus universitário considerado.

UNIVERSIDADES	CAMPUS	INVESTIMENTOS	kWp
UFOB	Centro Multidisciplinar da Barra	R\$ 336.824,00	96,24
	Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa	R\$ 284.501,00	79,03
	Campus Reitor Edgard Santos	R\$ 2.497.026,00	734,42
	Centro Multidisciplinar Luís Eduardo Magalhães	R\$ 252.359,00	74,22
	Reitoria	R\$ 631.181,00	180,34
	Centro Multidisciplinar de Santa Maria da Vitória	R\$ 193.638,00	52,33
UFBA	Ondina	R\$ 451.774,00	129,08
UFMT	Barra do Garça	R\$ 6.483.847,00	1907,01
	Araguaia	R\$ 6.872.323,00	1963,52
	Cuiabá	R\$ 6.862.434,00	1854,71
	Rondonópolis	R\$ 7.019.897,00	2064,68
	Sinop	R\$ 8.258.719,00	2429,04
UFPA	Cidade Universitária Prof. José da Silveira Netto	R\$ 81.116.177,00	21923,29
UFRB	Amargosa	R\$ 1.031.927,00	303,51
	Cachoeira	R\$ 730.359,00	208,67
	Cruz das Almas	R\$ 7.181.164,00	2176,11
	Santo Antônio de Jesus	R\$ 967.305,00	284,50
UnB	Darcy Ribeiro	R\$ 156.232.092,00	47343,06
UFCSPA	Sarmento Leite	R\$ 5.336.904,00	1569,68
UFPB	Campus I	R\$ 34.810.503,00	9408,24
UFSM	Santa Maria	R\$ 42.000.673,00	11351,53

Os parâmetros e pressupostos de preços tiveram por base, preços médios divulgados em estudos de mercado feitos pela empresa Greener [76], como mostra a Tabela 4–9. Também, por meio desses preços que foi possível efetuar o cálculo dos investimentos, seguido das receitas do primeiro ano que foi calculada com base na equação (4.4).

Tabela 4-9 – Parâmetros e pressupostos usados para análise de preços de FV.

UNIVERSIDADES	CAMPI	PESSIMISTA (R\$/kWp)	PROVÁVEL (R\$/kWp)	OTIMISTA (R\$/kWp)
UFOB	Centro Multidisciplinar da Barra	3.600	3.500	3.400
	Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa	3.700	3.600	3.500
	Campus Reitor Edgard Santos	3.500	3.400	3.300
	Centro Multidisciplinar Luís Eduardo Magalhães	3.500	3.400	3.300
	Reitoria	3.600	3.500	3.400
	Centro Multidisciplinar de Santa Maria da Vitória	3.800	3.700	3.600
UFBA	Ondina	3.800	3.500	3.300
UFMT	Araguaia	3.600	3.400	3.300
	Araguaia	3.800	3.700	3.500
	Cuiabá	3.500	3.400	3.300
	Rondonópolis	3.500	3.400	3.300
	Sinop	3.600	3.500	3.400
	Cidade Universitária Prof. José da Silveira Netto	3.800	3.700	3.400
UFPA				
UFRB	Amargosa	3.600	3.400	3.300
	Cachoeira	3.800	3.500	3.400
	Cruz das Almas	3.500	3.300	3.200
	Santo Antônio de Jesus	3.700	3.400	3.300
	Darcy Ribeiro	3.700	3.300	3.200
UnB				
UFCSPA	Sarmento Leite	3.600	3.400	3.200
UFPB	Campus I	3.800	3.700	3.400
UFSM	Santa Maria	3.800	3.700	3.300

Para o cálculo do fluxo de caixa nesse cenário I, foi calculada a receita para os próximos 24 anos por meio da equação (4.5) com base na equação (4.4). Para melhor compreensão, a Tabela 4-10 mostra o resumo estatístico da Simulação de Monte Carlo do VPL de cada um dos campi, nos quais apresentaram resultados positivos, sendo considerada uma proposta de investimento atrativa. Pode-se também analisar o risco do projeto através dos resultados do desvio padrão e da probabilidade de $VPL < 0$. A média da TIR teve resultados maiores que o valor máximo adotado na distribuição uniforme da TMA, que foi de 6,5%.

Tabela 4-10 – Resultados do VPL e TIR na simulação de Monte Carlo.

UNIVERSIDADES	CAMPI	VPL (R\$)			TIR (%)	
		Média	Desvio Padrão	VPL < 0 %	Média	Desvio Padrão
UFOB	Centro Multidisciplinar da Barra	1.432.666,00	201.468,00	0	35,76	3,02
	Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa	1.132.684,00	160.856,00	0	33,96	2,90
	Campus Reitor Edgar Santos	11.071.324,00	1.533.228,00	0	36,95	3,07
	Centro Multidisciplinar Luís Eduardo Guimarães	2.701.722,00	352.749,00	0	77,86	7,20
	Reitoria	2.415.147,00	350.191,00	0	32,94	2,85
	Centro Multidisciplinar de Santa Maria da Vitória	748.153,00	107.300,00	0	33,19	2,85
UFBA	Ondina	1.501.252,00	232.273,00	0	29,67	2,81
UFMT	Barra da Garça	50.394.198,00	105.919.018,00	0	31,12	3,03
	Araguaia	25.513.116,00	7.689.120,00	0	32,17	7,05
	Cuiabá	17.900.522,00	2.894.993,00	0	28,22	3,00
	Rondonópolis	27.674.595,00	4.269.488,00	0	33,75	3,29
	Sinop	29.393.143,00	4.580.498,00	0	31,20	2,98
UFPA	Cidade Universitária Prof. José da Silveira Netto	223.049.472,00	183.019.829,00	10,98	27,14	14,36
UFRB	Amargosa	4.171.920,00	626.538,00	0	34,12	3,20
	Cachoeira	1.583.699,00	290.126,00	0	21,55	2,23
	Cruz das Almas	15.207.319,00	2.833.391,00	0	21,33	2,23
	Santo Antônio de Jesus	2.008.699,00	372.181,00	0	20,92	2,18
UnB	Darcy Ribeiro	639.804.809,00	639.804.809,00	0	33,95	3,13
UFCSPA	Sarmento Leite	15.483.795,00	2.559.739,00	0	26,80	2,66
UFPB	Campus I	32.055.783,00	10.523.279,00	0	13,07	2,10
UFSM	Santa Maria	71.583.186,00	16.231.138,00	0	18,95	2,48

4.4.2. CENÁRIO II – IMPLANTAÇÃO DE UMA USINA FOTOVOLTAICA

Para o cenário II foram analisados apenas três UFs, sendo elas UFOB, UFMT e a UFRB, pois, às três são às únicas nesse estudo que possuem dados dos seus campi. O cálculo do dimensionamento foi realizado com base nos dados meteorológicos como mostrado a Tabela 4-4 na seção 4.2. e os cálculos foram com base nas equações (4.1) e (4.2) assim como no cenário I. A Tabela 4-11 apresenta os respectivos consumos de energia média anual no HFP e HP destas UFs.

Tabela 4-11 – Média de consumo de energia elétrica total no HFP e HP das UFs consideradas no período de 2017-2019.

UNIVERSIDADES	CONSUMOS DE ENERGIA (kWh)	
	HFP MÉDIA	HP MÉDIA
UFOB	2482.491	263.358
UFMT	6835.555	5932.861
UFRB	3721.596	476.736

Um ponto importante, é que nesse cenário II foi considerado o ICMS no fluxo de caixa, diferente do cenário I, em que esse não foi contabilizado. O ICMS foi contabilizado devido a esse imposto cobrado quando GD é do tipo autoconsumo remoto. A UFOB, UFMT e a UFRB pertencem ao grupo A4 (tensão entre 2,3 kV e 25 kV), seus contratos de fornecimento de energia elétrica são firmados com as distribuidoras de energia Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia — COELBA e Energisa de Mato Grosso — EMT, o ICMS cobrado na fatura de energia elétrica foi de 27% para UFOB e a UFRB correspondentes a COELBA, e para UFMT o ICMS cobrado são 22,74%, correspondente a EMT [77].

Assim como no cenário I, foram utilizados os mesmos algoritmos de cálculos para se chegar no resultado final. No entanto, uma variável importante é o HSP que foi modificado devido ao local de instalação da usina fotovoltaica ser única, já que anteriormente as instalações foram feitas em seus respectivos campi. Neste cenário II o campus escolhido para instalação da usina fotovoltaica foi o campus Reitor Edgard Santos pertencente à UFOB, onde seu HSP é de

6,018 (KWh/m² por dia). Já o campus escolhido para UFMT foi o de Cuiabá e seu HSP é de 4,378 (KWh/m² por dia) e para UFRB foi o campus Cruz das Almas e o HSP dele é de (KWh/m² por dia). A escolha desses campi se fez por base do maior consumo de energia e de acordo com os dados obtidos os campi mencionados acima são as que possuem maior consumo de energia elétrica dentre as UFs analisadas.

Para esse estudo os preços de mercado utilizados como pressupostos foram apresentados na Tabela 4-12. A Tabela 4-13 mostra os investimentos estimados da instalação de uma única usina fotovoltaica para atender as necessidades das universidades.

Tabela 4-12 – Preços de mercado utilizados como pressupostos.

UNIVERSIDADES	PESSIMISTA (R\$/kWp)	PROVÁVEL (R\$/kWp)	OTIMISTA (R\$/kWp)
UFOB	3.800	3.600	3.400
UFMT	3.800	3.700	3.400
UFRB	3.400	3.300	3.200

Tabela 4-13 – Investimento de instalação de uma usina FV nas UFs consideradas.

UNIVERSIDADES	INVESTIMENTO	kWp
UFOB	R\$ 4.384.322,00	1217,87
UFMT	R\$ 46.561.781,00	10445,16
UFRB	R\$ 9.029.732,00	2736,28

No cálculo do fluxo de caixa desse cenário foi possível observar que as UFs apresentaram resultados positivos no VPL e a TIR que se mostrou também que seu percentual foi maior que o máximo adotado na distribuição uniforme da TMA que é de 6,5%, assim como do primeiro cenário. Para instalar sistema FV em casa campi o mais indicado seria instalar em cada um dos campi, uma vez que os resultados da Tabela 4-14 mostram que quase 60% das vezes que fizer essa simulação o resultado do VPL será entre 10 milhões e 14 milhões no caso da UFOB e nos resultados de então pode-se dizer que o projeto é viável para as três UFs.

Tabela 4-14 – Resultados do VPL e TIR do cenário II na simulação de Monte Carlo.

UNIVERSIDADES	VPL (R\$)			TIR (%)	
	Média	Desvio Padrão	VPL < 0 %	Média	Desvio Padrão
UFOB	12.158.341,00	1.984.628,00	0	38,35	2,17
UFMT	91.130.003,00	16.357.538,00	0	22,05	2,40
UFRB	22.971.639,00	3.594.225,00	0	22,67	1,85

4.4.3. ANÁLISE COMPARATIVA DOS CENÁRIOS

Para a análise comparativa foi utilizada a simulação de Monte Carlo, que permitiu avaliar os riscos e a incertezas dos projetos. A Tabela 4-15 apresenta um resumo estatístico feito a partir da soma de cada um dos fluxos de caixa do primeiro cenário e suas respectivas distribuições de probabilidade do VPL e da TIR, bem como do cenário II.

Tabela 4-15 – Resultado estatístico do VPL e TIR dos cenários analisados.

UNIVERSIDADES	CENÁRIOS	VPL (R\$)			TIR (%)	
		Média	Desvio Padrão	VPL < 0 %	Média	Desvio Padrão
UFOB	Cenário I	19.501.695,00	2.229.251,00	0	38,35	2,17
	Cenário II	12.158.341,00	1.984.628,00	0	25,94	2,49
UFMT	Cenário I	116.269.846,00	237.410.027,00	0	15,98	1,81
	Cenário II	58.212.181,00	12.675.461,00	0	12,60	1,71
UFRB	Cenário I	22.971.639,00	3.594.225,00	0	22,67	1,85
	Cenário II	14.079.038,00	3.010.924,00	0	17,59	1,98

Em conformidade com a Tabela 4-15, os resultados mostram que os resultados do VPL são positivos, sendo assim é um projeto atrativo para os dois cenários e o mesmo acontece com a TIR com média acima da TMA estabelecida. Essa análise foi feita com 20 mil simulações, onde, quase que 60% das vezes que for feita essa simulação o VPL terá seu valor entre R\$ 17.272.444,00 e R\$ 21.730.946,00 para a UFOB no cenário I por exemplo e o mesmo é aplicado para as demais universidades.

Para melhor análise do cenário I e do cenário II, o histograma de distribuição do VPL foi apresentado com 20.000 simulações, a fim de uma melhor

compreensão da análise dos resultados. Como visto nas Figuras 4-3 e 4-4, pode-se afirmar que os projetos de instalação do sistema de geração fotovoltaica na UFOB são viáveis, isso fica evidente com os resultados obtidos na simulação, esse resultado chegou a 100%.

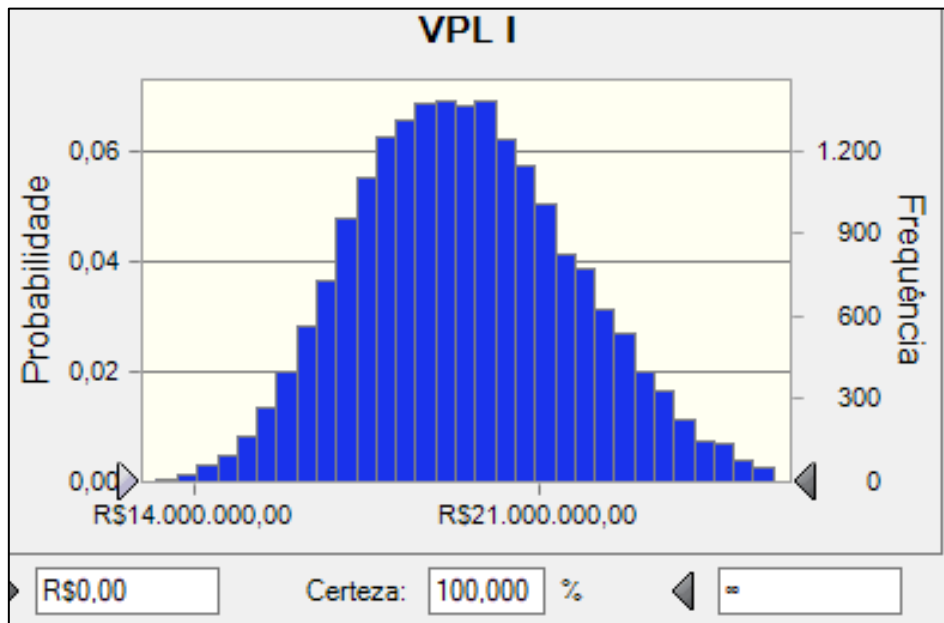


Figura 4-3 – Distribuição de probabilidade do VPL para cenário I UFOB.

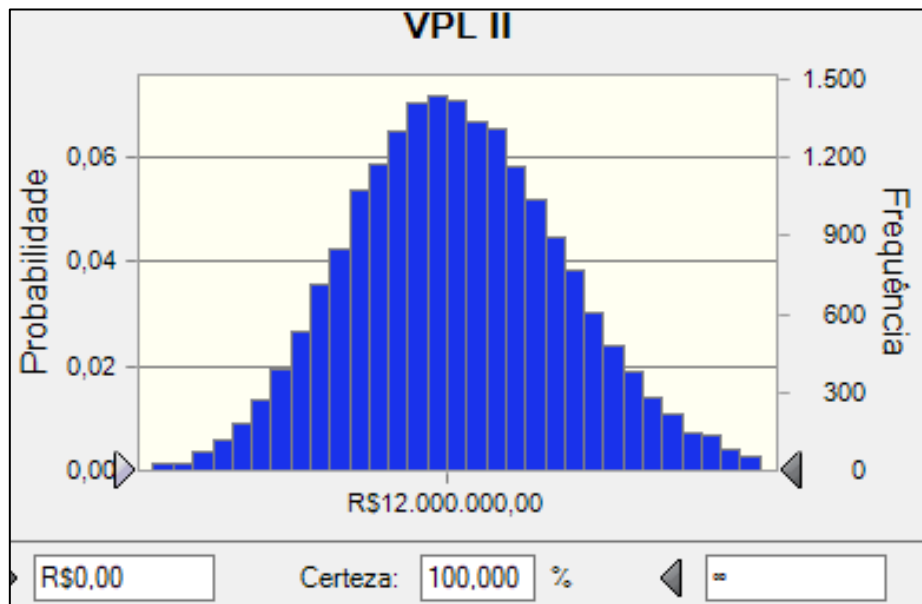


Figura 4-4 – Distribuição de probabilidade do VPL para cenário II UFOB.

Pode-se observar que os histogramas do VPL nos dois cenários mostram que os dois projetos são viáveis, no entanto, o primeiro cenário se torna mais

viável, visto que o mesmo possui um valor médio do VPL maior. A partir disso, outro ponto abordado foi qual dos fatores do fluxo de caixa afetam mais nos resultados obtidos do VPL de cada um dos dois cenários. Observa-se nas Figuras 4-5 e 4-6 que para o cenário I, as variáveis do fluxo de caixa que mais afetaram os resultados do VPL foram, TMA com -61,2%, a tarifa com 29,1% e o custo de O&M com -9,4%. As variáveis do fluxo de caixa do cenário II, nesse caso as que causam maior impacto, foram a tarifa 61,5% e custo de O&M - 38,2%.

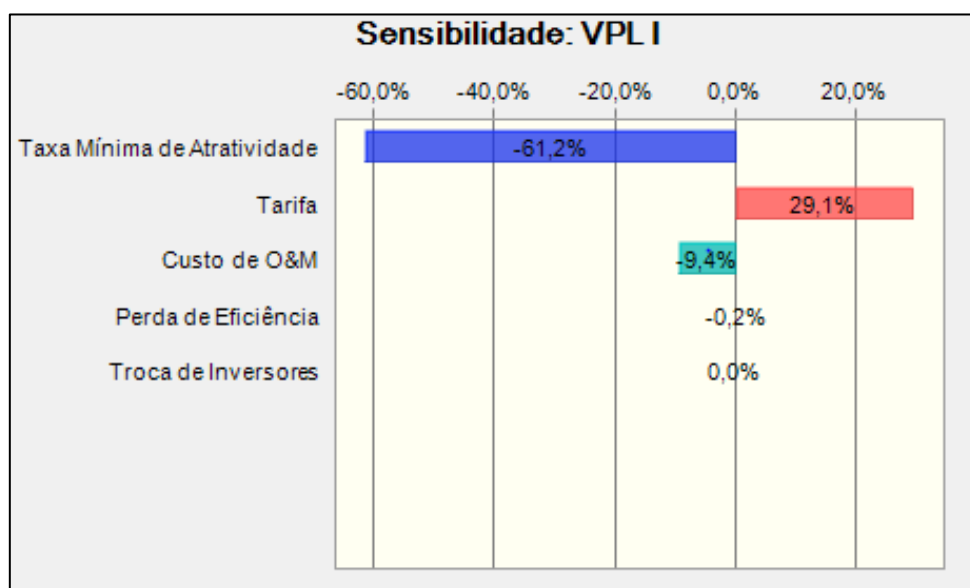


Figura 4-5 – Análise de sensibilidade do primeiro cenário UFOB.

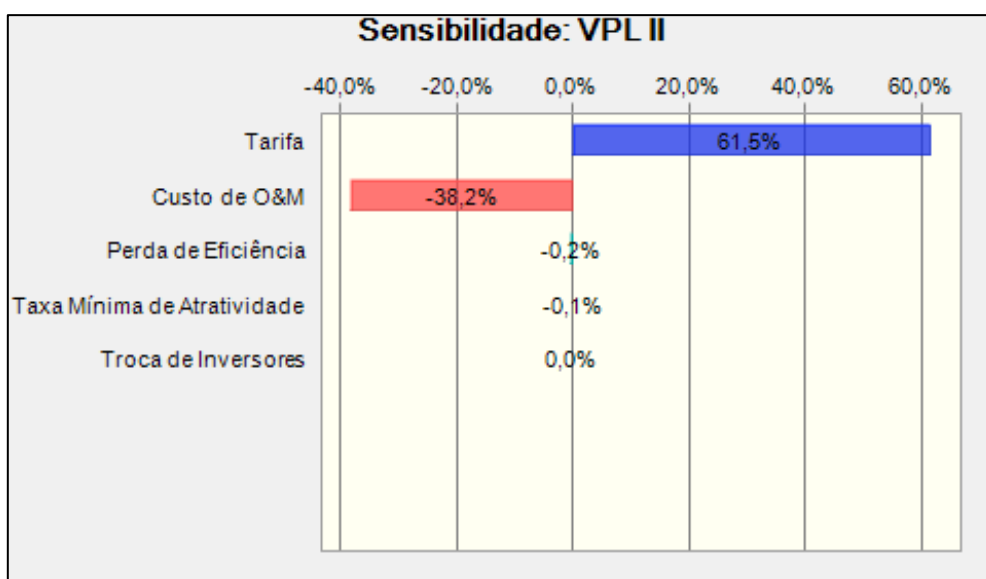


Figura 4-6 – Análise de sensibilidade do segundo cenário UFOB.

As Figuras 4-7 e 4-8 ilustram os resultados de probabilidade de viabilidade e o VPL médio do primeiro e do segundo cenário, respectivamente. Esse tipo de análise se faz necessária uma vez que, os riscos também são introduzidos no problema. E para a UFMT, os resultados obtidos com a simulação mostram que ambos os cenários apresentam 100% de viabilidade do projeto.

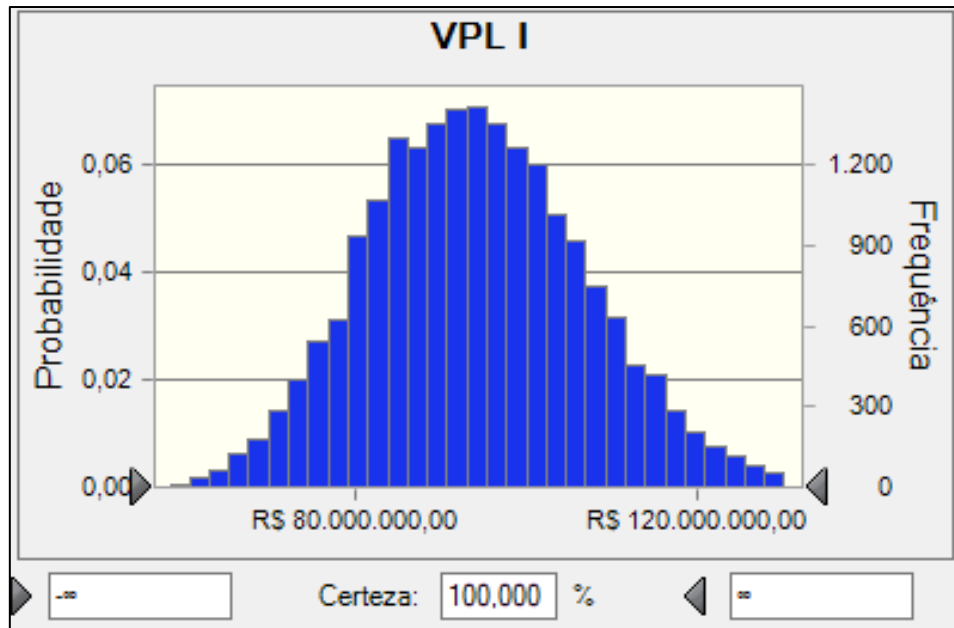


Figura 4-7 – Distribuição de probabilidade do VPL para cenário I UFMT.

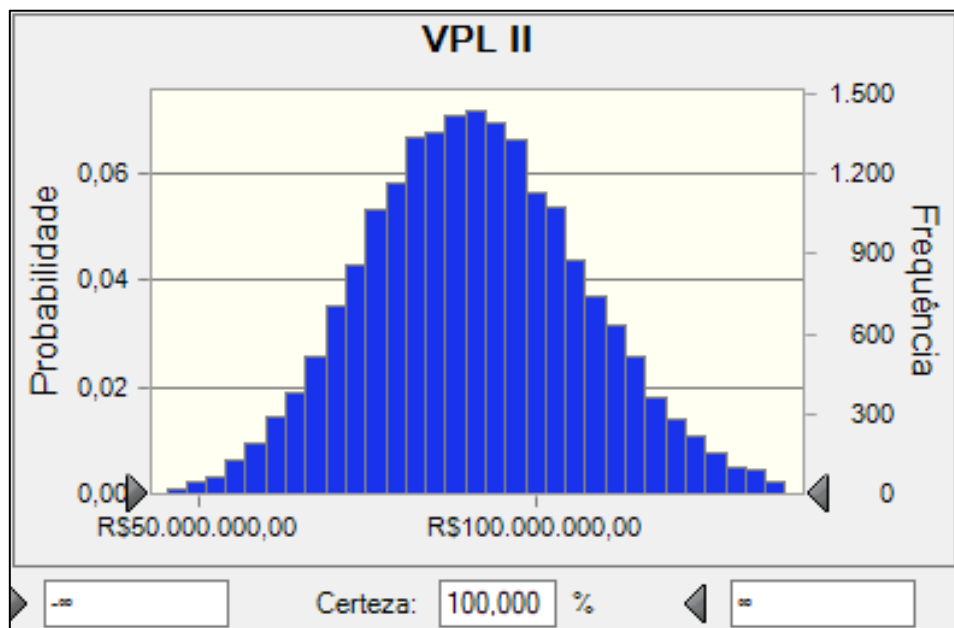


Figura 4-8 – Distribuição de probabilidade do VPL para cenário II UFMT.

De modo a enfatizar os resultados dos histogramas mostrados nas Figuras 4-7 e 4-8, foi feita uma análise de sensibilidade. No cenário I a variável do fluxo de caixa que teve um resultado negativo bem expressivo no VPL foi a TMA com -61,8%, seguido de uma participação mínima da tarifa 21,9% e -16,1% de custo de O&M, como ilustra a Figura 4-9.

Já para o cenário II as variáveis que influenciaram no resultado do VPL nesse caso, foram a tarifa com 53,3% e o custo de O&M com -46,5% de acordo com a Figura 4-10. Neste caso pode-se dizer que o custo de O&M também afeta de forma negativa o VPL, porém, a tarifa mesmo que não tão expressiva apresentou uma porcentagem de participação no VPL para equilibrar e contribuir, de modo que haja um balanço entre essas duas variáveis fazendo com que o cenário II torne o mais atrativo.

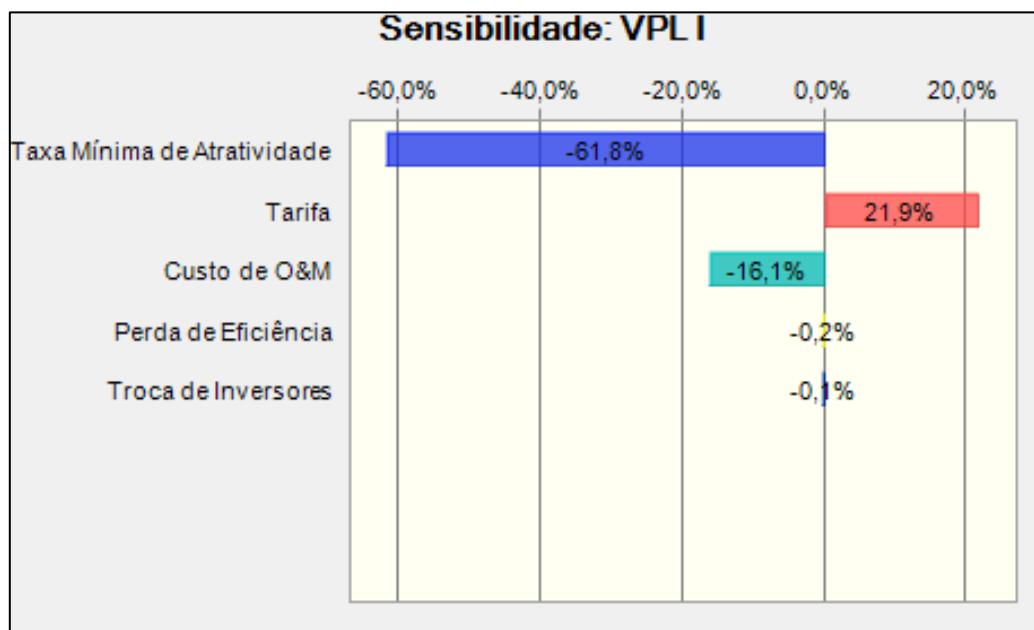


Figura 4-9 – Análise de sensibilidade do primeiro cenário UFMT.

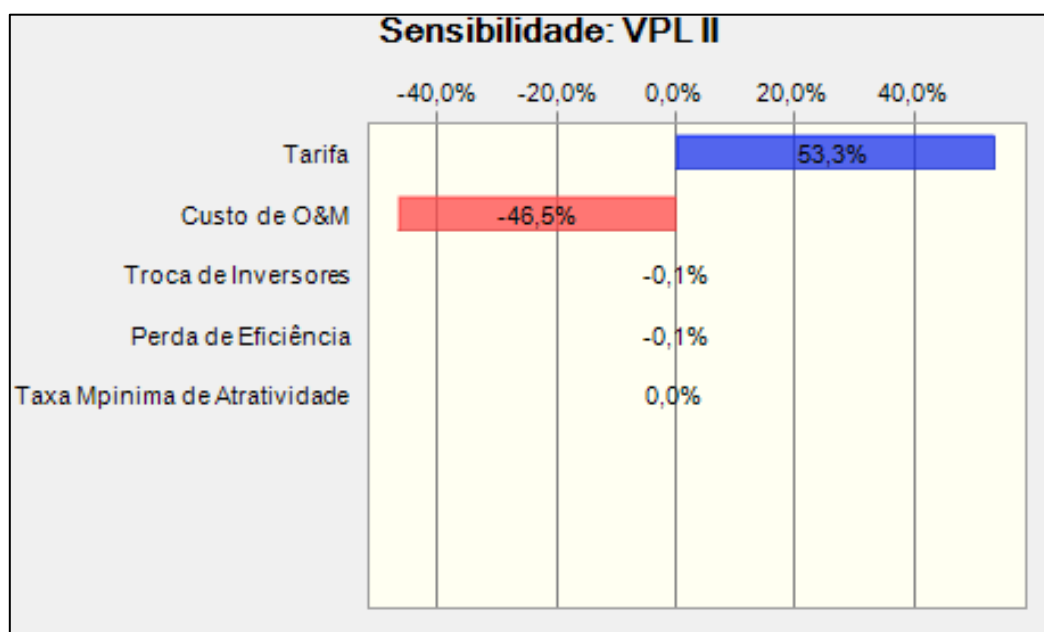


Figura 4-10 – Análise de sensibilidade do segundo cenário UFMT.

Os resultados obtidos com a simulação para UFRB mostram que ambos os cenários apresentaram a probabilidade de VPL positivo de 100%, ou seja, nenhum deles apresentaram risco de investimento como visto nas Figuras 4-11 e 4-12.

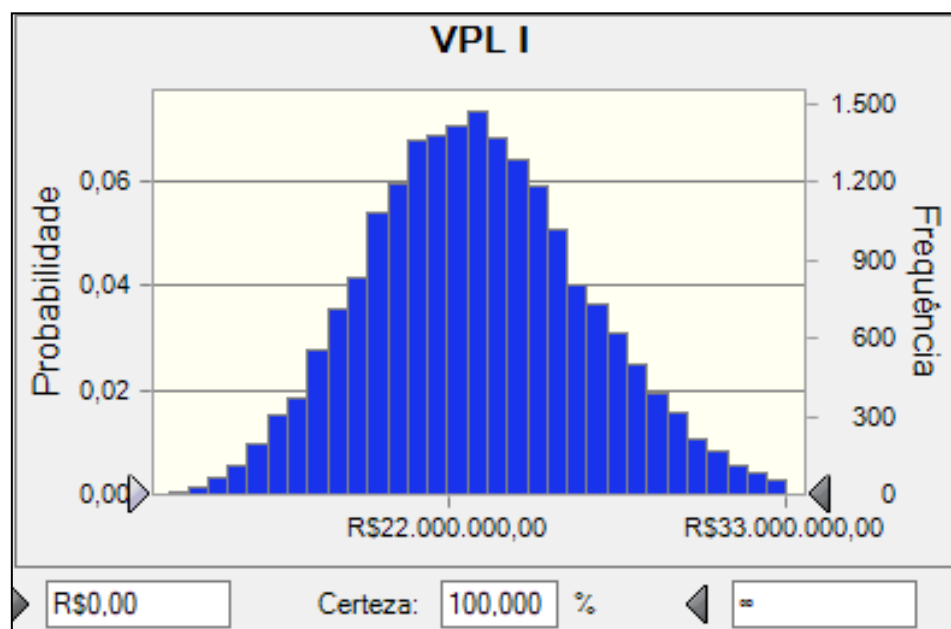


Figura 4-11 – Distribuição de probabilidade do VPL para cenário I UFRB.

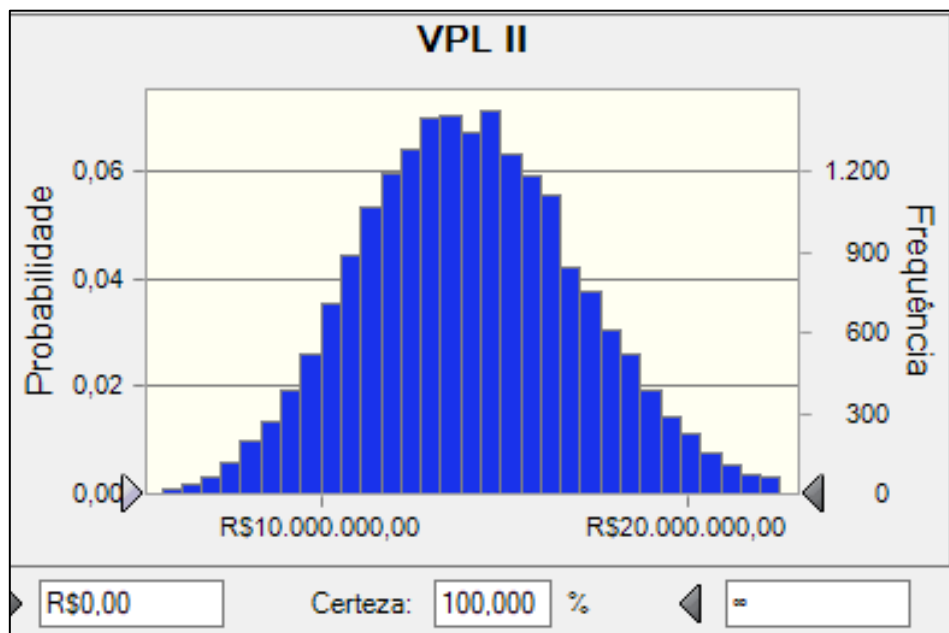


Figura 4-12 – Distribuição de probabilidade do VPL para cenário II UFRB.

Os fatores do fluxo de caixa que mais influenciam no resultado do VPL de cada um dos cenários podem ser observados nas Figuras 4-13 e 4-14. Para o cenário I as variáveis são a TMA com -49,3% e a tarifa com 28,5% e no cenário II foram custo de O&M -54,4% e a tarifa 45,3% respectivamente.

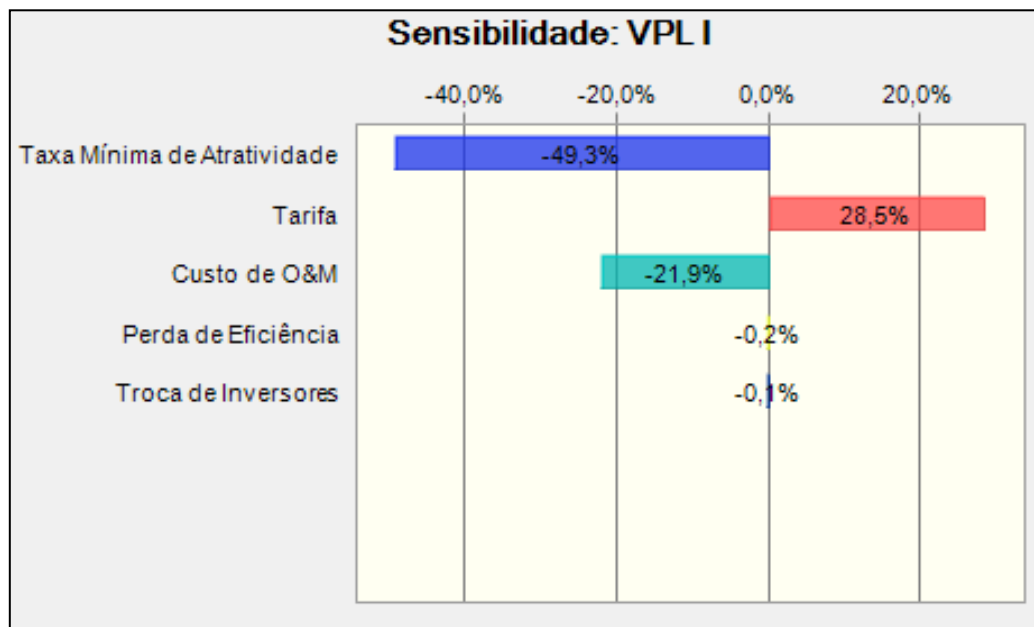


Figura 4-13 – Análise de sensibilidade do primeiro cenário UFRB.

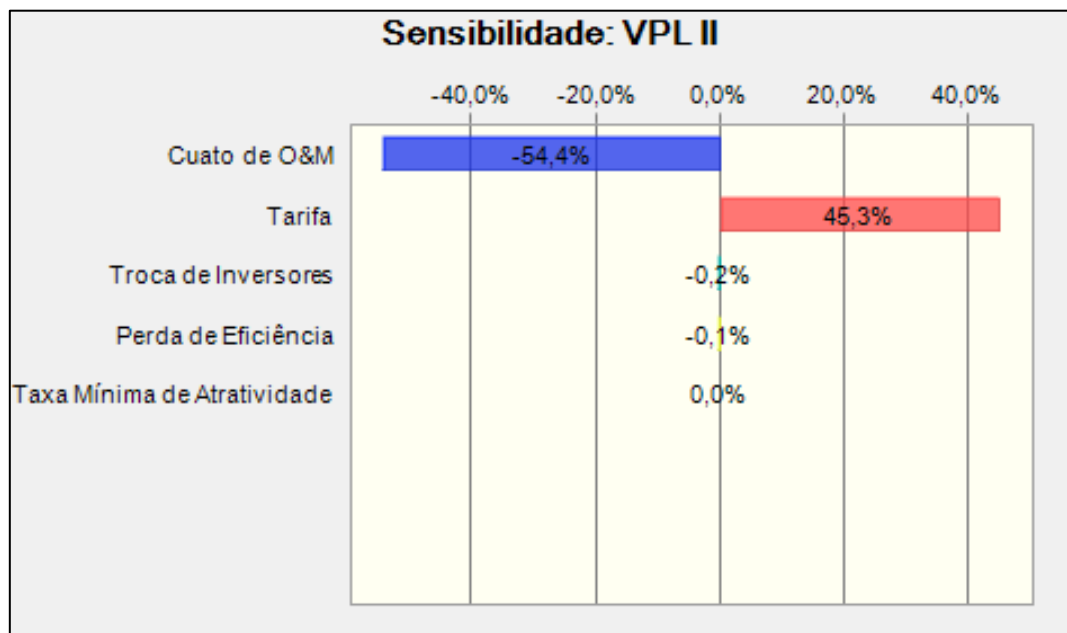


Figura 4-14 – Análise de sensibilidade do segundo cenário UFRB.

Para realizar o teste de hipótese com intuito de auxiliar na tomada de decisão e verificar se os dados amostrais trazem evidências que apoiem ou não essa hipótese, diante desse argumento, considerou-se todos os dados iniciais fixos e a variação foi feita só na TMA. Desta forma, dada a simulação feita os resultados mostraram que o valor ideal da TMA para que o VPL do cenário II tende a ser maior ou igual ao VPL do primeiro, desta forma, o valor ideal seria menor ou igual a 2,1%, assim o segundo cenário seria mais atrativo.

Vale mencionar que, as Figuras 4-15 a 4-26 estão mostrando os resultados das simulações feitas para as outras UFs que não participaram da análise comparativa, já que as mesmas como dito no início dessa sessão, não tinham dados disponíveis dos campi. Em todas as simulações os resultados obtidos do VLP atestaram positivo, ou seja, maior que zero e a TIR com percentual acima da TMA. Desta forma, do ponto de vista econômico, a instalação de um sistema FV em seu próprio estabelecimento é viável economicamente.

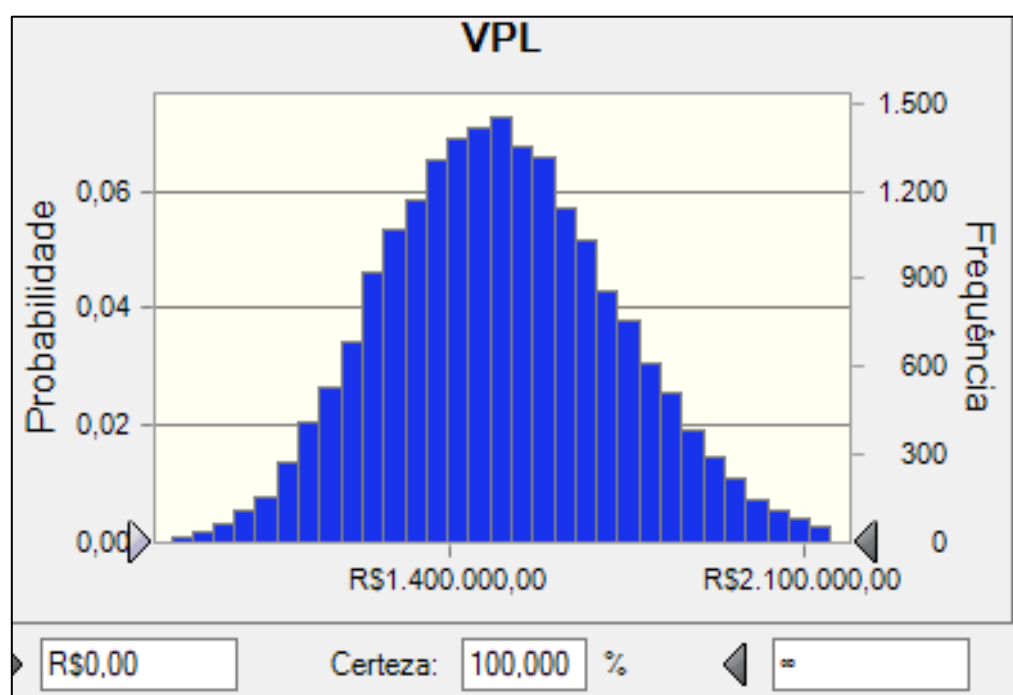


Figura 4-15 – Distribuição de probabilidade do VPL da UFBA.

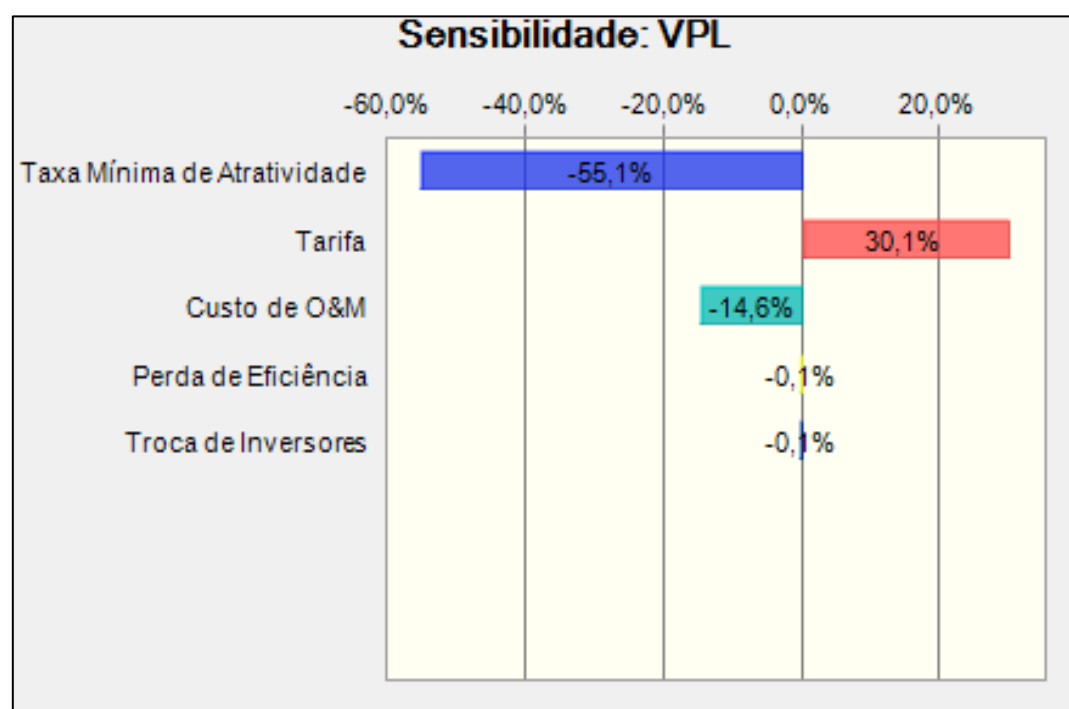


Figura 4-16 – Análise de sensibilidade da UFBA.

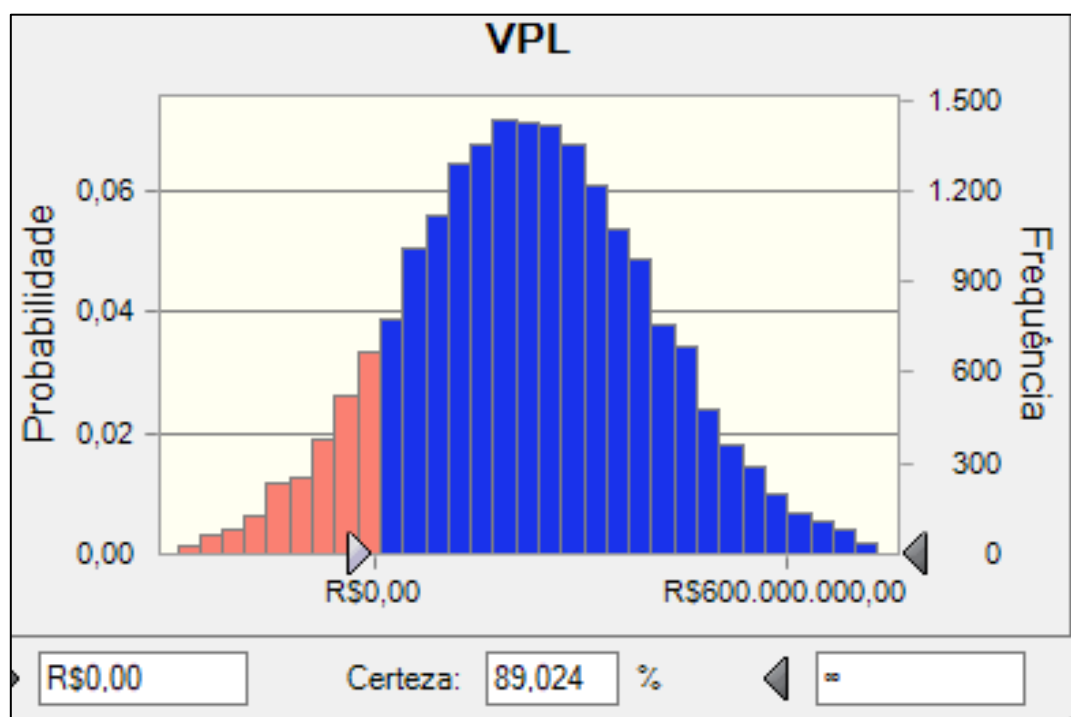


Figura 4-17 – Distribuição de probabilidade do VPL da UFPA.

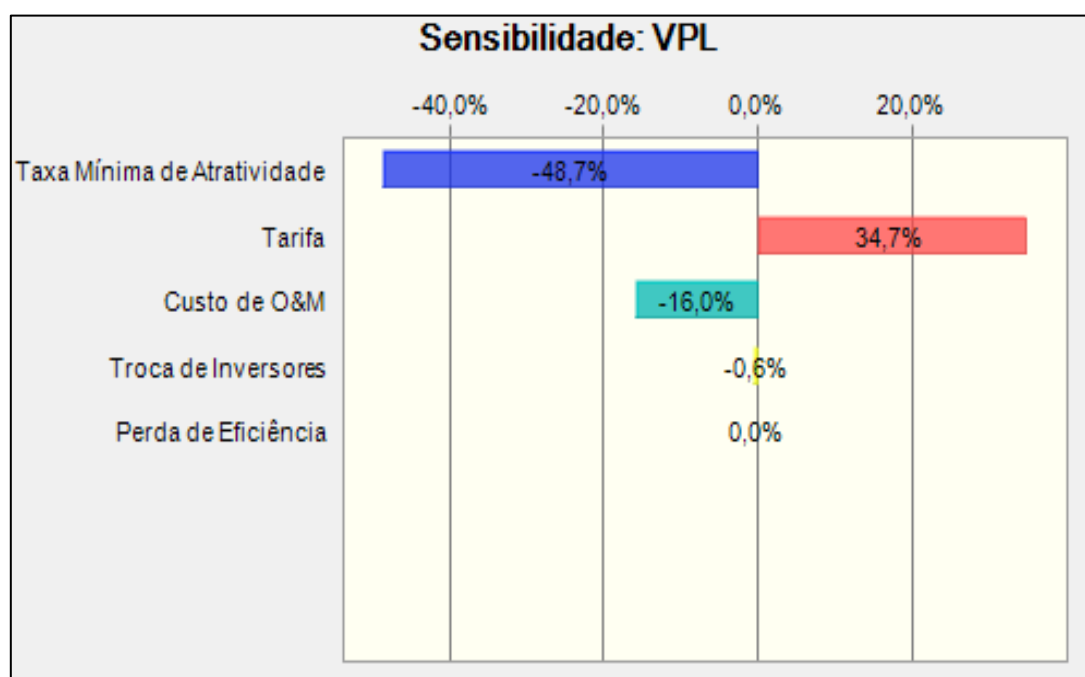


Figura 4-18 – Análise de sensibilidade da UFPA.

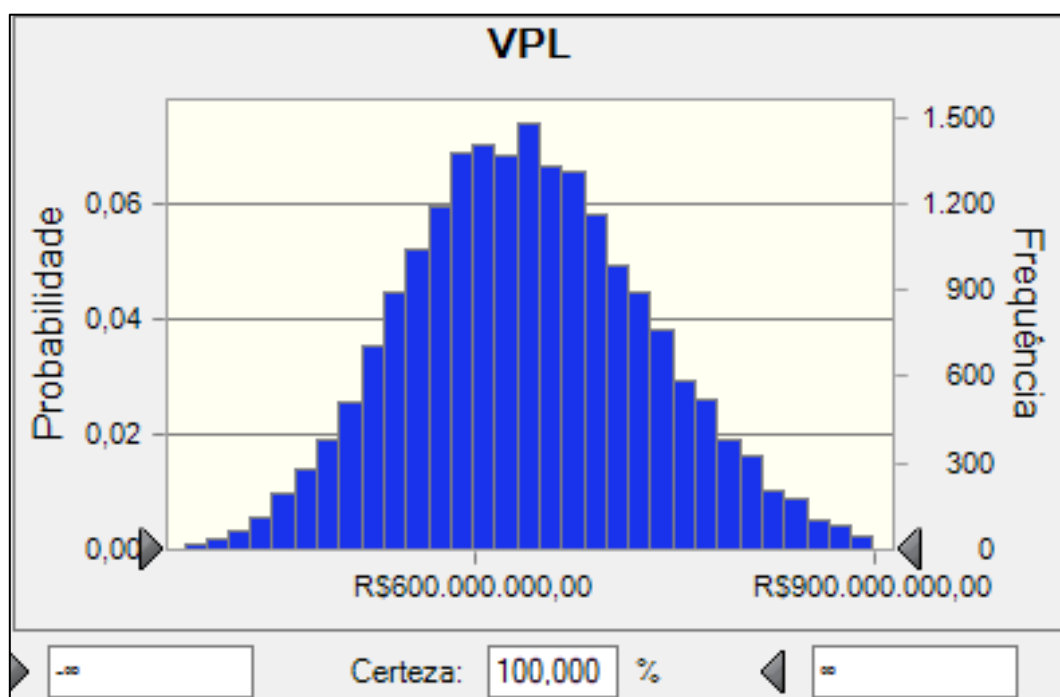


Figura 4-19 – Distribuição de probabilidade do VPL da UnB.

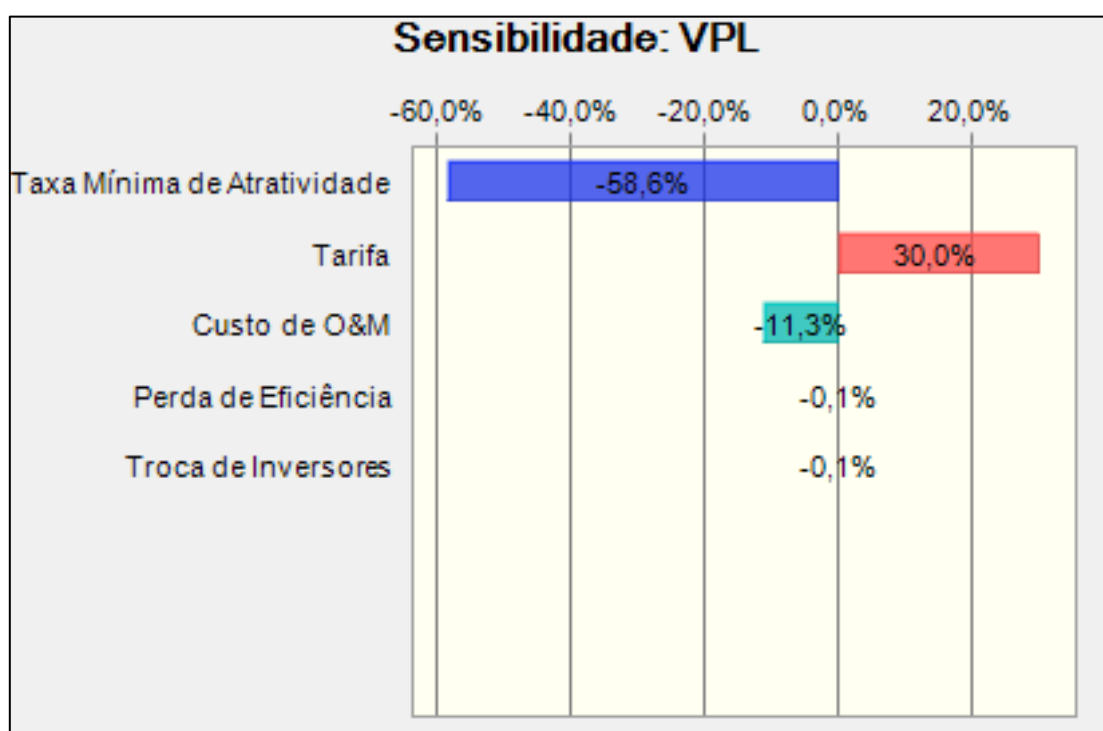


Figura 4-20 – Análise de sensibilidade da UnB.

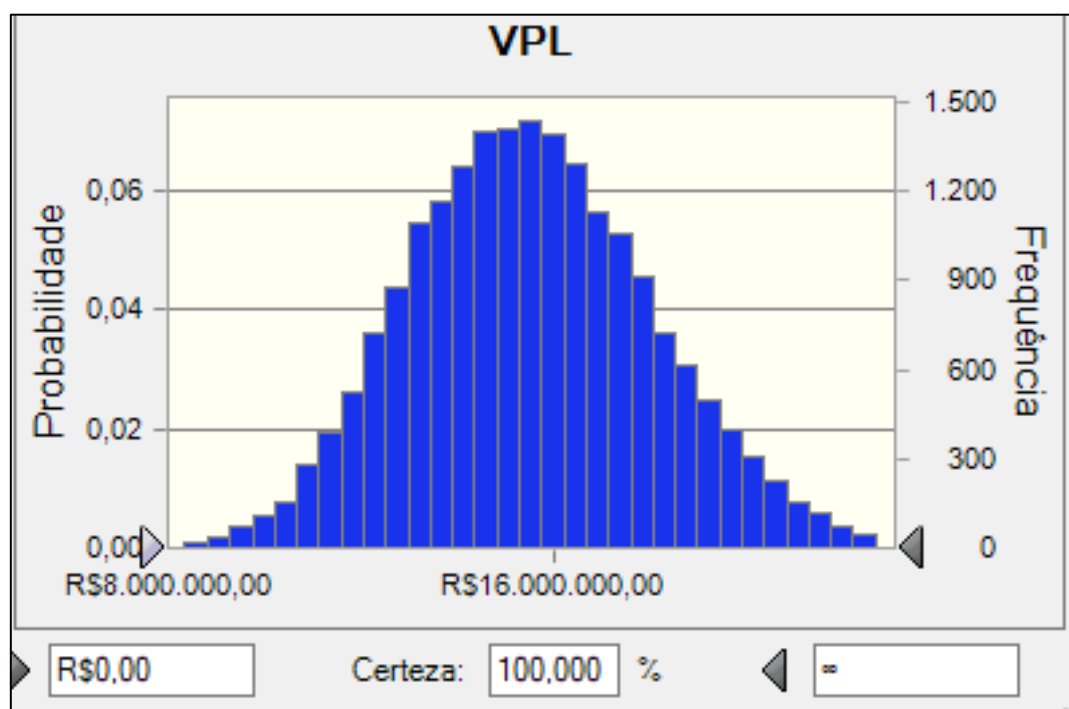


Figura 4-21 – Distribuição de probabilidade do VPL da UFCSPA.

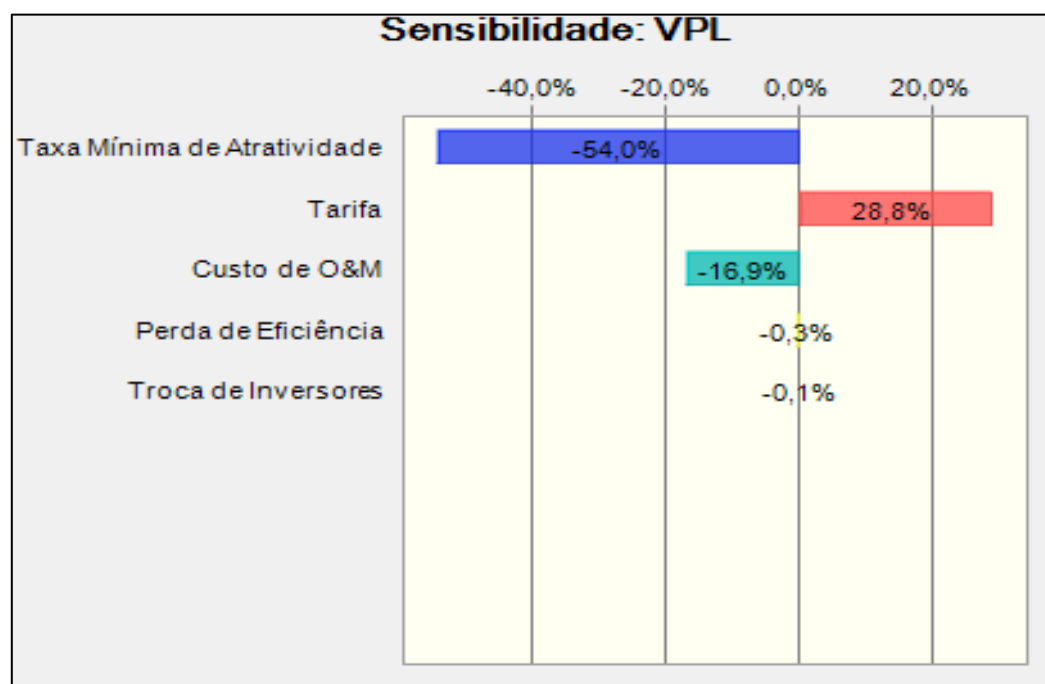


Figura 4-22 – Análise de sensibilidade da UFCSPA.

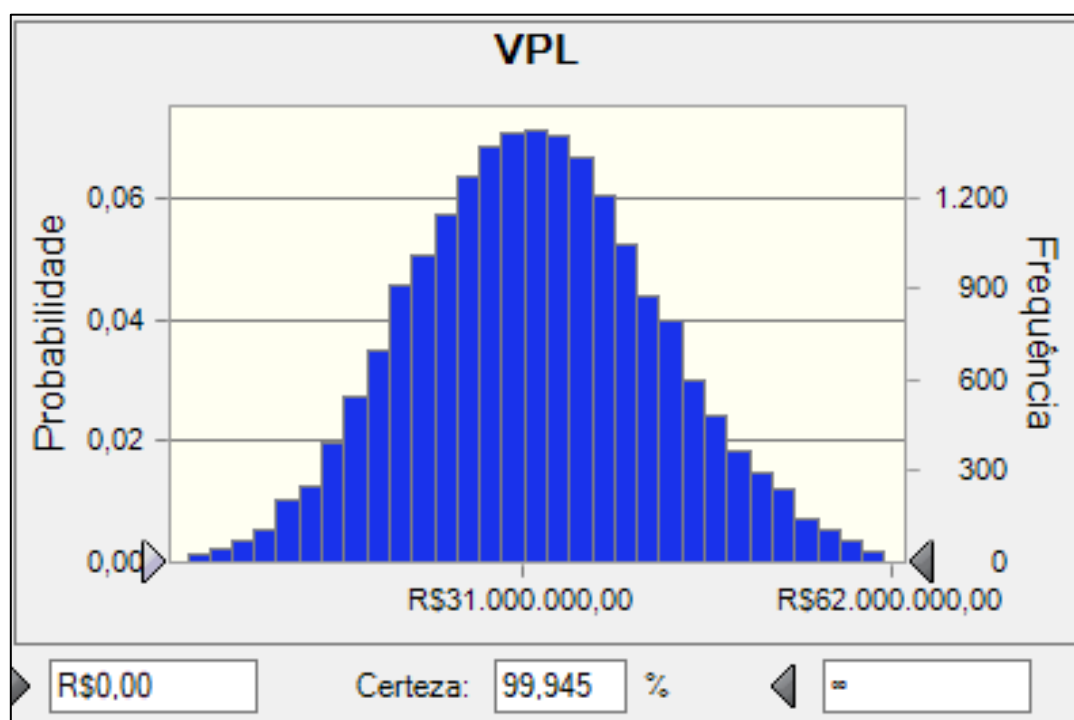


Figura 4-23 – Distribuição de probabilidade do VPL da UFPB.

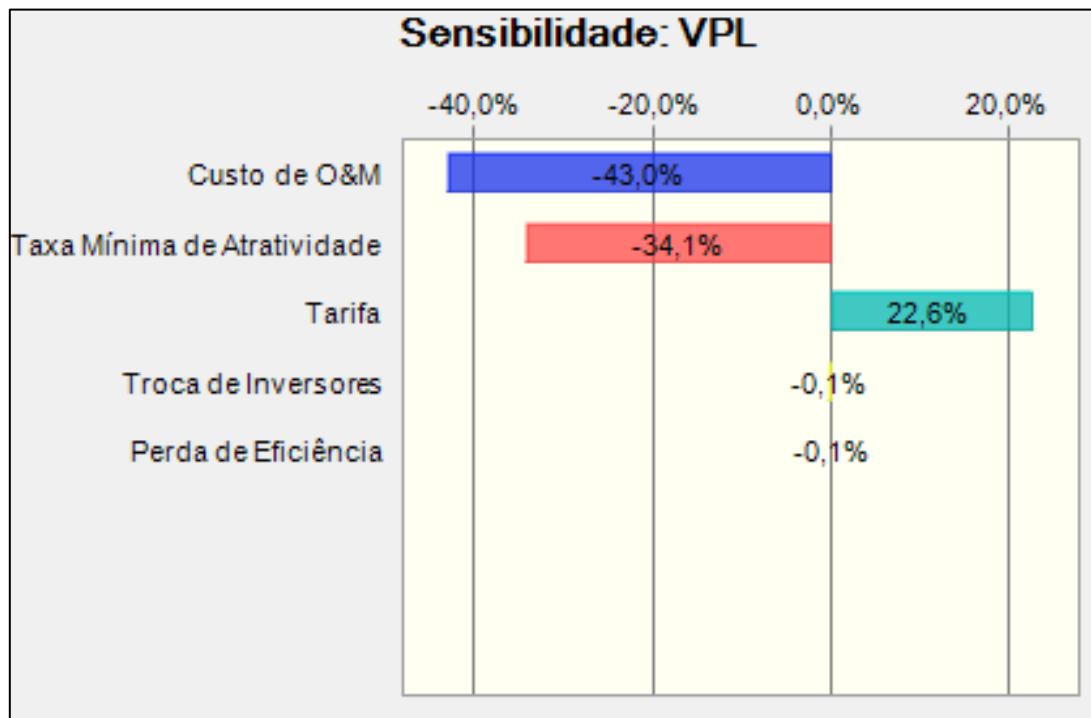


Figura 4-24 – Análise de sensibilidade da UFPB.

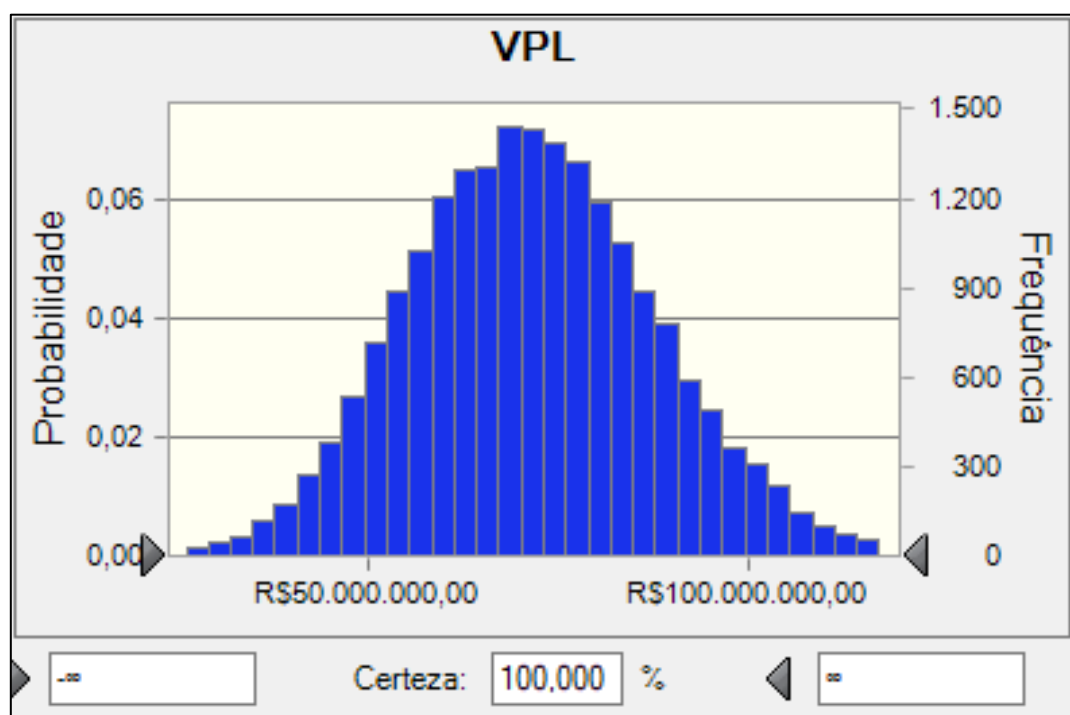


Figura 4-25 – Distribuição de probabilidade do VPL da UFSM.

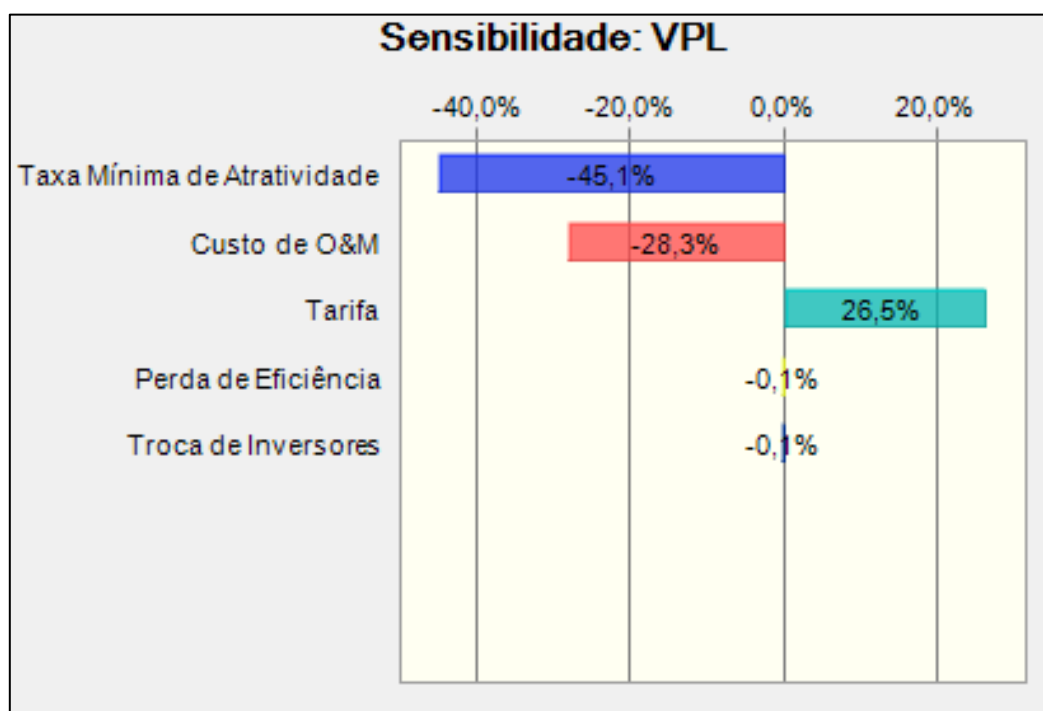


Figura 4-26 – Análise de sensibilidade da UFSM.

4.4.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados, pode-se afirmar que a instalação de sistema de geração fotovoltaico em cada campus das três universidades, sendo elas, UFOB e UFRB e UFMT é viável devido o valor do VPL do primeiro cenário (um sistema FV em cada UF) ser maior que o VPL do segundo cenário (uma usina fotovoltaica). No entanto, é importante ressaltar que, os valores obtidos aqui do VPL do cenário II da UFOB, da UFRB e da UFMT são menores do que o cenário I devido à inserção do ICMS, uma vez que, retirado esse imposto do fluxo de caixa, o VPL do mesmo passa se tornar mais atrativo, tornando o cenário II a melhor opção de investimento. Para as outras seis UFs que não participaram da análise de comparação, foram feitas análises de instalações de um sistema FV em cada uma delas, já que estas não possuem campi não foi possível fazer a comparação de dois cenários, cabendo a elas apenas uma análise, portanto, conclui-se que, segundo os resultados para essas seis UFs a instalação de um sistema FV é viável.

4.5. EQUACIONAMENTO DO DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO E DAS VARIÁVEIS DO FLUXO DE CAIXA (MODALIDADE TARIFÁRIA CONVENCIONAL)

Essa seção trata da análise dos dados de duas UFs pertencentes a modalidade tarifária convencional, a UFBA e UFCSPA, uma vez que a abordagem de cálculo nessa modalidade é um pouco mais simples por dispor de uma única tarifa de energia elétrica, independente das horas de utilização do dia, diferente das modalidades verde e azul que possuem tarifação diferenciada de consumo de energia elétrica e de demanda de potência. Em primeiro momento, foi feito o dimensionamento de um sistema de geração fotovoltaica, sendo este estimado pela equação (4.8).

$$S_d = \frac{C_{md}}{IHG} \quad (4.8)$$

S_d é o sistema dimensionado de potência a ser instalada em fotovoltaico em [kWp_{médio}];

C_{md} é a média de consumo diária de energia [kWh/dia];

IHG é a irradiação horizontal global (kWh/m² por dia) / (1 kWp/m²).

O cálculo estimado do investimento para o sistema FV foi obtido pela equação (4.9) com base em (4.8), porém, neste caso, não tem a necessidade de aplicar o fator de ajuste (At) no cálculo por ser tarifa única.

$$I = Sd \cdot P_a \quad (4.9)$$

I é o Investimento necessário em [R\$];

P_a é o preço aleatório de mercado de sistemas FV em [R\$/kWp].

No cálculo da receita, foi feito uma média da tarifa (convencional) cobrada durante o período de 2017–2019 por meio das faturas disponibilizadas pelas UFs. Desta forma, foi possível chegar ao equacionamento da receita do primeiro ano:

$$R_1 = (C_{md} \cdot TC) \cdot (1 - P_{ef}) \quad (4.10)$$

R_1 é a receita bruta no ano 1 em [R\$];

P_{ef} é o percentual da perda de eficiência do primeiro ano de 2%.

As equações utilizadas para o cálculo da receita dos próximos 24 anos (4.5), o custo de O&M (4.6) e a troca de inversores (4.7) são as mesmas utilizadas para as outras UFs e elas se encontram na seção 4.3. bem como a TMA utilizada, o fluxo de caixa (Tabela 4–5). Já os parâmetros e pressupostos (Tabela 4–3) e os dados meteorológicos (Tabela 4–4) utilizados para os cálculos se encontram na seção 4.2.

4.6. UNIVERSIDADES PERTENCENTES À MODALIDADE TARIFÁRIA CONVENCIONAL

4.6.1. CENÁRIO I – IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO EM CADA CAMPUS

Assim como na seção 4.4.1. aqui também foi feita a análise de acordo com a modalidade tarifária, no caso convencional. Simulou o dimensionamento de um sistema FV para a UFCSPA e para UFBA. Esses valores foram estimados pela equação (4.8), logo a Tabela 4–16 mostra os respectivos consumos de energia média anual utilizada para a base desse cálculo.

Tabela 4-16 – Média anual de consumo de energia elétrica das UFs consideradas no período de 2017-2019.

UNIVERSIDADES	CAMPUS	CONSUMOS DE ENERGIA (kWh)
UFBA		683.151
UFCSPA	Arabutã	12.195
	Canoas	2.561
	Correia Lima	1.434
	Conceição	3.574
	Sete de Setembro	318

Realizou-se o cálculo do investimento por meio da equação (4.9), os resultados são apresentados na Tabela 4-17.

Tabela 4-17 – Investimento de instalação de sistema FV necessário para as UFs consideradas.

UNIVERSIDADES	CAMPUS	INVESTIMENTOS	kWp
UFBA		R\$ 1.501.298,00	428,94
UFCSPA	Arabutã	R\$ 35.252,00	8,39
	Canoas	R\$ 10.444,00	1,77
	Correia Lima	R\$ 5.823,00	0,99
	Conceição	R\$ 14.514,00	2,46
	Sete de setembro	R\$ 1.290,00	0,22

Os preços praticados como base podem ser visualizados na Tabela 4-18, sendo estes os preços médios divulgados em estudos de mercado feito pela empresa Greener, como já mencionado foram apresentados em três possíveis cenários, denominados pessimistas, prováveis e otimistas.

A Tabela 4-19 apresenta o resumo estatístico da Simulação de Monte Carlo após o cálculo do fluxo de caixa, podendo visualizar a média do VPL de cada um dos campi da UFCSPA e da UFBA, sendo que os mesmos apresentaram resultados positivos e podem ser considerados como uma proposta de investimento atrativa, além dos resultados do desvio padrão que apresentam as porcentagens de risco dos projetos fez-se também a probabilidade do VPL ser menor que zero, como pode ser observado todos os resultados deram 0% de risco. A média da TIR das duas universidades teve

resultados maiores que o valor máximo adotado na distribuição uniforme da TMA que foi de 6,5%.

Tabela 4-18 – Parâmetros e pressupostos usados para análise.

UNIVERSIDADES	CAMPUS	PESSIMISTA (R\$/kWp)	PROVÁVEL (R\$/kWp)	OTIMISTA (R\$/kWp)
UFBA		3.700	3.500	3.400
UFCSPA	Arabutã	5.900	4.200	3.700
	Canoas	6.200	5.900	3.400
	Correia Lima	6.200	5.900	3.400
	Conceição	6.200	5.900	3.400
	Sete de Setembro	6.200	5.900	3.400

Tabela 4-19 – Resultados do VPL e TIR dos cenários analisados.

UNIVERSIDADES	CAMPUS	VPL (R\$)			TIR (%)	
		Média	Desvio Padrão	VPL < 0 %	Média	Desvio Padrão
UFBA		3.519.406,00	739.007,00	0	22,87	2,92
UFCSPA	Arabutã	93.466,00	20.414,00	0	23,78	4,07
	Canoas	18.005,00	4.389,00	0	20,80	4,29
	Correia Lima	10.131,00	2.492,00	0	20,96	4,34
	Conceição	25.250,00	6.226,00	0	20,94	4,34
	Sete de Setembro	2.240,00	552,00	0	20,91	4,31

4.6.2. CENÁRIO II – IMPLANTAÇÃO DE UMA USINA FOTOVOLTAICA

O intuito do cenário II foi de expor os dados de entrada e os resultados obtidos com os cálculos para se fazer uma comparação entre os cenários I e II das UFs. No entanto, no caso da modalidade convencional temos aqui somente dados dos campi da UFCSPA, como mostra a Tabela 4-20 com a média de consumo anual nos períodos de 2017-2019, seguido da Tabela 4-21 que descreve os preços utilizados para cálculo do investimento retirados da pesquisa de mercado da Greener e a Tabela 4-22 mostra o investimento necessário para instalação de sistema FV nas instalações da UFCSPA de modo que supra todo o consumo de energia.

Tabela 4-20 – Média de consumo de energia elétrica total da UFCSPA.

UNIVERSIDADES	CONSUMO DE ENERGIA TOTAL (kWh)
UFCSPA	20.082

Tabela 4-21 – Parâmetros e pressupostos usados para análise de preços.

UNIVERSIDADES	PESSIMISTA (R\$/kWp)	PROVÁVEL (R\$/kWp)	OTIMISTA (R\$/kWp)
UFCSPA	3.700	3.400	3.300

Tabela 4-22 – Investimento de instalação de uma usina FV na UFCSPA.

UNIVERSIDADES	INVESTIMENTO	kWp
UFCSPA	R\$ 46.992,07	13,82

Após esta seção seria feita uma análise dos dois cenários referente às duas universidades, UFBA e UFCSPA. No entanto, como neste caso apenas a UFCSPA possui campi e dados suficientes para serem analisados, levou-se apenas esta instituição para a análise. Como ilustra as Figuras 4-27 e 4-28 os dois cenários são viáveis uma vez que ambos apresentaram 100% de viabilidade e 0% de risco.

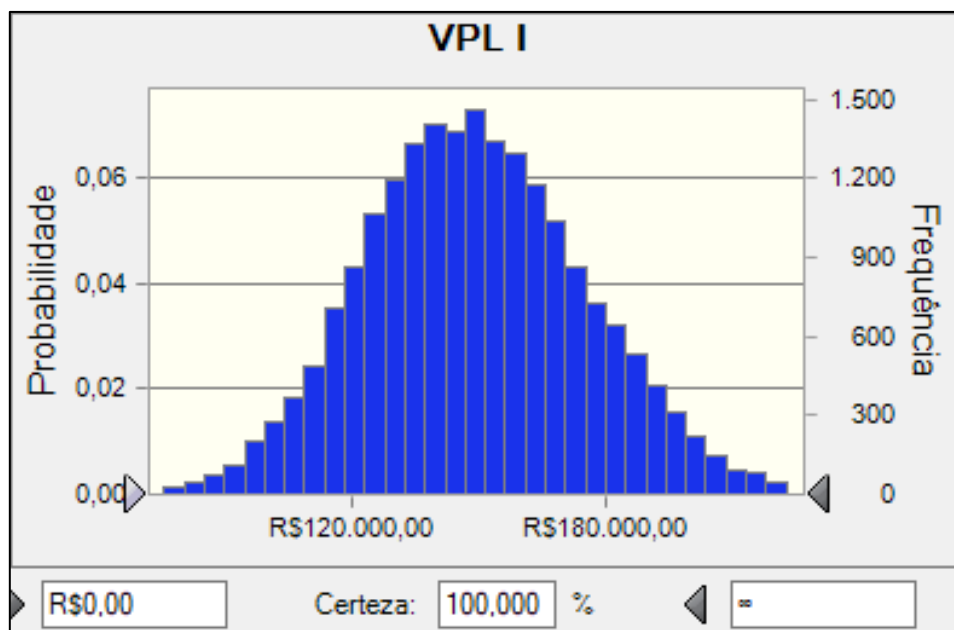


Figura 4-27 – Distribuição de probabilidade do VPL para cenário I UFCSPA.

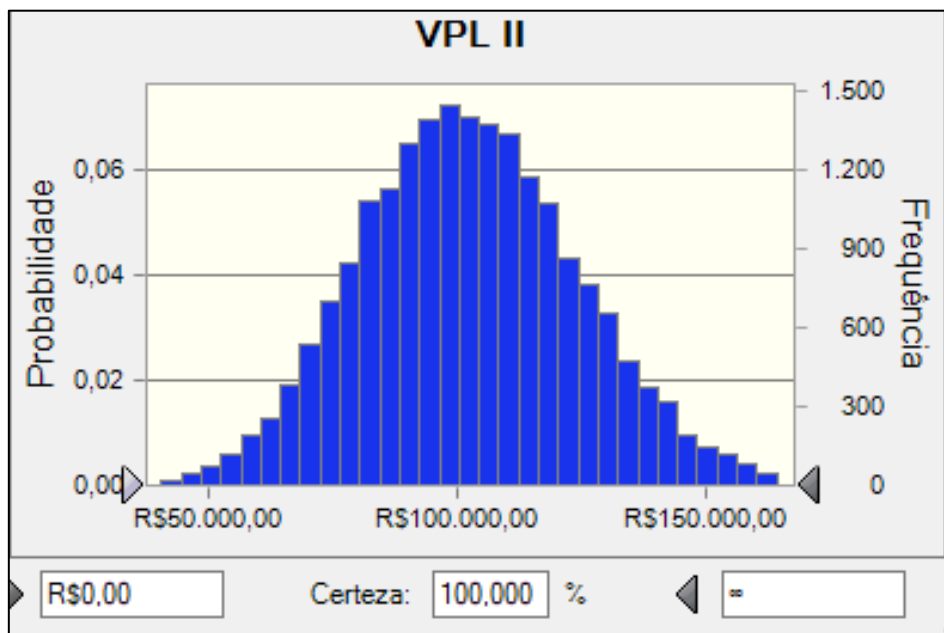


Figura 4-28 – Distribuição de probabilidade do VPL para cenário II UFCSPA.

Para melhor representação, as Figuras 4–29 e 4–30 mostram as variáveis que mais afetaram no resultado do VPL. No cenário I a TMA teve um efeito negativo de -48,1% e a tarifa 28,2% um pouco mais da metade da TMA o que ajudou a equilibrar o impacto sobre o VPL. Para o segundo cenário foram a tarifa com 51,4% e o custo de O&M que afetada -48,3% negativamente no resultado do VPL.

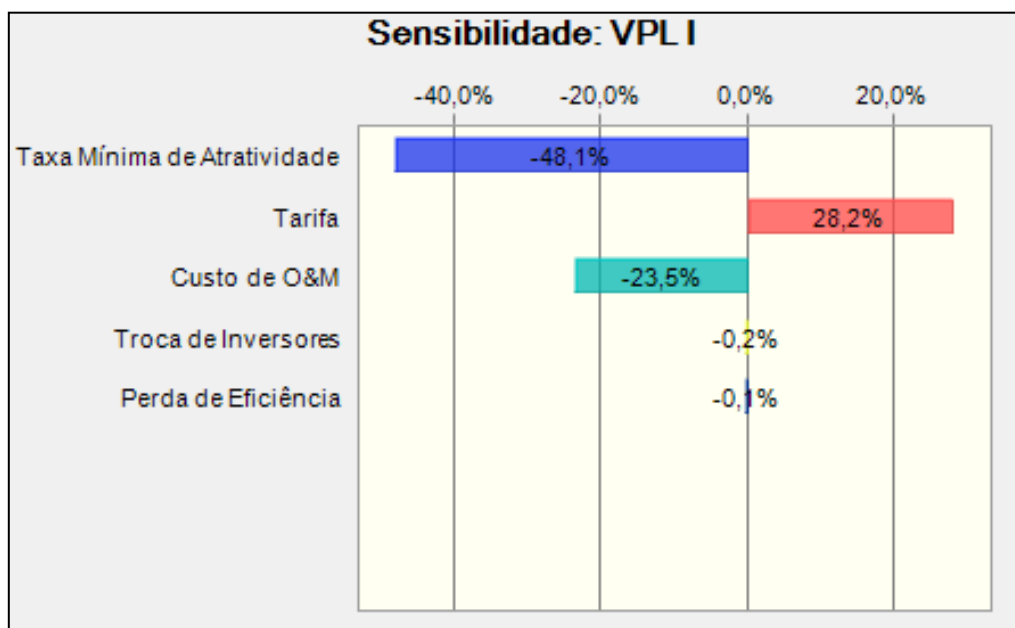


Figura 4-29 – Análise de sensibilidade do primeiro cenário UFCSPA.

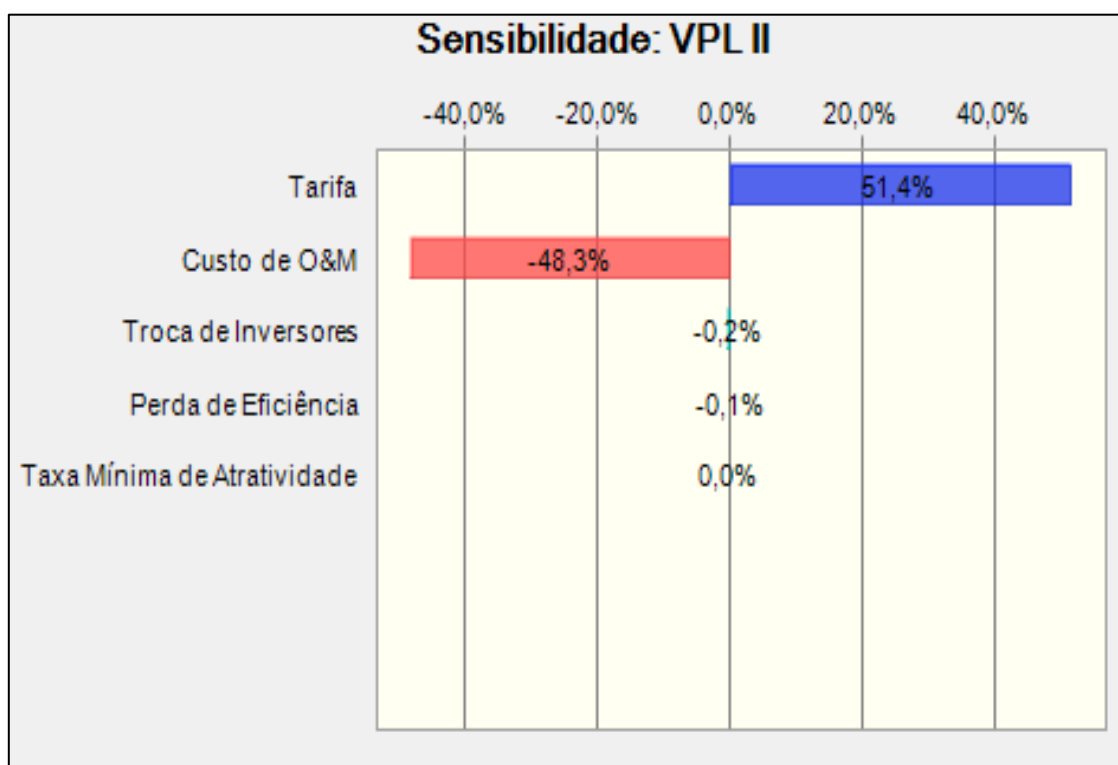


Figura 4-30 – Análise de sensibilidade do primeiro cenário UFCSPA.

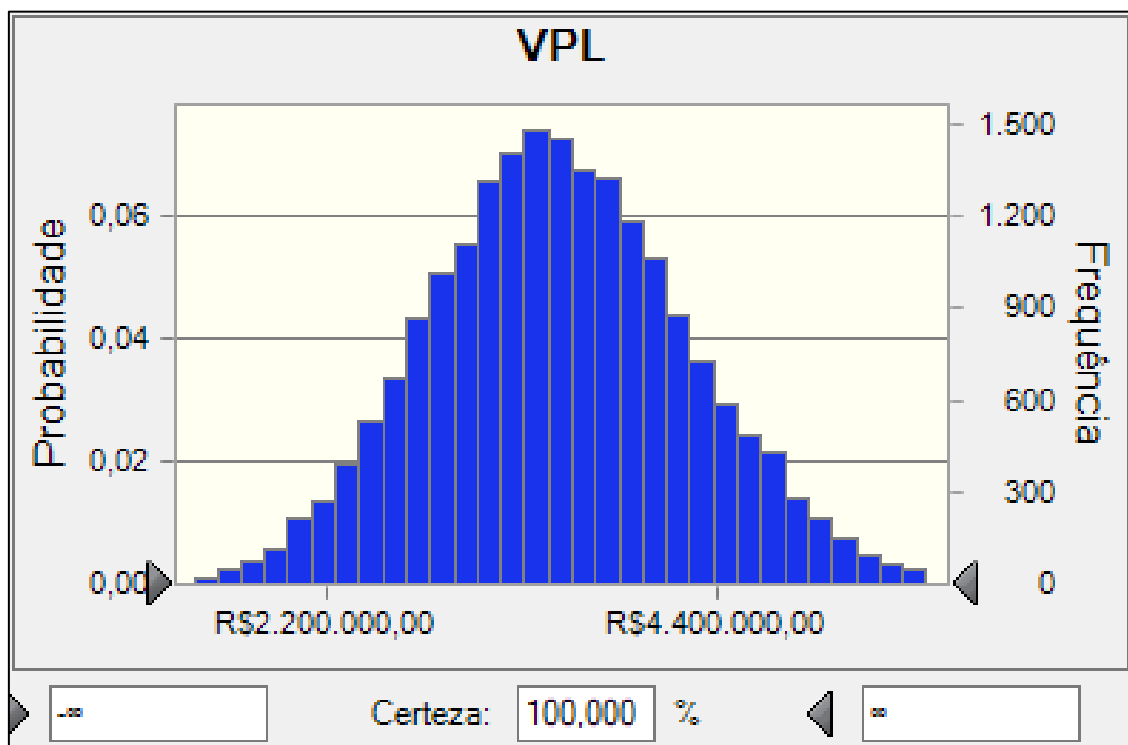


Figura 4-31 – Distribuição de probabilidade do VPL da UFBA.

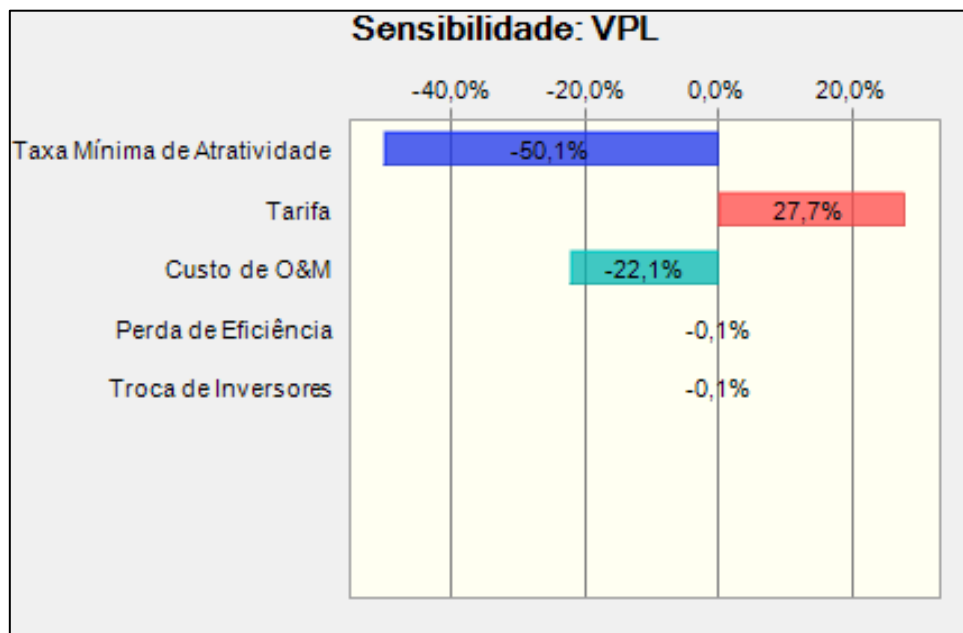


Figura 4-32 – Análise de sensibilidade da UFBA.

4.6.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se notar nesse capítulo que os resultados das universidades UFCSPA e UFBA foram satisfatórios. A simulação da UFCSPA apresentou resultados de que a instalação de uma usina fotovoltaica para atender todos os campi não é o melhor investimento feito, uma vez que, fica evidente com os resultados obtidos do VPL e da TIR, pois, são menores em comparação com o cenário I. Então, a melhor tomada de decisão nesse caso seria instalar um sistema FV em cada campus. Por conseguinte, os resultados da UFBA mostram que instalar sistema FV em sua unidade também é bem atrativo, pode-se observar esses resultados nas Figuras 4-31 e 4-32, onde mostram que a confiabilidade do investimento é de 100%, visto que, o VPL obtido foi maior que zero ($VPL > \$0$), além do mais, na análise de sensibilidade a tarifa mostrou resultados satisfatórios uma vez que essa variável é a mais importante, visto que quanto maior a atuação dela, no projeto do sistema FV melhor é o retorno, desta forma conclui-se que, a instalação é economicamente viável.

4.7. RESULTADOS ECONÔMICOS

4.7.1. ECONOMIA ANUAL DAS UNIVERSIDADES

Com a produção anual de energia fotovoltaica estimada e desconsiderando a tarifa cobrada pelas concessionárias, os horários do dia que tem um retorno melhor do investimento são no HFP, uma vez que, nesse intervalo ocorre uma maior incidência de irradiação solar para a produção de energia fotovoltaico. O cálculo da estimativa de economia anual que as UFs possivelmente podem ter ao instalar o sistema de geração fotovoltaico foi calculado com base no método do valor anualizado do VPL, onde o fluxo de caixa de 25 anos retorna para o valor presente como é representado na equação (4.11):

$$VA = VPL \cdot \left(\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right) \quad (4.11)$$

Onde:

VA é o Valor Anualizado do VPL (R\$);

VPL é o Valor Presente Líquido (R\$);

i é a Taxa de juros (TMA %);

n é o período de tempo.

Desta forma, os seguintes resultados podem ser observados na Figura 4–33, que mostra a economia financeira de cada UFs que possuem campi. A Figura 4–34 representa a economia anual das UFs que não possuem campi nessa análise.

Em conformidade com a Figura 4–33, para as universidades que possuem campi na análise após a instalação de sistema FV em suas edificações, a economia anual para o cenário um apresenta resultados mais atrativos se comparados com o cenário II, como pode ser visto seu retorno é mais viável economicamente. Já para as universidades que foram analisadas apenas em um cenário apresentaram também resultados atrativos como demonstra a Figura 4–34 com a instalação de sistema FV.

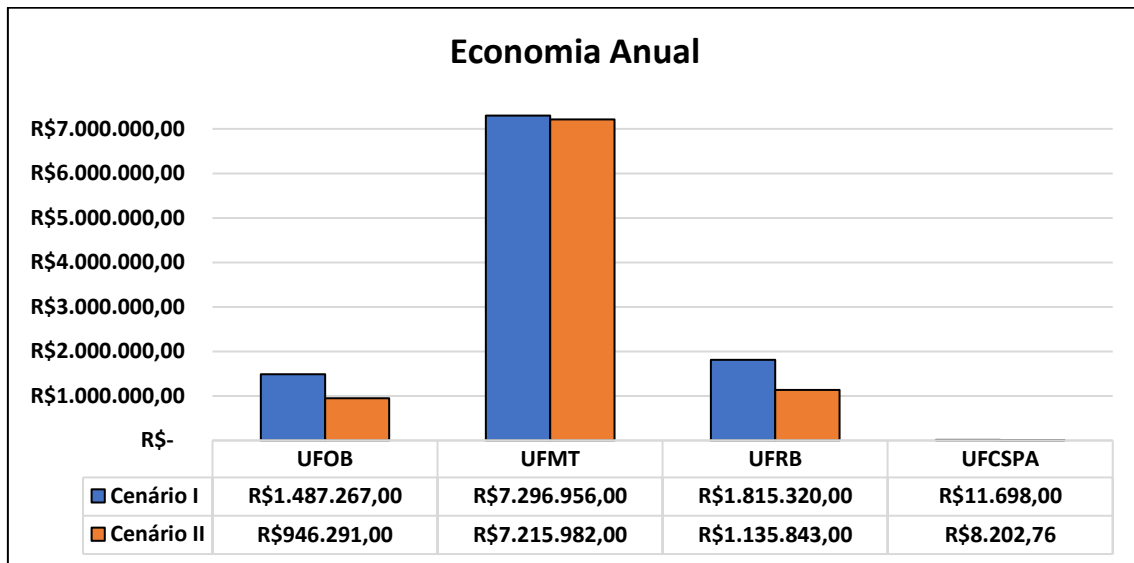


Figura 4-33 – Economia estimada em R\$ dos campi da UFOB, UFMT, UFRB e UFCSPA em função de instalação de sistemas FVs.

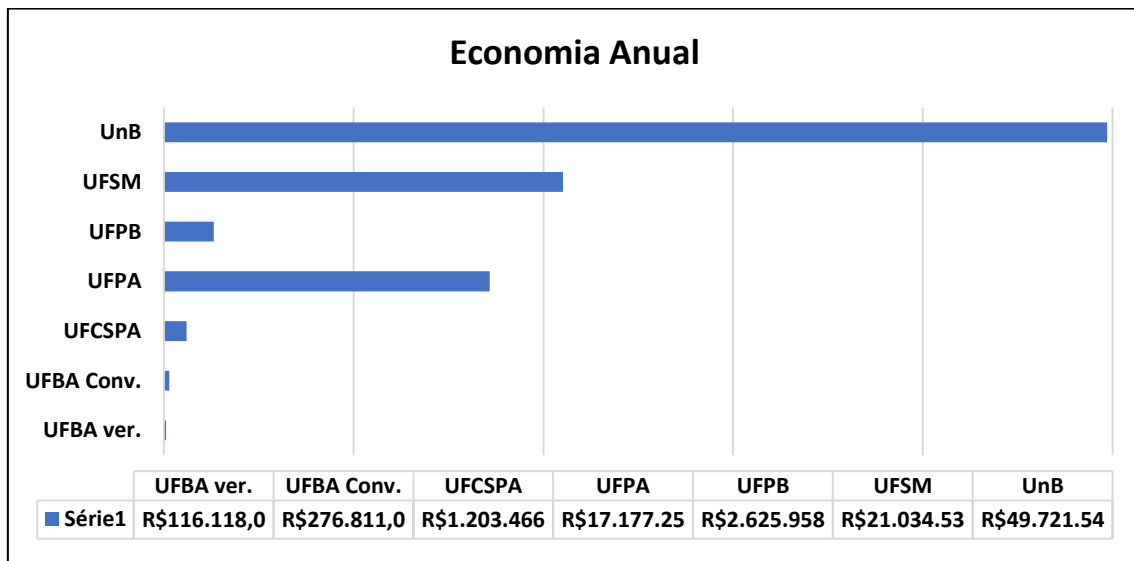


Figura 4-34 – Economia estimada em função de instalação de sistemas FVs.

4.7.2. RETORNO ESPERADO E PAYBACK DESCONTADO

Outro ponto importante foi saber a rentabilidade dos cenários, ou seja, determinar o retorno do investimento, qual foi o ganho ao se investir no sistema FV. Também conhecida como ROI (Retorno sobre o investimento) do projeto, esse método é utilizado para comparar diferentes riscos e retornos, é uma relação percentual do resultado obtido com o valor investido.

Para tanto, foi utilizado no cálculo a economia estimada (4.11), o investimento inicial (4.3), ambos já calculados anteriormente. Munido desses dados foi possível chegar na seguinte equação (4.12).

$$ROI = \frac{VA}{I} \quad (4.12)$$

ROI é a rentabilidade sobre o investimento;

Diferente do *ROI* que analisa o percentual do retorno sobre o investimento, o *payback* descontado analisa o número de períodos necessários do retorno do investimento de um negócio. Vale ressaltar que, esse método possui algumas limitações, ou seja, ele não considera a valorização ou desvalorização do dinheiro no tempo e não considera os fluxos de caixa que ocorrem depois de um tempo. À vista disso, foi preferido optar pelo cálculo do *payback* descontado (anual), pois, considera o efeito do dinheiro no tempo, ou seja, são valores descontados para o presente por uma taxa de justos (Taxa Mínima de Atratividade). O equacionamento desse indicador é bem simples como pode ser observado em (4.13):

$$\sum_{t=0}^{n'} \frac{Ft}{(1+r)^t} = 0 \quad (4.13)$$

onde:

Ft são os fluxos previstos de receitas (entrada) ou de despesas (saídas) no período “t” ($0 \leq t \leq n$);

r é a Taxa Mínima de Atratividade;

n' é o prazo de recuperação do capital.

Provindo desses cálculos têm-se os seguintes resultados do *ROI* e do *payback* como mostra a Tabela 4-23 e 4-24.

Tabela 4-23 – Resultados do ROI e *payback* descontado de cada campi das UFs.

UNIVERSIDADES	CAMPI	ROI	PAYBACK (anos)
UFOB	Centro Multidisciplinar da Barra	28,51%	3,12
	Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa	26,47%	3,30
	Campus Reitor Edgard Santos	29,83%	3,02
	Centro Multidisciplinar Luís Eduardo Magalhães	76,10%	1,32
	Reitoria	25,33%	3,41
	Centro Multidisciplinar de Santa Maria da Vitória	25,61%	3,38
UFBA	Ondina I	21,66%	3,77
UFMT	Barra da Garça	23,76%	3,52
	Araguaia	24,67%	3,42
	Cuiabá	16,12%	3,52
	Rondonópolis	26,42%	3,24
	Sinop	23,48%	3,48
UFPA	Cidade Universitária Prof. José da Silveira Netto	17,14%	4,40
UFRB	Amargosa	27,21%	3,24
	Cachoeira	13,26%	5,22
	Cruz das Almas	12,75%	5,34
	Santo Antônio de Jesus	12,59%	5,38
UnB	Darcy Ribeiro	27,79%	3,19
UFCSPA	Sarmento Leite	18,51%	4,24
UFPB	Campus I	3,50%	9,14
UFSM	Santa Maria	46,04%	1,85
UFCSPA	Arabutã	17,8%	4,35
	Canoas	8,4%	6,66
	Correia Lima	8,5%	6,62
	Conceição	8,5%	6,62
	Sete de Setembro	8,5%	6,62
UFBA	Ondina II	14,40%	4,97

Tabela 4-24 – Resultados do ROI e *payback* descontado.

UNIVERSIDADES	CENÁRIO I		CENÁRIO II	
	ROI	PAYBACK (anos)	ROI	PAYBACK (anos)
UFOB	31,41%	2,90	17,54%	4,40
UFMT	22,74%	3,39	14,63%	5,10
UFRB	14,28%	5,00	8,54%	7,45
UFCSPA	13,33%	5,21	13,42%	5,19

4.7.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme apresentado todos os resultados do ROI e do *payback* descontado feito para cada universidade e seus campi, afim de cumprir com o objetivo do presente trabalho, chegou-se a conclusão que a média do tempo de retorno para as UFs foram de 5 anos, visto que, alguns campi tiveram o *payback* um pouco maior, chegando a quase 10 anos, contudo, para que esses campi tenham um tempo de retorno menor, teria que haver um crescimento maior na tarifa, ou seja, um crescimento na tarifa diminui o tempo do *payback* descontado que ocasiona na diminuição da exposição do investidor ao risco. Quanto ao ROI das universidades e seus campi, pode-se concluir que o percentual de ganho superou os custos e o investimento.

5. CONCLUSÃO

Diante do que inicialmente foi proposto, o presente trabalho verificou o consumo de energia elétrica de algumas UFs no Brasil tendo sido feito o dimensionamento para cada um de seus campi seguido de uma simulação de Monte Carlo para analisar a viabilidade econômica do projeto considerando dois cenários, a saber, cenário I com instalação de sistemas FVs em cada campus universitário de cada universidade e cenário II com instalação de sistema FVs centralizado em um campus com autoconsumo remoto pelos demais campi. Além disso, apresentou-se uma distribuição de probabilidade triangular para a

simulação estocástica dos três possíveis cenários, denominado pessimista, provável e otimista.

Durante a análise um fator a ser considerado foi a degradação do equipamento, que ao longo dos anos acarreta diminuição do desempenho das placas, e com isso, redução da geração de energia elétrica e das receitas ao longo dos anos. Em contrapartida, têm-se que as tarifas de energia impactam positivamente nas receitas, como foi o caso do cenário I onde as tarifas de energia levaram ao aumento nas receitas contribuindo na viabilidade dos projetos.

Para as outras universidades, no entanto, o que prevaleceu foi o OPEX, que teve uma grande influência negativa na análise da viabilidade de implantação do sistema, em todo o cenário II ele mostrou valores negativos bem expressivos em comparação com o cenário I, ele foi a variável que mais teve representatividade tornando-o menos atrativo.

Outra observação, foi nos resultados dos testes de hipótese, sendo a TMA ideal para o segundo cenário, pois, veio a apresentar um valor bem menor ao que foi usado nas análises, e desta forma, a instalação de uma usina fotovoltaica seria bem mais atrativa. É importante ressaltar que considerou no estudo o sistema *net metering*, o qual permite que a energia excedente gerada pela unidade consumidora com micro e minigeração seja injetada na rede da distribuidora.

Os resultados obtidos mostram que o cenário II na maioria das simulações feitas para cada universidade não obteve uma boa atratividade devido à inserção do ICMS, já que esse imposto é cobrado na Geração Distribuída e ela ser do tipo autoconsumo remoto. O projeto das universidades, no entanto, seria mais atrativo se esse tributo não fosse cobrado. Toda via, para a universidade UFMT mesmo com a cobrança de ICMS o cenário II foi o que obteve os melhores resultados de VPL quando comparado com o do primeiro cenário.

Desta forma, com base nos resultados, verificou-se por meio do VPL que a viabilidade da instalação de sistema FV em ambos os cenários são viáveis devido a análise de risco feita para todas as UFs aqui analisadas, com exceção da UFMT que demonstrou logo no começo da análise que o segundo cenário

para essa universidade seria a melhor opção. Além disso, os resultados obtidos são suficientes para que as UFs e outras edificações públicas tomem como parâmetro e o usem de referência.

É necessário enfatizar que o investimento em sistema FV não é livre de riscos, pois, existem circunstâncias que podem afetar no desempenho do sistema como: chuvas de granizo, chuvas fortes com ventos e sujeiras. Outro ponto crucial conforme verificado são as várias incertezas existentes no mercado como a variação da tarifa energética (que quanto maior for, menor será o tempo de retorno do investimento) e a incidência solar, que por consequência acaba afetando o tempo de retorno do sistema (*payback* descontado) distorcendo bastante os resultados desse indicador.

5.1. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Embora a análise proposta tenha se mostrado bem-sucedida no contexto de tomada de decisão para instalação do sistema FV, mostrando qual dos dois cenários se enquadra melhor para cada universidade, alguns pontos técnicos são importantes para aumentar a precisão dos resultados da análise econômica e como sugestão tem-se:

- Realizar uma análise econômica com sistema de armazenamento;
- Discutir a relevância da busca da sustentabilidade energética de universidades e institutos federais de educação no país e seus impactos econômicos e sociais;
- Avaliar a capacidade de hospedagem e cada campus para cada sistema FV;
- Considerar sistemas de armazenamento, até para adequações na demanda de potência (geração e consumo).

5.2. PUBLICAÇÕES

A partir dos estudos feitos durante o curso a nível de mestrado em Engenharia Elétrica na UNIFEI, os seguintes artigos listados foram publicados,

no entanto, o artigo resultante dessa dissertação encontra-se em processo de submissão a uma revista internacional.

- Bonatto, B. D.; Silva, P. F.; Valério, V. E. M.. O desafio da sustentabilidade energética em instituições educacionais públicas: o paradoxo da “casa de ferreiro com espeto de pau”. Revista o Setor Elétrico, Perdizes - São Paulo, p. 58 - 59, 15 fev.2021. Disponível em: <https://issuu.com/revistaosetoreletrico/docs/edicao_176_final>. Acesso em: 30 jun. 2021
- Costa, V. B., Bonatto, B. D., Pereira, L. C., & Silva, P. F. (2021). Analysis of the impact of COVID-19 pandemic on the Brazilian distribution electricity market based on a socioeconomic regulatory model. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 132, 107172.
- Reis, J.P., Mata, G.F., Maciel, N.V.B.P., Silva, P.F., & Bonatto, B.D. Variation of Residential Electricity Tariff in Brazil. XIV Conferência Brasileira sobre Qualidade de Energia Elétrica; de 29 de agosto a 01 de setembro de 2021; online. SBQEE; “In press”.
- Scianni, L., Costa, V., Bonatto, B., Ribeiro, P., Silva, P., Freire, P., & Maciel, N. V.B.P. Smart Optimization of Power System Operation with Renewables and Energy Storage Systems; XIV Conferência Brasileira sobre Qualidade de Energia Elétrica; de 29 de agosto a 01 de setembro de 2021; online. SBQEE; “In press”.

REFERÊNCIAS

- [1] ANEEL, “Cadernos temáticos” 2014. Acesso em junho de 2021. [Online]. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/cartilhas-e-folders/-/asset_publisher/8lbFLpUileVI/content/cadernos-tematicos-aneel-micro-e-minigeracao-distribui-1/656835?inheritRedirect=false&redirect=https%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Fcartilhas-e-folders%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_8lbFLpUileVI%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-2%26p_p_col_pos%3D3%26p_p_col_count%3D20.
- [2] MPDG, “Painel de Custeio Administrativo” 2020. Acesso em junho de 2021. [Online]. Disponível em: <https://paineldecusteio.planejamento.gov.br/custeio.html>.
- [3] MME, “Relatório: Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica - ProGD” 2020. Acesso em junho de 2021. [Online]. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/20182/6dac9bf7-78c7-ff43-1f03-8a7322476a08>.
- [4] ANDIFES, “Acompanhe a execução orçamentária das universidades federais” 2021. Acesso em junho de 2021. [Online]. Disponível em: <https://www.andifes.org.br/?p=85000>.
- [5] Agência Brasil, “Notícias” 2021. Acesso em junho de 2021. [Online]. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/educacao/noticia/2021-05/governo-libera-r-261-bilhoes-para-universidades-federais>.
- [6] ANDIFES, “Coletiva de Imprensa Remota: corte no orçamento das universidades federais.” 2021. Acesso em junho de 2021. [Online]. Disponível em: <https://www.andifes.org.br/?p=87467>.

-
- [7] ANEEL, “Unidades Consumidoras com Geração Distribuída” 2020. Acesso em junho de 2021. [Online]. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/outorgas/geracao/-/asset_publisher/mJhnKli7qcJG/content/registro-de-central-geradora-de-capacidade-reduzida/655808?inheritRedirect=false&redirect=https%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br.
- [8] UFGD, “Noticias” 2020. Acesso em junho de 2021. [Online]. Disponível em: <https://www.ufgd.edu.br/noticias/ufgd-inaugura-usina-solar-com-economia-ja-na-fase-de-teste>.
- [9] ADUFG, Sindicato “Noticias” 2020. Acesso em junho de 2021. [Online]. Disponível em: <https://www.adufg.org.br/noticias/2-noticias/9043-ufg-comeca-instalacao-de-18-usinas-solares-fotovoltaicas-no-campus-samambaia>.
- [10] UFMS, “Noticias” 2020. Acesso em junho de 2021. [Online]. Disponível em: <https://ppgees.ufms.br/ufpr-inaugura-maior-usina-solar-do-brasil-em-estacionamento/>.
- [11] CICLOVIVO, “Energia” 2020. Acesso em junho de 2021. [Online]. Disponível em: <https://ciclovivo.com.br/planeta/energia/universidade-do-ceara-usinas-energia-solar/>.
- [12] UFLA, “Notícias” 2020. Acesso em junho de 2021. [Online]. Disponível em: <https://ufla.br/noticias/institucional/13706-iniciada-implantacao-da-segunda-fase-da-usina-fotovoltaica-da-ufla>.
- [13] UFJF, “Notícias” 2020. Acesso em junho de 2021. [Online]. Disponível em: <https://www2.ufjf.br/noticias/2020/10/19/ufjf-inicia-instalacao-de-usina-de-eletricidade-solar-fotovoltaica/>.
- [14] Graff, Marcio Ricardo. "Comparativo de custos da alteração do sistema fotovoltaico isolado para sistema fotovoltaico interligado à rede da concessionária-estudo de caso."

-
- [15] Mariano, Juliana D'Angela. Análise do potencial da geração de energia fotovoltaica para redução dos picos de demanda e contribuição energética nas edificações da UTFPR em Curitiba. MS thesis. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.
- [16] Oliveira, Iberê Carneiro de. Análise Econômica da Inserção de Painéis Fotovoltaicos no Campus da UNIFEI - Itajubá com Simulação de Monte Carlo. 2019. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2019..
- [17] Vilas Boas, Andre Dastre. Modelagem para avaliação da viabilidade econômica e gerenciamento de riscos em contratos de construção e locação para geração de energia fotovoltaica distribuída na Unifei – Universidade Federal de Itajubá. 2019. 106 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Administração) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2019.
- [18] da Silva, V. C. O., de Dineque Cassenote, M., Moraes, B. S., Borba, L., & Benetti, A. L. S. D. S. O uso de energia solar fotovoltaica como estratégia sustentável em universidades públicas: estudo de caso na universidade federal de Pampa. Campus SÃO GABRIEL-RS.
- [19] Rodrigues, Fabio Nomachi, et al. "Avaliação da viabilidade de investimento para instalação de um sistema fotovoltaico em residência unifamiliar na cidade de São Paulo-SP." *Journal of Urban Technology and Sustainability* 1.1 (2018): 28-38.
- [20] Moraes, Fabrício, Albemerc Moraes, and Fábio Barbosa. "Technical-economic analysis of the first mini-generation photovoltaic system of Piauí, Brazil." *IEEE Latin America Transactions* 17.10 (2019): 1706-1714.
- [21] Darui, CB F., et al. "Economic analysis of the impact of the installation of PV systems considering power quality aspects." 2017 52nd International Universities Power Engineering Conference (UPEC). IEEE, 2017.
- [22] Mohammadalizadehkorde, Milad, and Russell Weaver. "Quantifying potential savings from sustainable energy projects at a large public university: An

energy efficiency assessment for texas state university." *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 37 (2020): 100570.

- [23] D'Adamo, Idiano, et al. "The case study of a photovoltaic plant located at the university of L'Aquila: An economic analysis." *Journal of Cleaner Production* 278 (2021): 123561.
- [24] Silva, Tatiane C., et al. "Technical and economical evaluation of the photovoltaic system in Brazilian public buildings: A case study for peak and off-peak hours." *Energy* 190 (2020): 116282.
- [25] Olivieri, Lorenzo, et al. "Contribution of photovoltaic distributed generation to the transition towards an emission-free supply to university campus: technical, economic feasibility and carbon emission reduction at the Universidad Politécnica de Madrid." *Renewable Energy* 162 (2020): 1703-1714.
- [26] Ayadi, Osama, Rami Al-Assad, and Jamil Al Asfar. "Techno-economic assessment of a grid connected photovoltaic system for the University of Jordan." *Sustainable cities and society* 39 (2018): 93-98.
- [27] Sierra, Didier, et al. "Life cycle analysis of a building integrated photovoltaic system operating in Bogotá, Colombia." *Energy Reports* 6 (2020): 10-19.
- [28] Riphque, Mohamed Ashfaaq, et al. "Feasibility, Sizing and Economic Analysis of Solar Energy System for Green Swinburne Campus." 2020 13th International UNIMAS Engineering Conference (EnCon). IEEE, 2020.
- [29] Gradella, M., and J. Rafael Gazoli. "Energia Solar Fotovoltaica Conceitos e Aplicações: Sistemas Isolados e Conectados à Rede." (2012): 1-20.
- [30] Portal Solar, "O que é Geração Distribuída - GD". Acesso em junho de 2021. [Online]. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/o-que-e-geracao-distribuida.html>.
- [31] Fernandes, José Eduardo Stort; Silva, Arquimedes Lopes da; Belchior, Fernando Nunes. *Análise de Viabilidade Econômica e Técnica para Implantação de Sistemas Fotovoltaicos em Universidades Consumidoras do*

Tribunal de Justiça do Estado de Goiás. Ceel. Uberlândia, p. 1-6. 07 dez. 2020. Acesso em junho de 2021. Disponível em: https://www.peteletricaufu.com/static/ceel/artigos/artigo_561.pdf.

- [32] Pereira, Naron Xavier. "Desafios e perspectivas da energia solar fotovoltaica no Brasil: geração distribuída vs geração centralizada." (2019).
- [33] Rabelo, Davi. Micro e Minigeração Distribuída – REN 482/2012. 2017. Acesso em junho de 2021. Disponível em: <http://www.gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/IFES/BV/Davi.pdf>.
- [34] Rodrigues, Fabio Nomachi, et al. "Avaliação da viabilidade de investimento para instalação de um sistema fotovoltaico em residência unifamiliar na cidade de São Paulo-SP." *Journal of Urban Technology and Sustainability* 1.1 (2018): 28-38.
- [35] ANEEL, "Resolução normativa nº 482/2012". Acesso em junho de 2021. [Online]. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/documents/656877/18485189/6+Modelo+de+AIR+-+SRD+-+Gera%C3%A7%C3%A3o+Distribuida.pdf/769daa1c-51af-65e8-e4cf-24eba4f965c1#:~:text=1.-,Em%202012%2C%20foi%20publicada%20a%20Resolu%C3%A7%C3%A3o%20Normativa%20%E2%80%93%20REN%20n%C2%BA%20482,utilizada%20nesse%20tipo%20de%20mercado.>
- [36] ANEEL, "Resolução Normativa nº 517/2012." Acesso em junho de 2021. [Online]. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012517.pdf>.
- [37] ANEEL, "Resolução Normativa nº 687/2015." Acesso em junho de 2021. [Online]. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>.
- [38] ANEEL, "Resolução Normativa nº 479/2012." Acesso em junho de 2021. [Online]. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/documents/656877/14486448/ren2012479.pdf/a89312fe-a5d7-4151-96be-95765ea2ce03?version=1.0>.

-
- [39] ANEEL, “Postos Tarifários.” Acesso em junho de 2021. [Online]. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/tarifas-consumidores/-/asset_publisher/zNaRBjCLDgbE/content/alta-tensao/654800?inheritRedirect=false#:~:text=Para%20a%20aplica%C3%A7%C3%A3o%20das%20modalidades,ponta%2C%20intermedi%C3%A1rio%20e%20fora%20ponta.
- [40] ANEEL, “Resolução Normativa nº 414/2010.” Acesso em junho de 2021. [Online]. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf>.
- [41] GRIDSOLAR, “Sistema Isolados (Off-Grid).” Acesso em junho de 2021. [Online]. Disponível em: <http://gridsolaris.com.br/portal/servicos-2/sistema-off-grid/>.
- [42] Solar Energia, “Saiba tudo sobre a Energia Solar.” Acesso em junho de 2021. [Online]. Disponível em: <http://solarenergia.ind.br/energia-solar/>.
- [43] ANEEL, “Geração Distribuída: Planilha de dados SISGD.” Acesso em junho de 2021. [Online]. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiazJmM4NjM0OWYtN2lwZS00YjVlTlIIMjltN2E5MzBkN2ZlMzVklwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOiR9.>
- [44] IBGE, “Número de municípios.” Acesso em junho de 2021. [Online]. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/panorama>.
- [45] ANEEL, “Chamada Nº 013/2011 Projeto Estratégico: “Arranjos Técnicos e Comerciais para Inserção de Geração Solar Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira.” Acesso em junho de 2021. [Online]. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/PeD_2011-ChamadaPE13-2011.pdf.
- [46] ABSOLAR, “Energia Solar Fotovoltaica no Brasil: Infográfico ABSOLAR.” Acesso em junho de 2021. [Online]. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>.
- [47] Câmara dos Deputados, “O que é PRODEEM ?” Acesso em junho de 2021. [Online]. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/noticias/57317-o-que-e->

prodeem/#:~:text=O%20Programa%20de%20Desenvolvimento%20Energ%C3%A9tica,energia%20de%20fontes%20renov%C3%A1veis%20locais.

- [48] Borges Neto, Manuel Rangel; Carvalho, Paulo Cesar Marques de. Energia solar fotovoltaica no semi-árido: estudo de caso sobre a atuação do PRODEEM em Petrolina-PE. Proceedings of the 6. Encontro de Energia no Meio Rural, 2006.
- [49] Enova Solar, “Legislação e Modelos de Geração Fotovoltaica: Visão geral sobre as leis e resoluções que regem o mercado de energia solar no Brasil.” Acesso em junho de 2021. [Online]. Disponível em: https://www.google.com/search?q=resolu%C3%A7%C3%A3o+normativa+481%2F2012+aneel+pdf&sxsrf=ALeKk01neFvkbCh1NvrgQ_MZFWfn4YFzHA%3A1616595163172&ei=20hbYL6ACozF5OUPvNKy4Ac&oq=resolu%C3%A7%C3%A3o+normativa+481%2F2012+aneel+pdf&gs_lcp=Cgdnd3Mtd2l6EAM6BwgjELADECC6CAghEBYQHRAeOgUIIRCgAVCRGViLIGDgIWgBcAB4AIAB_wGIAd8GkgEFMC4zLjKYAQCgAQGqAQdnd3Mtd2l6yAEBwAEB&scient=gws-wiz&ved=0ahUKEwj-2cijjsnvAhWMIrkGHTypDHwQ4dUDCA0&uact=5.
- [50] CONFAZ, “Convênios ICMS.” Acesso em junho de 2021. [Online]. Disponível em: <https://www.confaz.fazenda.gov.br/legislacao/convenios>.
- [51] ANEEL, “REIDI Regime Especial de Incentivo para o Desenvolvimento da Infraestrutura – Transmissão.” Acesso em junho de 2021. [Online]. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas/-/asset_publisher/CegkWaVJWF5E/content/reidi-regime-especial-de-incentivos-para-o-desenvolvimento-da-infraestrutura/655812?inheritRedirect=false.
- [52] Ministério da Economia, “Governo Federal conclui regulação do PADIS e do PATVD.” Acesso em junho de 2021. [Online]. Disponível em: <https://www.gov.br/fazenda/pt-br/assuntos/noticias/2008/maio/r080508c>.

-
- [53] Pereira, Reuler Cardoso. "Políticas públicas para expansão da energia solar fotovoltaica: um estudo dos principais programas de incentivo da tecnologia no Brasil." (2019).
- [54] Pasqual, Joan, Emilio Padilla, and Evans Jadotte. "Equivalence of different profitability criteria with the net present value." *International Journal of Production Economics* 142.1 (2013): 205-210.
- [55] Neto, Alexandre Assaf, Fabiano Guasti Lima, and Adriana Maria Procópio de Araújo. "Uma proposta metodológica para o cálculo do custo de capital no Brasil." *Revista de Administração-RAUSP* 43.1 (2008): 72-83.
- [56] A. Maria and P. De Araújo, "Uma proposta metodológica para o cálculo do custo de capital no Brasil Alexandre Assaf Neto Fabiano Guasti Lima Adriana Maria Procópio de Araújo," pp. 1–27, 2008.
- [57] Vannucci, Luiz Roberto. *Matemática financeira e engenharia econômica princípios e aplicações*. Editora Blucher, 2014.
- [58] de Souza Júnior, Alberto Jorge, et al. "Energia solar em organizações militares: uma análise da viabilidade econômico-financeira." *Navus: Revista de Gestão e Tecnologia* 9.1 (2019): 63-73.
- [59] Spellmeier, Robson. *Análise da viabilidade econômico-financeira da implantação de um lar de idosos na cidade de Roca Sales, considerando o risco associado ao retorno esperado*. BS thesis. 2019.
- [60] Vilani, Leonir. *Proposta de um framework para análise de viabilidade econômica de projetos de investimentos agropecuários*. MS thesis. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2020.
- [61] Tôrres, Oswaldo Fadigas Fontes. *Fundamentos da engenharia econômica e da análise econômica de projetos*. Thomson Learning, 2006.
- [62] Oliveira, Túlio André Pereira de. "Metodologia para análise de risco de investimento em fontes de geração heliotérmica do tipo torre solar no mercado regulado brasileiro." (2020).

-
- [63] Schram, Igor Bertolino. "Sensibilidade do custo da energia elétrica fotovoltaica no Brasil utilizando o método de Monte Carlo." (2019).
- [64] Kipnis, Claude, and SR Srinivasa Varadhan. "Central limit theorem for additive functionals of reversible Markov processes and applications to simple exclusions." *Communications in Mathematical Physics* 104.1 (1986): 1-19.
- [65] de Vieira, Fernando Souza, and Dirceu Grasel. "Os Incentivos fiscais e suas contribuições para o desenvolvimento econômico: o caso do Programa de Desenvolvimento Industrial e Comercial de Mato Grosso (Prodeic) de 2003 a 2014." *Planejamento e Políticas Públicas* 51 (2018).
- [66] Hochheim, Gustavo Andreas. "Análise da variabilidade dos resultados na avaliação de terrenos usando o método involutivo com simulação de Monte Carlo." (2017).
- [67] Bertrand, J. Will M., and Jan C. Fransoo. "Operations management research methodologies using quantitative modeling." *International Journal of Operations & Production Management* (2002).
- [68] Fonseca, Marcelo Nunes. *Análise do impacto das incertezas na tomada de decisão: Uma abordagem por opções reais na avaliação do desenvolvimento de um Campo de Petróleo em diferentes regimes contratuais*. 2015. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2015.
- [69] Appolinário, Fábio. *Metodologia científica*. São Paulo: Cengage Learning, 2016.
- [70] Santos, João Almeida, and Domingos Parra Filho. "Metodologia científica." (2012).
- [71] Mitroff, I. I., Betz, F., Pondy, L. R., & Sagasti, F. (1974). On managing science in the systems age: two schemas for the study of science as a whole systems phenomenon. *Interfaces*, 4(3), 46-58.

-
- [72] Valério, Victor Eduardo de Mello. Análise Envoltória de Dados e Índice Malmquist em Estruturas de Rede: Um Modelo Tobit Truncado Aplicado aos Condicionantes da Eficiência Bancária Brasileira. 2015. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2015.
- [73] Miranda, R. (2012). Algoritmo genético adaptativo para otimização de modelos de simulação a eventos discreto. 2012. 149 p (Doctoral dissertation, Dissertação (Mestrado)-Engenharia de Produção. Universidade Federal de Itajubá, Itajubá).
- [74] GLOBAL SOLAR ATLAS. Acesso em junho de 2021. [Online]. Disponível em: <https://globalsolaratlas.info/map?c=11.609193,8.613281,3&s=-12.382928,-52.734375&m=site>.
- [75] CEEE, “Tabela de Tarifas – Grupo A.” Acesso em junho de 2021. [Online]. Disponível em: https://www.ceeel.com.br/a-ceeel/distribuicao-arquivos/folder-grupo-a_2020.pdf.
- [76] GREENER, “Estudo Estratégico: Mercado Fotovoltaico de Geração Distribuída.” 2020. Acesso em junho de 2021. [Online]. Disponível em: <https://www.greener.com.br/estudo/estudo-estrategico-mercado-fotovoltaico-de-geracao-distribuida-2-semester-de-2020/>.
- [77] ANEEL, “Resultado dos Processos Tarifários de Distribuição.” Acesso em junho de 2021. [Online]. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/resultado-dos-processos-tarifarios-de-distribuicao>.