

**UNIVERSIDADE EVANGÉLICA DE GOIÁS – UniEVANGÉLICA
PRÓ REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO, PESQUISA, EXTENSÃO E
AÇÃO COMUNITÁRIA (PROPPE)
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SOCIEDADE, TECNOLOGIA
E MEIO AMBIENTE (PPGSTMA)**

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE: ANÁLISE DE
INDICADORES DE GERAÇÃO, QUALIDADE DE ENERGIA E
GESTÃO AMBIENTAL DA USINA FOTOVOLTAICA DA
UNIEVANGÉLICA EM ANÁPOLIS, GOIÁS (2020-2023)**

MÁRCIO JOSÉ DIAS

**ANÁPOLIS - GO
2024**

MÁRCIO JOSÉ DIAS

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE: ANÁLISE
DE INDICADORES DE GERAÇÃO, QUALIDADE DE ENERGIA E
GESTÃO AMBIENTAL DA USINA FOTOVOLTAICA DA
UNIEVANGÉLICA EM ANÁPOLIS, GOIÁS (2020-2023)**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente da Universidade
Evangélica de Goiás - PPGSTMA objetivando obtenção
do título de doutor em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Sandro Dutra e Silva.

Co-orientador: Prof. Dr. Davi Bernhard de Souza

ANÁPOLIS - GO

2024

D541

Dias, Márcio José.

Eficiência energética e sustentabilidade: análise de indicadores de geração, qualidade de energia, e gestão ambiental da usina fotovoltaica da UniEvangélica em Anápolis, Goiás (2020 - 2023) / Márcio José Dias - Anápolis: Universidade Evangélica de Goiás – UniEvangélica, 2024.

191p.; il.

Orientadora: Prof. Dr. Sandro Dutra e Silva.

Coorientadora: Prof. Dr. Davi Bernhard de Souza.

Tese (doutorado) – Programa de pós-graduação *stricto sensu*

Doutorado em Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente –

Universidade Evangélica de Goiás - UniEvangélica, 2024.

1. Governança	2. Sustentabilidade	3. Energias renováveis
4. Eficiência energética		5. Benefícios e impactos ambientais
I. Silva, Sando Dutra e	II. Souza, Davi Bernhard de	III. Título

CDU 504

Catálogo na Fonte

Elaborado por Rosilene Monteiro da Silva CRB1/3038



FOLHA DE APROVAÇÃO

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE: ANÁLISE DE INDICADORES DE GERAÇÃO, QUALIDADE DE ENERGIA E GESTÃO AMBIENTAL DA USINA FOTOVOLTAICA DA UNIEVANGÉLICA EM ANÁPOLIS, GOIÁS (2019-2023)

Márcio José Dias

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente/ PPG STMA da Universidade Evangélica de Goiás/ UniEVANGÉLICA como requisito parcial à obtenção do grau de **DOUTOR**.

Aprovado em 19 de agosto de 2024.

Linha de pesquisa: Biodiversidade e Desenvolvimento Sustentável.

Documento assinado digitalmente
SANDRO DUTRA E SILVA
Data: 19/08/2024 17:29:31 -0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Sandro Dutra e Silva
Presidente/Orientador (UniEVANGÉLICA)

Documento assinado digitalmente
DAVI BERNHARD DE SOUZA
Data: 21/08/2024 07:36:36 -0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Davi Bernhard de Souza
Coorientador (UniEVANGÉLICA)

Documento assinado digitalmente
IRANSE OLIVEIRA SILVA
Data: 21/08/2024 10:36:22 -0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Iransé de Oliveria Silva
Examinador Interno (UniEVANGÉLICA)

Documento assinado digitalmente
JOÃO MAURÍCIO FERNANDES SOUZA
Data: 21/08/2024 10:00:12 -0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. João Maurício Mauricio Fernandes de Souza
Examinador Interno (UniEVANGÉLICA)

Documento assinado digitalmente
MARAJÁ JOÃO ALVES DE MENDONÇA FILHO
Data: 19/08/2024 19:29:35 -0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Marajá João Alves de Mendonça Filho
Examinador Externo (UEG)

Documento assinado digitalmente
MAISA FRANÇA TEIXEIRA
Data: 21/08/2024 08:55:43 -0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Profa. Dra. Maisa França Teixeira
Examinador Externo (FACEG)

Texto de reflexão

Clame a mim no dia da angústia;

eu o livrarei, e você me honrará

(Sl 50.15)

*— Deus Santo, Deus Forte, Deus Imortal, tende
piedade de nós e do mundo inteiro.*

...Pela sua dolorosa paixão

Tende misericórdia de nós e do mundo inteiro.

Dedicatória

À minha querida família, que sempre esteve ao meu lado e me apoiou incondicionalmente ao longo desta jornada. Aos meus pais, por seu amor, sabedoria e pelos valores que me ensinaram. Aos meus sogros, por sua generosidade e encorajamento constantes. Aos meus irmãos e cunhados, pela amizade e suporte inestimáveis.

Em especial, à minha esposa, Soni, cuja paciência, amor e compreensão foram fundamentais para a realização deste trabalho. E às minhas filhas, Ana Laura e Maria Luiza, cujos sorrisos e alegria de viver me motivam todos os dias a seguir em frente e a buscar sempre o melhor.

Esta conquista é tão nossa quanto minha.

AGRADECIMENTOS

A Deus,

...incomparável e inconfundível em sua infinita bondade, que compreendeu meus anseios e me deu a coragem necessária para alcançar meu objetivo. À Virgem Santíssima Nossa Senhora Aparecida, constante intercessora de Deus em minhas súplicas.

A Nossa Senhora de Aparecida,

....obrigado, Nossa Senhora Aparecida, por sua intercessão e por cada vez que a Senhora esteve à frente, ajudando-me a contornar os obstáculos que encontrei durante essa longa e exaustiva caminhada. Sua presença foi fundamental, e sou imensamente grato por sua proteção e auxílio em cada passo dessa jornada.

Aos meus pais,

...de quem recebi o dom mais precioso do universo: a vida. Agradeço por me tornarem uma pessoa responsável. Divido com vocês os méritos desta conquista, pois ela lhes pertence tanto quanto a mim. Procuro palavras que expressem o que desejo que seus corações ouçam do meu, e apenas uma é simples e sincera: Obrigado!

À minha esposa, Sonimar,

...por ser tão especial. Não encontro palavras para expressar o carinho, a gratidão e o amor que sinto por você. Muito obrigado, com a mais verdadeira expressão de quem sabe que chegar até aqui teria sido muito mais difícil sem o seu apoio.

Às instituições UniEVANGÉLICA, FAPEG e SENAI,

À Universidade Evangélica de Goiás – UniEVANGÉLICA, e ao Programa de Pós-Graduação em Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente da Universidade Evangélica de Goiás - PPGSTMA.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás - FAPEG, pela concessão da bolsa de doutorado.

À Faculdade de Tecnologia SENAI Roberto Mange, pela cordialidade no empréstimo do Analisador de Energia utilizado neste trabalho.

Aos meus orientadores, Prof. Dr. Sandro Dutra e Prof. Dr. Davi Bernhard,

...que, no exercício de sua profissão, não se limitaram a apenas ensinar. Vocês são extremamente capacitados e conhecedores de sua função e, com confiança e autodeterminação, transmitiram seus conhecimentos para que eu encontrasse a direção deste trabalho. Muito obrigado!

RESUMO

A energia elétrica, gerada de fontes não renováveis e renováveis, é essencial para o desenvolvimento moderno. Entre as fontes renováveis, a energia fotovoltaica se destaca por converter luz solar em eletricidade de forma limpa e sustentável, sendo crucial para a segurança do fornecimento. A qualidade dessa energia depende de variáveis elétricas que garantem a operação correta dos dispositivos conectados à rede. A implantação de usinas fotovoltaicas (UF) deve considerar fatores técnicos, econômicos, ambientais e sociais. Assim, as UFs nas Instituições de Ensino Superior trazem autonomia à governança universitária, essenciais para a sustentabilidade dessas iniciativas, impulsionadas por rankings de impacto científico, social e ambiental. Esta pesquisa tem como objetivo avaliar a eficiência energética e a sustentabilidade da usina, analisando os indicadores de geração e qualidade da energia, assim como as práticas de gestão ambiental. Além disso, busca correlacionar esses aspectos com os impactos ambientais positivos decorrentes da produção de energia elétrica limpa, renovável e sustentável. As pesquisas teóricas foram conduzidas no Laboratório de Informática do PPG STMA da UniEVANGÉLICA, enquanto as pesquisas práticas foram realizadas no LEEFoto da UniEVANGÉLICA, localizado no estacionamento solar. O presente estudo está dividido em cinco seções, sendo que as quatro primeiras têm o propósito de responder a cada um dos objetivos desta pesquisa, e a última, apresentar as conclusões dos estudos. Após 72 anos de sua fundação, a AEE, por meio de sua mantida – UniEVANGÉLICA, deu um passo significativo na busca de sua sustentabilidade financeira, energética e ambiental. A implantação da UF-Uni possibilitou a consolidação de sua política, visão e valores institucionais. No entanto, os resultados das pesquisas sobre os propósitos gerais globais se resumem em indicadores financeiros e de performance, enquanto os ambientais ficam em segundo plano, enfatizando a predominância do lucro. A aplicação de ferramentas estatísticas, por meio de séries temporais, demonstrou a eficácia no monitoramento e projeção da geração de energia, reforçando a importância da governança universitária e o uso de inteligência artificial para otimização. A energia gerada pela UF-Uni está adequada aos padrões brasileiros exigidos pelos procedimentos da ANEEL, embora a produtividade esteja abaixo do projetado. Portanto, sugere-se a necessidade de manutenção regular e adoção de tecnologias avançadas para assegurar eficiência energética. O resultado deste trabalho é a proposta de um projeto institucional focado no alinhamento da Responsabilidade Institucional aos ODS da Agenda 2030. Assim, este estudo está alinhado com os princípios de ESG e as diretrizes da ONU. Logo, os resultados deste estudo podem ser utilizados para relatar, de forma sintetizada, o avanço histórico da Instituição na busca pela questão energética, bem como o uso de ferramentas estatísticas para melhor gerir a geração de energia elétrica de sua usina fotovoltaica, permitindo até mesmo prever gerações futuras com maior precisão. Além disso, outras usinas fotovoltaicas vinculadas a Instituições de Ensino Superior (IES) ou empresas podem utilizar este modelo de gestão como referência para desenvolver e implementar práticas sustentáveis e eficientes em suas próprias operações, promovendo a sustentabilidade e a eficiência energética em diversos contextos.

Palavras-Chave: Governança; Sustentabilidade; Energias renováveis, Eficiência energética; benefícios e impactos ambientais.

ABSTRACT

Electric energy, generated from non-renewable and renewable sources, is essential for modern development. Among renewable sources, photovoltaic energy stands out for converting sunlight into electricity in a clean and sustainable manner, being crucial for supply security. The quality of this energy depends on electrical variables that ensure the correct operation of devices connected to the grid. The implementation of photovoltaic plants (PP) must consider technical, economic, environmental, and social factors. Thus, PPs in Higher Education Institutions (HEIs) bring autonomy to university governance, essential for the sustainability of these initiatives, driven by rankings of scientific, social, and environmental impact. This research aims to evaluate the energy efficiency and sustainability of the plant, analyzing the indicators of energy generation and quality, as well as environmental management practices. Additionally, it seeks to correlate these aspects with the positive environmental impacts resulting from the production of clean, renewable, and sustainable electric energy. The theoretical research was conducted at the PPG STMA Computer Laboratory of UniEVANGÉLICA, while practical research was carried out at the LEEFoto of UniEVANGÉLICA, located in the solar parking lot. The present study is divided into five sections, with the first four aiming to address each of the research objectives and the last one to present the study conclusions. After 72 years of its foundation, AEE, through its maintained institution - UniEVANGÉLICA, took a significant step in the pursuit of its financial, energy, and environmental sustainability. The implementation of UF-Uni enabled the consolidation of its institutional policy, vision, and values. However, the research results on global general purposes are summarized in financial and performance indicators, while environmental ones are secondary, emphasizing the predominance of profit. The application of statistical tools, through time series, demonstrated effectiveness in monitoring and projecting energy generation, reinforcing the importance of university governance and the use of artificial intelligence for optimization. The energy generated by UF-Uni meets Brazilian standards required by ANEEL procedures, although productivity is below the projected. Therefore, regular maintenance and the adoption of advanced technologies are suggested to ensure energy efficiency. The result of this work is the proposal of an institutional project focused on aligning Institutional Responsibility with the SDGs of the 2030 Agenda. Thus, this study is aligned with ESG principles and UN guidelines. Therefore, the results of this study can be used to report, in a synthesized manner, the historical progress of the Institution in the pursuit of energy issues, as well as the use of statistical tools to better manage the electric energy generation of its photovoltaic plant, allowing even to predict future generations with greater accuracy. Additionally, other photovoltaic plants linked to Higher Education Institutions (HEIs) or companies can use this management model as a reference to develop and implement sustainable and efficient practices in their own operations, promoting sustainability and energy efficiency in various contexts.

Keywords: Governance; Sustainability; Renewable energy; Energy efficiency; Environmental benefits and impacts.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Vista aérea da UniEVANGÉLICA	21
Figura 1.2 – Proposta inicial para instalação dos painéis solares nos prédios da UniEVANGÉLICA.....	25
Figura 1.3 - Levantamento estacionamento para construção da UF-Uni.....	26
Figura 1.4 - Alunos acompanhando a construção da UF-Uni	28
Figura 1.5 - Índice de irradiação solar no Brasil	31
Figura 1.6 - Inauguração da Usina Fotovoltaica da UniEVANGÉLICA.....	32
Figura 1.7- Vista do estacionamento solar da UniEVANGÉLICA.....	33
Figura 1.8 - Inauguração do LEEFoto	35
Figura 1.9 - Visitação da UF-Uni pelos alunos do Colégio Couto Magalhães.....	35
Figura 2.1 - Composição das matrizes elétrica mundial e brasileira	50
Figura 2.2 - Estratificação das palavras-chave.....	58
Figura 2.3 - Levantamento e estratificação das publicações	59
Figura 3.1 - Usina Fotovoltaica da UniEVANGÉLICA	70
Figura 3.2 - Representação da decomposição da Série Temporal (Série Temporal, Tendência, Sazonalidade e Resíduos).	73
Figura 3.3 - Suavização da média móvel - Série Temporal.....	74
Figura 3.4 - Normal QQ Plot - Série Temporal	75
Figura 3.5 - Histograma: Indicadores de geração de energia x Densidade.....	76
Figura 3.6 - Quantidade de lags na autocorrelação.....	77
Figura 3.7 - Previsão da Série Temporal de gerações futuras de energia elétrica.....	77
Figura 4.1 - Composição das Matrizes Elétricas Mundial e Brasileira.....	87
Figura 4.2 - Usina Fotovoltaica da UniEVANGÉLICA	89
Figura 4.3 - Esquemas das ligações do Analisador de Energia dentro do Circuito da usina em estudos.....	95
Figura 4.4 - Representação da decomposição da Série Temporal	97
Figura 4.5 - Comportamento das Tensões Eficazes (VRMS)	100
Figura 4.6 - Variações da Potência Ativa e Reativa.	102
Figura 4.7 - Comportamento das Distorções Harmônicas.....	103

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1.1 - Composição da propriedade e área construída da UniEVANGÉLICA ...	22
Tabela 1.2 - Indicadores da geração de energia elétrica da UF-Uni em MWh	34
Tabela 2.1 - Estratificação da seleção dos estudos científicos relacionados às	56
Tabela 3.1 - Indicadores de geração de energia elétrica em MWh.....	71
Tabela 3.2 - Estatística descritiva dos indicadores de geração.....	72
Tabela 3.3 - Série Temporal (formato de tabela originário de data frame)	73
Tabela 3.4 - Indicadores da projeção futura da geração de energia elétrica em números.....	78
Tabela 3.5 - Indicadores da projeção futura da geração de energia elétrica e seus benefícios ambientais.	79
Tabela 4.1 - Pontos de conexão em Tensão Nominal igual ou inferior a 1 kV (220/110)	91
Tabela 4.2 - Classificação das Variações de Tensão de Curta Duração	92
Tabela 4.3 - Resumo descritivo das principais variáveis em estudos.	99
Quadro 1.1 - Cronograma de execução e implementação do projeto	26

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AEE	Associação Educativa Evangélica
AMT	Afundamento Momentânea de Tensão
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ATT	Afundamento Temporário de Tensão
CELG	Centrais Elétricas de Goiás
CELG D	Centrais Elétricas de Goiás - Distribuição S.A
DITh	Distorção Harmônica Individual de Tensão de ordem h
DPF	Deslocamento do Fator de Potência
DTT	Distorção Harmônica Total
EAD	Educação a Distância
EMT	Elevação Momentânea de Tensão
ENEL	<i>Ente Nazionale per l'Energia Elettrica</i> - Entidade Nacional de Energia Elétrica
Energy	Energia gerada.
ESG	Políticas de investimento que promovem os princípios de Meio Ambiente, Social e Governança
ETT	Elevação Temporária de Tensão
FACER	Faculdade Evangélica de Rubiataba
FADA	Faculdade de Direito de Anápolis
FAEE	Faculdades Integradas da AEE
FAPEG	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás
FD	Fator de Desequilíbrio
FFBS	Faculdade de Filosofia Bernardo Sayão
FP	fator de potência
GC	Geração Centralizada
GD	Geração Distribuída
IES	Instituição de Ensino Superior
IMT	Interrupção Momentânea de Tensão
IRMS	Valor Eficaz da Corrente
ITHD	Distorção Harmônica Total de Corrente
kV	Quilovolt
kW	Quilowatt

kWh	Quilowatt-hora
kWp	Quilowatt-pico
L1, L2, L3	Fases do sistema elétrico trifásico
LED	<i>Light Emitting Diode</i> - Diodo Emissor de Luz.
LEEFoto	Laboratório de Eficiência Energética Fotovoltaica
m ²	Metro quadrado
MT/BT	Transformador de Média/Baixa Tensão
MWh	Megawatt-hora
NIT	Núcleo de Inovação Tecnológica
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
P	Potência Ativa
PDEE	Plano Decenal de Expansão de Energia
PDGDF	Programa de Desenvolvimento de Geração Distribuída
PDI	Plano de Desenvolvimento Institucional
PEE	Projeto de Eficiência Energética
PIB	Produto Interno Bruto
PPGSTMA	Programa de Pós-Graduação em Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente
PROPPE	Pró-Reitoria de Pós-Graduação, Pesquisa, Extensão e Ação
Q	Potência Reativa
QEE	Qualidade de Energia Elétrica
QGBT	Quadro Geral de Baixa Tensão
QGBTF	Quadro Geral de Baixa Tensão Fotovoltaico
RCB	Relação Custo-Benefício
SCEE	Sistema de Compensação de Energia Elétrica
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
TL	Tensão de Linha
TPF	Fator de Potência Total
UF	Usina Fotovoltaica
UF-Uni	Usina Fotovoltaica da UniEVANGÉLICA
UniEVANGÉLICA	Universidade Evangélica de Goiás

V1	Tensão Fundamental Medida
Vh	Tensão Harmônica de Ordem h
VMT	Varição Momentânea de Tensão
VRMS	Tensões Eficazes das Fases
VTHD	Distorção Harmônica Total de Tensão
%	Porcentagem
- <i>Ve</i>	Sequência negativa
+ <i>Ve</i>	Sequência positiva

SUMÁRIO

1	EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA QUESTÃO ENERGÉTICA AEE	19
1.1	Breve histórico da criação da UniEVANGÉLICA.....	19
1.1.1	O complexo Universitário da UniEVANGÉLICA e a busca da sustentabilidade energética.....	20
1.1.2	Projeto e a construção da UF-Uni.....	24
1.1.3	Integração Acadêmica	27
1.1.4	Dados técnicos do Projeto	29
1.1.5	A inauguração e os primeiros indicadores de geração da UF-Uni.....	32
1.1.6	Alinhamento da pesquisa com as políticas institucionais e do PPGSTMA.	36
1.2	Questões que norteiam essa pesquisa	38
1.3	Objetivo.....	39
1.3.1	Objetivo geral.....	39
1.3.2	Objetivos específicos	39
1.4	Justificativas.....	40
1.5	Metodologia da pesquisa	41
1.5.1	Características gerais	41
1.5.2	Pesquisas Teóricas	41
1.5.3	Pesquisas Práticas	42
1.5.4	Levantamento de dados	42
1.5.5	Estudos estatísticos e predição da geração futura da UF-Uni	42
1.6	Metodologia da escrita da tese	43
2	CAPÍTULO I	46
2.1	RESUMO:	46
2.2	ABSTRACT:.....	46
2.3	INTRODUÇÃO.....	47
2.4	REFERENCIAL TEÓRICO.....	49
2.4.1	Conceitos de Energia.....	49
2.4.2	Composição das matrizes elétricas mundial e brasileira	50
2.4.3	Importância e impactos das usinas hidrelétricas e eólicas	50
2.4.4	Geração de energia solar - fotovoltaica	52
2.5	MATERIAIS E MÉTODOS	54
2.5.1	Seleção de Artigos.....	54
2.5.2	CrITÉRIOS de Inclusão e Exclusão.....	54

2.5.3	Processo de Triagem e Seleção.....	54
2.5.4	Análise de Dados.....	55
2.5.5	Avaliação da Qualidade dos Estudos	55
2.5.6	Ferramentas e Softwares.....	55
2.6	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	55
2.6.1	Seleção dos trabalhos	55
2.6.2	Consequências e benefícios ambientais para o desenvolvimento das UFs ...	56
2.6.3	Performance de Geração das UFs	57
2.6.4	Falta de correção com os estudos.....	57
2.6.5	Principais palavras-chaves	58
2.6.6	Quantidade de publicações por país	59
2.6.7	Lacuna de publicações no ano de 2022	60
2.7	CONCLUSÃO	60
2.8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61
3	CAPÍTULO II	65
3.1	RESUMO	65
3.2	ABSTRACT.....	66
3.3	INTRODUÇÃO.....	66
3.4	REVISÃO DA LITERATURA.....	68
3.4.1	Estatística descritiva	68
3.4.2	Estatística Exploratória	69
3.4.3	Análise Exploratória de Dados.....	69
3.4.4	Aplicações Práticas	69
3.4.5	Integração com Tecnologia Avançada.....	70
3.5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	70
3.5.1	Software de gerenciamento dos indicadores de geração	70
3.5.2	Pesquisa Bibliográfica.....	71
3.5.3	Análise dos dados.....	71
3.6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	71
3.7	CONCLUSÕES.....	80
3.8	REFERÊNCIAS	80
4	CAPÍTULO III	83
4.1	RESUMO	83
4.2	ABSTRACT	83

4.3 INTRODUÇÃO.....	84
4.4 REVISÃO DA LITERATURA.....	86
4.4.1 Conceitos de energia.....	86
4.4.2 Diversificação da Matriz Energética e o Avanço da Energia Fotovoltaica em Goiás e no Brasil.....	86
4.4.3 Geração de Energia Elétrica pelo Processo Fotovoltaico: A distinção da Usina Fotovoltaica da UniEVANGÉLICA em alinhar lucratividade com missão educacional e sustentabilidade.....	88
4.4.4 Qualidade de Energia em Sistemas Elétricos.....	90
4.4.5 Variação e Desequilíbrio de tensão.....	91
4.4.6 Fator de Potência.....	93
4.4.7 Distúrbios harmônicos.....	93
4.5 METODOLOGIA.....	94
4.6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	96
4.6.1 ...Análise sintetizada dos Indicadores de Geração da UF-Uni entre 2020 a 2023.....	96
4.6.2 Estudo da Performance e Qualidade da Energia Elétrica Gerada pela Usina Fotovoltaica da Universidade Evangélica de Goiás (UniEVANGÉLICA).....	98
4.7 CONCLUSÃO.....	104
4.8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	105
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	110
6 REFERÊNCIAS.....	113
Referências bibliográficas estruturais da Tese: Seção I - Abordagem Introdutória; Seção V - Compêndio Conclusivo.....	113
7 Anexos.....	118
7.1 Levantamento do Layout do Estacionamento para a Construção da UF-Uni ...	118
7.2 Esquema para a Disposição das Strings na UF-Uni.....	119
7.3 Projeto Elétrico.....	120
7.4 Localização dos Pontos para Realização da sondagem do Solo.....	121
7.5 Projeto de Fundação das Bases dos Blocos.....	122
7.6 Projeto de Fundação da Base do Trafo.....	123
7.7 Layout do Sistema Elétrico.....	124
7.8 Diagrama Unifilar do Sistema Corrente Contínua (CC).....	125
7.9 Lançamento dos Cabos com Tabela – Serial Number.....	126

7.10	Sistema de Fixação dos Inversores	127
7.11	Projeto da Estrutura Metálica.....	128
7.12	Projeto Executivo da Estrutura Metálica	129
7.13	Layout da disposição dos Painéis Fotovoltaicos.....	130
7.14	String Box	131
7.15	Caixa de passagem – Entrada do Inversor.....	132
7.16	Trafo	133
8	Apêndices	134
8.1	Cópia original do artigo - Estudos sobre os motivos das implantações das usinas solares no mundo, submetido à Revista FRONTEIRAS: Journal of Social, Technological and Environmental Science.....	135
8.2	Cópia original do artigo - Estudos estatísticos dos indicadores e previsões futuras de geração da UF-Uni, submetido à Revista Brasileira de Ciências Ambientais - Brazilian Journal of Environmental Sciences (RBCIAMB).....	152
8.3	Cópia original do artigo - Análise da qualidade da energia gerada pela UF-Uni, submetido à Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade – Journal of Environmental Management & Sustainability (GeAS).....	169

1 EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA QUESTÃO ENERGÉTICA AEE

1.1 Breve histórico da criação da UniEVANGÉLICA

A Associação Educativa Evangélica (AEE) foi fundada em 31 de março de 1947 por Antônio de Oliveira Brasil, Archibald Tipple, Arthur Wesley Archibald, Dayse Fanstone, James Fanstone, Newton Wiederhecker, Nicola Aversari, Severino Araújo e William Benister Forsyth, missionários e líderes evangélicos, sob a liderança do Reverendo Arthur Wesley Archibald. Criada para estabelecer e manter escolas em níveis variados, tanto rurais quanto urbanos, a AEE se consolidou como uma instituição confessional cristã evangélica de caráter interdenominacional, adotando as Escrituras Sagradas como sua única regra de fé e prática. A associação destacou-se pela fundação de instituições educacionais em várias cidades goianas, como o Colégio Couto Magalhães em Anápolis e o Colégio Álvaro de Melo em Ceres, além de outras instituições como o Educandário Nilza Risso e a Escola Luiz Fernandes Braga Júnior em Cristianópolis, que foram posteriormente desativadas (FERREIRA SOBRINHO, 1997, 2004; UNIEVANGÉLICA, 2023).

A evolução da AEE para Instituição de Ensino Superior (IES) trouxe a criação da Faculdade de Filosofia Bernardo Sayão (FFBS) nos anos 1960, oferecendo cursos como Letras, História, Geografia e Pedagogia. Posteriormente, foram estabelecidas a Faculdade de Direito de Anápolis (FADA) em 1969 e a Faculdade de Odontologia João Prudente em 1971. Em 1993, ocorreu a unificação das faculdades isoladas, formando as Faculdades Integradas da AEE (FAEE).

Em 2004, a instituição alcançou o *status* de Centro Universitário de Anápolis, impulsionando um crescimento tanto na oferta presencial quanto na Educação a Distância (EAD), iniciada em 2008. Com a transição para Centro Universitário, houve uma ampliação e fortalecimento do Tripé da Educação: Ensino, Pesquisa e Extensão. Destacaram-se avanços na pesquisa e extensão, complementando a qualidade do ensino já consolidada. Surgiram grupos de pesquisa, comitês de ética, núcleos de inovação e tecnologia, e esforços para internacionalização do conhecimento (FERREIRA SOBRINHO, 1997, 2004).

Logo, o Tripé da Educação — Ensino, Pesquisa e Extensão — está fundamentado no Artigo 207 da Constituição Federal Brasileira, que estabelece o princípio da indissociabilidade entre essas atividades nas universidades (BRASIL, 1988). Este princípio garante que a educação superior no Brasil não se limita à sala de aula, mas integra atividades de pesquisa e extensão que promovem a aplicação

do conhecimento acadêmico em benefício da sociedade. Assim, o fortalecimento desse tripé na AEE resultou em avanços significativos, refletindo o compromisso institucional com uma educação integral e socialmente responsável (UNIEVANGÉLICA, 2023).

Ainda, sob a chancela de Centro Universitário, em 2006 a IES criou o Programa de Pós-Graduação em Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente (PPGSTMA), marcando o início da formação de profissionais *stricto sensu* – Mestres em Ciências Ambientais (PPGSTMA, 2024). Em 2008, como Centro Universitário, lançou o Curso de Medicina, um marco para os gestores institucionais e a comunidade local. Em 2017, iniciou a oferta de cursos de doutorado e mestrado acadêmico em diversas áreas do conhecimento (PPGS, 2024).

Em 2021, após 74 anos desde sua fundação, o Centro Universitário de Anápolis tornou-se a Universidade Evangélica de Goiás – UniEVANGÉLICA, sendo consolidada a maior mantida pela AEE. Atualmente, a IES oferece mais de 35 cursos de graduação em diversas áreas do conhecimento, bem como 2 Doutorados (Ciências Ambientais e Movimento Humano e Reabilitação) e 4 Mestrados (Ciências Ambientais, Movimento Humano e Reabilitação, Ciências Farmacêuticas e Odontologia). A IES também oferece diversos cursos de pós-graduação *lato sensu*, sempre alinhados com as demandas regionais atualizadas (UNIEVANGÉLICA, 2023).

Sob a liderança de visionários evangélicos e com um crescimento exponencial, a AEE se tornou a mantenedora de diversas Instituições de Ensino. Atualmente, a AEE mantém a UniEVANGÉLICA, que possui campus em Ceres, Jaraguá, Rubiataba e Senador Canedo Além disso, a AEE administra a Faculdade Evangélica de Goianésia, a Faculdade Raízes, e os Colégios Álvaro de Melo e Couto Magalhães (UNIEVANGÉLICA, 2023).

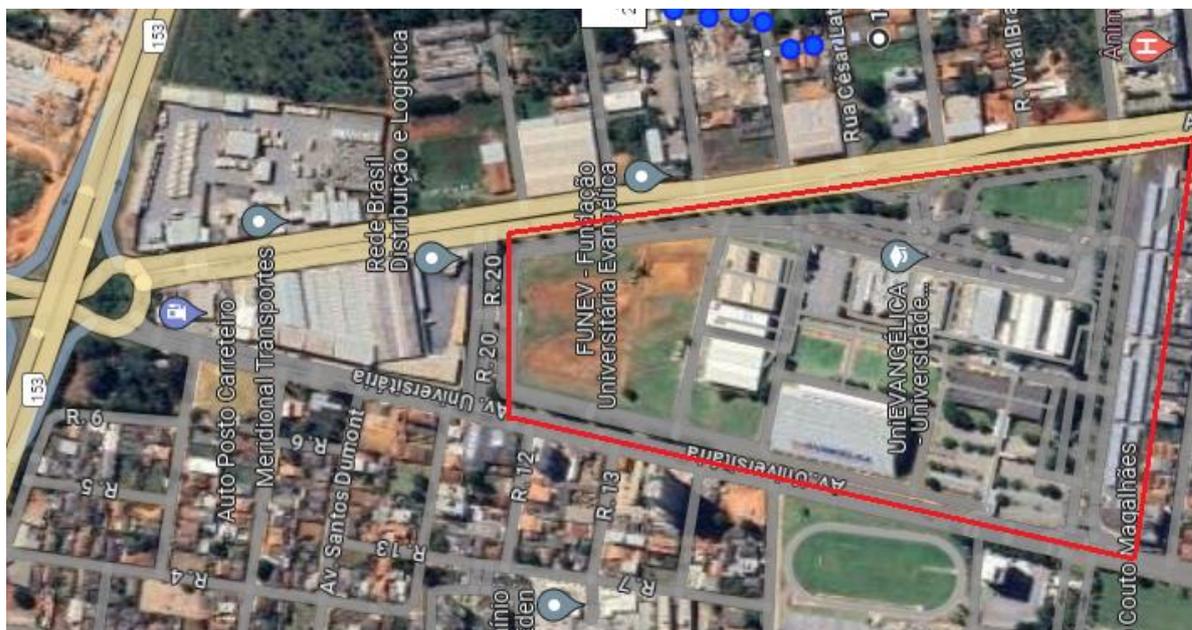
Todo esse histórico de criação, evolução e perspectivas futuras é detalhado nas obras de Olímpio Ferreira Sobrinho, incluindo os livros: **Meio Século Formando Gerações; Sob as Luzes do Milênio; A um Passo da Universidade; e Um Novo Tempo Sempre**, disponíveis no site Institucional (UNIEVANGÉLICA, 2024a).

1.1.1 O complexo Universitário da UniEVANGÉLICA e a busca da sustentabilidade energética.

Como mencionado anteriormente, a AEE, fundada em 1947 por um grupo de pioneiros e visionários evangélicos, adquiriu naquela época uma significativa extensão

de terra de 260.446,83 m² no município de Anápolis - Goiás. Nesse local, hoje se encontra o Campus da UniEVANGÉLICA, conforme pode ser visualizado na Figura 1.1. Esta IES é a maior mantida pela AEE e uma peça chave no sistema educacional da região.

Figura 1.1 - Vista aérea da UniEVANGÉLICA



Fonte: Imagem do Google Maps: Disponível em <https://maps.app.goo.gl/a3TpG3CQaXESkCdH6>.

Acesso em 6 jan. 2024.

A UniEVANGÉLICA, localizada no estratégico eixo Brasília-Anápolis-Goiânia, integra o terceiro maior conglomerado urbano do Brasil, sendo importante para o crescimento de Goiás. Anápolis, onde a Universidade está sediada, Figura 1.1 como um importante polo econômico do estado, com seu Produto Interno Bruto (PIB) *per capita* elevando-a a uma posição de destaque nacional. O município é proeminente nos setores industrial e de serviços, impulsionando a economia local e ampliando as oportunidades de investimento. Com essa localização estratégica e sua contribuição econômica significativa, a UniEVANGÉLICA não só reforça seu papel como um importante centro educacional, mas também atua como um eixo central para o desenvolvimento regional e estadual na região Centro Oeste do Brasil (UNIEVANGÉLICA, 2023).

Desde sua fundação até hoje, a UniEVANGÉLICA passou por transformações significativas, evoluindo de uma instituição de ensino inicial para faculdades, faculdades integradas, centro universitário e, finalmente, para uma universidade. Esse crescimento acarretou a necessidade de expandir sua infraestrutura, resultando na

construção de novas salas de aula, laboratórios e espaços pedagógicos, essenciais para compor seu complexo universitário. Atualmente, a UniEVANGÉLICA possui duas principais unidades de ensino: o Campus Sede em Anápolis, com 260.446,83 m² de área de terreno e 81.609,47 m² de área construída, e o Campus Ceres, com 13.130,19 m² de terreno e 5.758,15 m² construídos. Esses espaços, detalhados na Tabela 1.1, refletem o compromisso da instituição em atender à crescente demanda educacional e acadêmica (UNIEVANGÉLICA, 2023, 2024b, 2024c).

Tabela 1.1 - Composição da propriedade e área construída da UniEVANGÉLICA

Descrição	Ambientes	Capacidade	Área útil (m ²)
Instalações administrativas	54	350	7.852,67
Instalações pedagógicas	267	14.310	19.830,25
Espaços de convivência e alimentação	3	750	1.623,72
Instalações sanitárias	614	614	2.208,58
Laboratórios e ambientes para práticas didáticas	136	5.150	13.026,49
Ginásio de esportes	1	5.400	8.191,86
Campo e pista de atletismo	1	250	9.870,89
Parque aquático	1	550	1.178,42
Pós-graduação	-	-	4.166,00
Circulação, estacionamentos jardins, calçadas, ruas, áreas permeáveis, áreas para construção (UniEVANGÉLICA Anápolis e Ceres)	-	-	237.577,02
Área construída e área em construção Colégios/FACER	-	-	19.418,74
Reserva Ecológica (Área experimental)	-	-	347.896,05
Total			672.840,69

Fonte: Adaptado – Plano de Desenvolvimento Institucional (PDI) - (2023)

Com o crescimento contínuo da UniEVANGÉLICA, toda área que compõe o complexo universitário é utilizada nos diversos espaços acadêmicos e estruturais de apoio, incluindo bibliotecas, centros de pesquisa, áreas administrativas e espaços de convivência estudantil. Logo, surgiu a necessidade de modernizar sua infraestrutura para sustentar o desenvolvimento acadêmico e científico. Neste contexto, a instituição reconheceu a importância de investir em uma fonte de geração de energia elétrica limpa e sustentável, buscando menor custo operacional e preservação do meio ambiente. Em 2016, marcando um ano significativo na jornada em direção à

autossuficiência energética, o consumo médio de energia elétrica da universidade alcançou 159 MWh¹, refletindo a demanda energética crescente (BOGGIAN, 2023).

Apesar de ser uma instituição de ensino superior privada, sem fins lucrativos, os gastos com energia elétrica constituíam um dos principais custos da universidade. Em resposta, a UniEVANGÉLICA iniciou em 2017 o projeto da construção de sua própria usina fotovoltaica, um passo significativo em direção à sustentabilidade e à redução de custos operacionais. Essa estratégia não apenas reflete o compromisso da instituição com a preservação ambiental, mas também demonstra sua integração de práticas sustentáveis, em linha com o PPGSTMA (UNIEVANGÉLICA, 2018a).

O projeto de construção da Usina Fotovoltaica da UniEVANGÉLICA (UF-Uni), idealizado em 2016, representou uma busca contínua por novas tecnologias visando promover a sustentabilidade financeira alinhada aos propósitos institucionais e ambientais. Este projeto teve como proposta ser uma das pontes integradoras para o cumprimento de objetivos, metas, políticas e missões institucionais, abrangendo indicadores essenciais (FERREIRA SOBRINHO, 2002, 2007; UNIEVANGÉLICA, 2024a, 2024c).

- **Educação:** Ser utilizada também como ambiente de pesquisa aplicada na área de geração e fornecimento de energias renováveis.
- **Sustentabilidade:** Promover melhorias no processo de gestão energética, incluindo a troca por lâmpadas e equipamentos mais econômicos, e realocação dos recursos financeiros que seriam destinados ao pagamento de faturas de energia elétrica à concessionária distribuidora.
- **Ambiental:** Contribuir para a geração de energia elétrica de forma limpa e sustentável, sendo suficiente para abastecer parte da demanda energética da instituição.
- **Missão Institucional:** Consolidar o cumprimento da Missão, Visão e Valores institucionais traduzidos no texto:

Promover com excelência o conhecimento, por meio da educação em seus diferentes níveis, fundamentado em princípios cristãos, buscando a formação de cidadãos comprometidos com a verdade, a comunidade, o respeito, a transformação social e o desenvolvimento sustentável (UNIEVANGÉLICA, 2024c).

¹ MWh: Megawatt-hora representa a quantidade de energia gerada ou consumida por uma potência de um megawatt durante uma hora.

A partir dos próximos subitens, serão descritas a concepção, construção, implementação e implantação da usina fotovoltaica.

1.1.2 Projeto e a construção da UF-Uni

A jornada da UniEVANGÉLICA em direção à sustentabilidade e eficiência energética, iniciada em 2011, refletiu o empenho dos gestores da AEE para minimizar os gastos com energia elétrica. Adotou-se tecnologias eficientes, como lâmpadas e dispositivos eletrônicos modernos, além de geradores a diesel para horários de picos de consumo. Embora econômicas, essas medidas iniciais ainda se apoiavam em fontes de energia convencionais. Com o passar do tempo, a AEE adotou uma abordagem mais sustentável, planejando a construção de uma usina fotovoltaica na UniEVANGÉLICA, que geraria parte de sua energia elétrica de forma limpa e renovável. Esse planejamento refletia um compromisso crescente com práticas ambientalmente responsáveis e a busca por maior eficiência energética. Embora a ideia tenha sido concebida nesse período, foi apenas em 2016 que o projeto foi finalmente iniciado, após a AEE engajar-se em uma Chamada Pública da Centrais Elétricas de Goiás - Distribuição S.A (CELG D), representando um avanço significativo na jornada de sustentabilidade da universidade (AEE, 2016; CELG D, 2016).

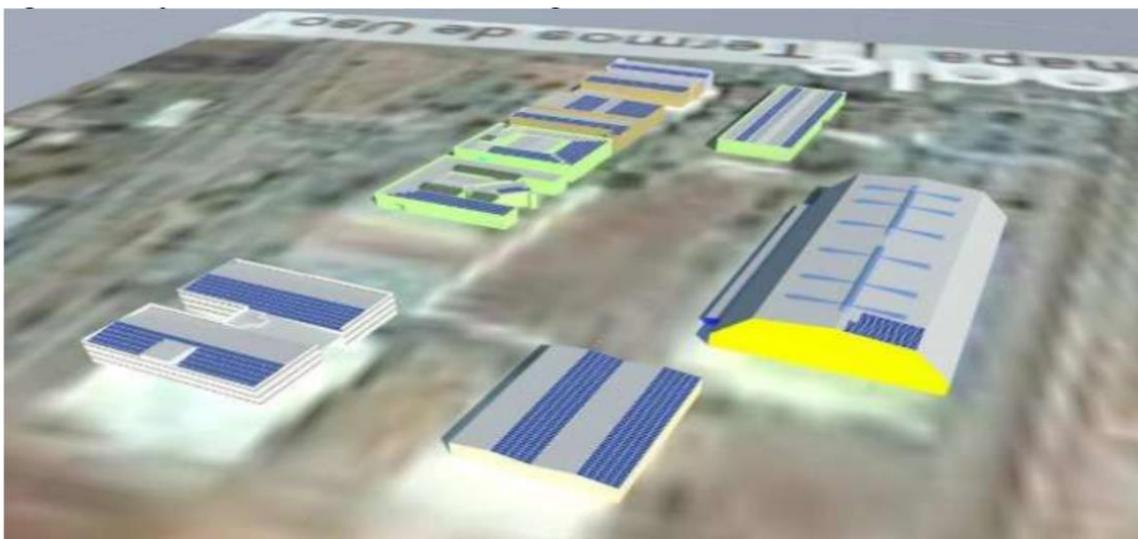
O ano de 2016 foi um marco significativo nesta trajetória, com a AEE beneficiando-se da CELG D, que mais tarde foi adquirida pela *Ente Nazionale per l'Energia Elettrica* - Entidade Nacional de Energia Elétrica (ENEL) e subsequentemente vendida à Equatorial Energia. O projeto tinha como objetivo substituir a iluminação convencional por *Light Emitting Diode* (LED) e instalar uma Usina Fotovoltaica (UF) para atender internamente parte da demanda energética da universidade e injetar o excedente na rede pública. Com o projeto aprovado e recebendo a melhor classificação na Tipologia Comercial, com um investimento de R\$ 7,8 milhões e uma contrapartida da AEE de R\$ 850 mil, o projeto enfrentou um longo processo burocrático antes de sua implementação em março de 2018 e tornou-se operacional em outubro de 2019, consolidando a UniEVANGÉLICA como um exemplo de inovação em sustentabilidade energética (AGÊNCIA SENADO, 2022; BOGGIAN, 2023; BRASIL, 2022; VITALUX, 2016, 2019).

Com o projeto aprovado em 21 de janeiro de 2017, iniciaram-se as tratativas de contratos para a seleção das empresas que realizariam a construção da UF-Uni, bem como a substituição das lâmpadas e dispositivos elétricos/eletrônicos por

modelos modernos e mais eficientes. A empresa Vitalux-Ecoativa Projetos Sustentáveis (2024) venceu o processo licitatório e, em 8 de março de 2018, iniciou a substituição dos 15.482 pontos de iluminação existentes por modelos modernos e mais eficientes, uma vez que uma das exigências do projeto, contemplado pela chamada pública, era o uso consciente e racional da energia elétrica. Após a implementação dessa parte do projeto, houve uma redução de aproximadamente 55% no consumo de energia elétrica no campus. Originalmente, a potência total instalada era de 300 kW², reduzindo para 164,7 kW na demanda de ponta (BOGGIAN, 2023; VITALUX, 2016).

Nesse mesmo período, iniciaram-se os estudos sobre a parte técnica e estrutural da UF-Uni, que inicialmente teria aproximadamente 2.874 painéis solares instalados no telhado dos prédios institucionais, conforme ilustrado na Figura 1.2.

Figura 1.2 – Proposta inicial para instalação dos painéis solares nos prédios da UniEVANGÉLICA

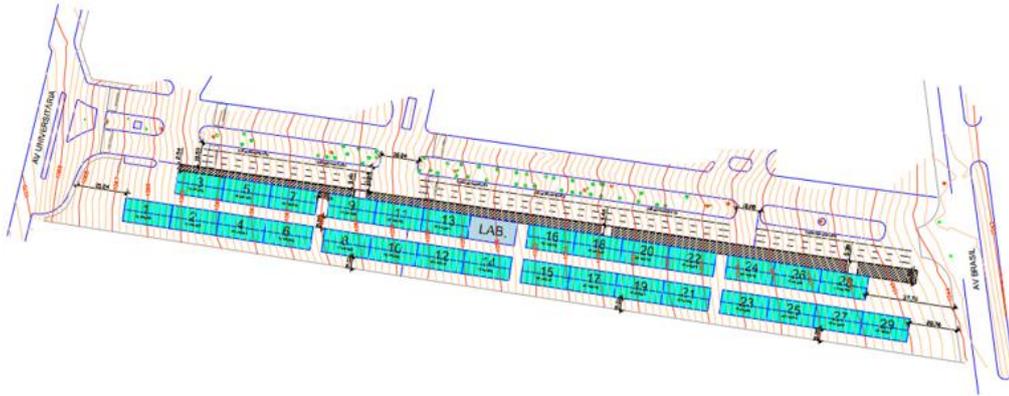


Fonte: Projeto de Eficiência Energética da UniEVANGÉLICA contemplado na Chamada Pública PEE CELG D Nº. 002/2016 - (CELG D, 2016)

Contudo, em busca de maior visibilidade do projeto, facilidade de manutenção, melhor controle dos indicadores de geração, redução dos custos de construção e aproveitamento da UF-Uni como objeto de pesquisas energéticas, a equipe técnica optou por solicitar à ENEL uma alteração do projeto. A solicitação foi aprovada, iniciando-se imediatamente a construção de um estacionamento coberto por painéis fotovoltaicos, que se tornou, na época, o maior estacionamento fotovoltaico do país, Figura 1.3 (AEE, 2016; UNIEVANGÉLICA, 2018b, 2018c, 2018a; VITALUX, 2016).

² kW: Quilowatt, que é uma unidade de potência equivalente a 1.000 watts. É usado para medir a quantidade de energia gerada ou consumida por dispositivos elétricos.

Figura 1.3 - Levantamento estacionamento para construção da UF-Uni



Fonte: Anexo da ATA de Reunião entre as Diretorias da UniEVANGÉLICA, Vitalux e ENEL (UNIEVANGÉLICA, 2018c)

Para assegurar a conclusão do projeto de implantação dentro do prazo estipulado de 24 meses, que incluía desde a troca das lâmpadas e equipamentos eletroeletrônicos por modelos mais modernos até a finalização da construção da UF, foi essencial estruturar um cronograma minucioso e arrojado. Reuniões abrangentes de planejamento foram realizadas, contando com a participação ativa das equipes da AEE/UniEVANGÉLICA, da Vitalux-Ecoativa e da ENEL, concessionária de energia em Goiás naquele período. Esse cronograma é apresentado no Quadro 1.1.

Quadro 1.1 - Cronograma de execução e implementação do projeto

Etapa	Meses	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23
		e 2	e 4	e 6	e 8	e 10	e 12	e 14	e 16	e 18	e 20	e 22	e 24
1- Diagnóstico energético													
2 - Análise, medição e verificação (inicial)													
3 - Projeto executivo													
4 - Cadeia de suprimentos													
5 - Montagem e substituição das lâmpadas													
6 – Construção da Usina Fotovoltaica													
6.1 – Preparação de fundações													
6.2 – Montagem dos dutos de cabeamento													
6.3 – Montagem dos sistemas de aterramento													
6.4 – Edificação de alvenaria estrutural													
6.5 – Montagem de estrutura metálica													
6.6 – Instalação dos componentes elétricos													
6.7 - Montagem dos módulos fotovoltaicos													
6.8 - Montagem estrutural (conexão rede 13.8 kW)													

Continua

Quadro 1.1 - Cronograma de execução e implementação do projeto

(conclusão)

Etapa	Meses											
	1 e 2	3 e 4	5 e 6	7 e 8	9 e 10	11 e 12	13 e 14	15 e 16	17 e 18	19 e 20	21 e 22	23 e 24
7 - Descarte dos materiais e equipamentos substituídos												
8 - Análise, medição e verificação (final)												
9 - Treinamento e capacitação												
10 - Divulgação e marketing												
11 - Acompanhamento do projeto (CELG)												
12 - Gerenciamento e segurança do trabalho												
13 - Relatório final e aceite da obra pelo cliente												

Fonte: Adaptado Boggian (2023)

O processo de implantação da UF-Uni começou em 2017, e conforme apresentado no Quadro 1.1, substituindo lâmpadas e equipamentos elétricos/eletrônicos de alto consumo por alternativas mais eficientes. A construção incluiu a preparação de fundações, edificação de alvenarias, montagem da estrutura metálica e instalação de elementos elétricos essenciais, como aterramento, cabeamento, módulos fotovoltaicos, inversores e o sistema de conexão à rede de 13.8 kV³. De acordo com o planejado, todo o processo teve um atraso de 3 meses, sendo finalizado em março de 2019, enquanto a inauguração ocorreu em outubro de 2019, após a instalação do Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT) para injeção na rede de 13.5 kW, realizada pela ENEL. Vale ressaltar que o projeto foi realizado em parceria com a ENEL, que financiou 90% dele, reafirmando seu compromisso com a eficiência energética e a sustentabilidade (UNIEVANGÉLICA, 2019a).

1.1.3 Integração Acadêmica

Todo o processo de construção da usina fotovoltaica foi acompanhado pelos estudantes dos Cursos de Engenharia Elétrica e Mecânica da UniEVANGÉLICA, integrando-se a um projeto de extensão universitária por meio de estágios não-obrigatórios. As atividades de estágio foram supervisionadas por mim, à época Professor e Coordenador dos Cursos. Esta iniciativa possibilitou aos alunos aprofundar seus conhecimentos teóricos, aplicando-os na prática durante a construção da usina. Ao todo, 22 alunos de ambos os cursos participaram do projeto, conforme ilustrado na Figura 1.4.

³ **kV: Quilovolt**, que é uma unidade de medida de tensão elétrica equivalente a 1.000 volts. É comumente usado para medir a diferença de potencial elétrico em linhas de transmissão de energia de alta tensão.

Figura 1.4 - Alunos acompanhando a construção da UF-Uni



Fonte: Acervo pessoal, 2017-2019

A construção da UF-Uni está diretamente relacionada e cumpre parte da Missão Institucional da UniEVANGÉLICA, que visa:

Promover com excelência o conhecimento, por meio da educação em seus diferentes níveis, fundamentado em princípios cristãos, buscando a formação de cidadãos comprometidos com a verdade, a comunidade, o respeito, a transformação social e o desenvolvimento sustentável (UNIEVANGÉLICA, 2024c).

Além de gerar energia de forma limpa e sustentável, desde a fase de construção, a UF-Uni foi utilizada como ferramenta pedagógica.

Portanto, o programa de extensão universitária ofereceu uma experiência imersiva na interação com equipes de trabalho, enfatizando a importância da segurança no trabalho e equipando os futuros engenheiros com habilidades essenciais para a gestão segura e eficaz de projetos de engenharia. No aspecto ambiental, a UF-Uni cumpre seu papel ao contribuir para a preservação do meio ambiente, alinhando-se aos objetivos de desenvolvimento sustentável da instituição. Os acadêmicos tiveram uma oportunidade ímpar em sua formação de graduação, beneficiando-se de uma experiência prática que complementou sua educação teórica com aplicação real, preparando-os de forma abrangente para suas futuras carreiras.

1.1.4 Dados técnicos do Projeto

Após as modificações nos projetos e ajustes finais, consolidou-se a configuração do sistema fotovoltaico na UF-Uni. Esta configuração, implementada sobre os telhados de um estacionamento da instituição, engloba 2.900 módulos fotovoltaicos e 29 inversores. A instalação atinge uma potência nominal de 957 kWp⁴, podendo alcançar produtividade anual de 1.250 MWh (considerando fator de irradiação solar 1,25), distribuída em uma área total de 5.655 m². Selecionou-se a modalidade de conexão à rede (*on-grid*), funcionando em média tensão trifásica, com uma tensão de fornecimento de 13.800 V. Detalhes técnicos do sistema incluem (VITALUX, 2019):

- Potência de pico: 957 kWp
- Área total das placas fotovoltaicas: 5.655 m²
- Quantidade de módulos fotovoltaicos: 2.900

⁴ Kwp: Quilowatt-pico: É comumente usado para medir a potência máxima de saída de sistemas fotovoltaicos (solares) sob condições ideais. Embora o termo seja mais frequentemente associado a sistemas solares, ele também pode ser aplicado a outros sistemas de geração de energia que têm uma "potência de pico" definida em condições específicas.

- Quantidade de inversores fotovoltaicos: 29
- Configuração do arranjo fotovoltaico: 29 arranjos, cada um com 5 *strings* em paralelo e 20 placas por *string*
- Fabricante dos painéis fotovoltaicos: Canadian Solar
- Modelo dos módulos fotovoltaicos: CS6U-330P-FG
- Características dos módulos fotovoltaicos: 330 W, silício policristalino
- Fabricante dos inversores fotovoltaicos: ABB
- Modelo dos inversores fotovoltaicos: SPA PRO-33.0-TL-OUTD-SX (60Hz)
- Especificações do inversor: 330 kWp

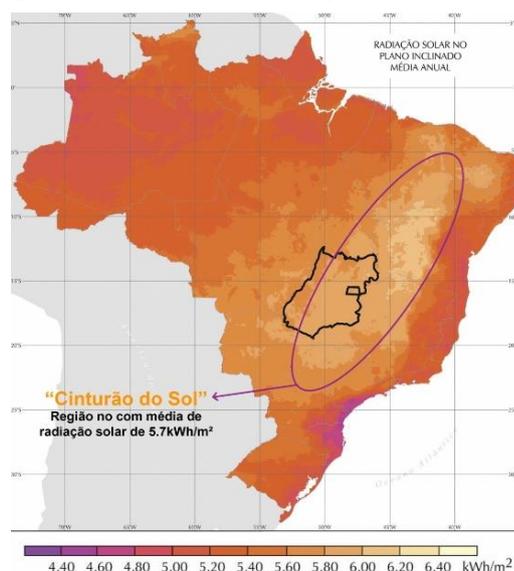
O projeto da UF-Uni, marcado por seu significativo investimento financeiro, teve a viabilidade evidenciada pelo cálculo da Relação Custo-Benefício (RCB). Boggian (2023), em sua análise detalhada sobre governança, gestão organizacional e ambiental, enfatizou a importância do RCB de 0,864 para a implementação da usina, o qual foi fundamental para a elevada classificação do Projeto de Eficiência Energética (PEE), com um investimento total de R\$ 6.502.957,36. Além disso, Boggian detalhou o cálculo do RCB para o *retrofit* da iluminação, atingindo 0,133, considerado relevante para a tipologia comercial, envolvendo um total de R\$ 1.352.460,31 em investimentos. O custo total do projeto foi, portanto, de R\$ 7.855.417,67, tendo a AEE contribuído com uma contrapartida de aproximadamente R\$ 850.000, o que representa cerca de 10,8% do total.

A energia solar é convertida em eletricidade de forma sustentável através da interação dos fótons solares com o silício dos painéis solares, como destacado por (PEREIRA, 2019). Existem dois tipos principais de sistemas de energia solar: *Off-grid*, que armazena energia em baterias, e *On-grid*, que permite a injeção de energia excedente na rede. O planejamento de usinas solares, especialmente as de grande escala e conectadas à rede, requer investimentos significativos e uma cuidadosa seleção do local de implantação, considerando uma variedade de fatores técnico-econômicos. Além disso, os painéis solares podem ser instalados em diversas locações, como telhados, solo ou sobre corpos d'água, ampliando as possibilidades de aproveitamento dessa tecnologia sustentável (ALVES, 2019).

Ao projetar a UF-Uni com o sistema *on-grid*, foi a melhor decisão, uma vez que requer altos investimentos iniciais, porém não há custos extras com aquisição de baterias para armazenamento contínuo da energia elétrica. A viabilidade geográfica

da irradiação solar no Brasil (Figura 1.5) foi crucial para o crescimento da capacidade instalada da energia solar fotovoltaica, apontando para a tendência de aumento significativo de sua contribuição na matriz energética devido à redução dos custos dos equipamentos e à alta irradiação solar. Além disso, prevendo os benefícios, os gestores acertaram ao optar pela construção de estacionamento coberto com módulos solares em vez de instá-los nos telhados dos prédios, obtendo benefícios não previstos inicialmente, como a visibilidade ampliada do projeto, manutenção facilitada e uso da usina como um laboratório fotovoltaico extenso, impulsionando o desenvolvimento do setor e a capacitação profissional. Os 5.655 m² encobertos pelos módulos solares são suficientes para abrigar aproximadamente 700 carros populares, sendo utilizados por funcionários e alunos. Adicionalmente, o estacionamento fotovoltaico foi considerado o maior do país naquela época.

Figura 1.5 - Índice de irradiação solar no Brasil



Fonte: Adaptado de Atlas Solamétrico Brasileiro - Portal Solar (2019)

Ao analisar a Figura 1.5, percebe-se um gradiente de cores do amarelo claro ao vermelho escuro, demonstrando o incremento da irradiação solar do sul ao norte do Brasil. A região central, especificamente em Anápolis, Goiás, é destacada por uma linha oval, apelidada de "Cinturão do Sol", exibindo uma média de radiação de 5,7 kWh/m²⁵, posicionando-a como uma das zonas de maior potencial solar no país. Esta área, situada no hemisfério sul, beneficia-se do alongamento dos dias na primavera e do subsequente aumento da luminosidade, elementos que amplificam a produção de

⁵ kWh: Quilowatt-hora: É uma unidade de energia que equivale ao consumo/geração de 1 quilowatt de potência durante 1 hora. É comumente usado para medir o consumo/geração de energia elétrica em residências e indústrias.

energia solar. Tais características geográficas e sazonais otimizam a eficiência na captação de energia solar, tornando a região um ponto estratégico para o progresso de projetos sustentáveis. De acordo com os datasheets dos principais fabricantes de inversores e painéis solares, esses fatores podem elevar a eficiência dos projetos em até 25% (PEB, 2024). A legenda na parte inferior da Figura 1.5 especifica a irradiação solar em kWh/m², variando de 4,40 a mais de 6,40 kWh/m², realçando o amplo potencial do Brasil para o aproveitamento da energia solar, particularmente nas áreas centrais.

1.1.5 A inauguração e os primeiros indicadores de geração da UF-Uni

No dia 09 de outubro de 2019, a UniEVANGÉLICA inaugurou o que então era considerado o maior estacionamento solar naquela época, composto por 2900 módulos fotovoltaicos, 29 inversores e 29 arranjos (cada um com 5 *strings* paralelos de 20 placas), abarcando uma área de 5.655 m² (UNIEVANGÉLICA, 2019a). A UF-Uni, com capacidade nominal de 957 kWh, possui potencial de geração de até 1.218,75 kWh no pico de sua *performance*. A celebração contou com a presença do governador do estado de Goiás, Sr. Ronaldo Caiado, do prefeito municipal, Sr. Roberto Naves, do presidente da AEE, Sr. Augusto Ventura, representantes da ENEL-Goiás, além de outras autoridades estaduais, municipais e da AEE. A Figura 1.6 documenta o ato inaugural da UF-Uni, um momento histórico para a AEE, refletindo sua busca pela eficiência energética desde 2011, seu cuidado com as causas ambientais e sua dedicação à disseminação do conhecimento.

Figura 1.6 - Inauguração da Usina Fotovoltaica da UniEVANGÉLICA



Fonte: PV Magazine (2024)

A inauguração do estacionamento solar da UniEVANGÉLICA, conforme ilustrado nas Figuras 1.6 e 1.7, foi amplamente coberta por veículos de comunicação.

Mídias locais e especializadas, como Anápolis Notícias, Jornal Opinião, OICS, Portal 6, Portal Solar e PV Magazine, destacaram o evento, além das próprias divulgações nos sites institucionais da UniEVANGÉLICA e de empresas parceiras. Essa ampla divulgação reforçou a relevância do projeto para a comunidade e o setor energético

A Usina Fotovoltaica da UniEVANGÉLICA, um marco no Projeto de Eficiência Energética, resultou da Chamada Pública PEE CELG D Nº 002/2016, com a Enel Distribuição Goiás assumindo 90% do investimento, aproximadamente R\$ 6,6 milhões, e a UniEVANGÉLICA complementando o restante. Essa parceria estratégica não apenas atendeu às demandas energéticas da instituição, com a usina fotovoltaica próxima a 1 MWh de capacidade, mas também promoveu a substituição de mais de 10 mil lâmpadas por alternativas mais eficientes. A usina consolidou-se como um centro de pesquisa em energias renováveis, refletindo o compromisso da UniEVANGÉLICA com o desenvolvimento sustentável e a utilização consciente de recursos naturais (OPINIÃO, 2019; PORTAL 6, 2019; PORTAL SOLAR, 2019; PV MAGAZINE, 2019; UNIEVANGÉLICA, 2019a).

Figura 1.7- Vista do estacionamento solar da UniEVANGÉLICA



Fonte: PV Magazine (2024)

Após três anos de operação, a UF-Uni alcançou uma produção de 3.159,4 MWh, suprimindo a demanda anual de energia de aproximadamente 1.500 residências populares brasileiras, conforme reportado pela UniEVANGÉLICA (2022). Este marco evidencia a inovação e a eficiência, tanto estrutural quanto gerencial, da usina fotovoltaica em estudos, monitorada pelo *software* Fimer® (*Plant Viewer - Aurora Vision* - versão 3.7, que assegura a precisão das medições energéticas e demonstra

a eficácia do sistema. A Diretoria da AEE ressalta que, além da significativa economia de recursos, o projeto traz importantes benefícios ambientais, equivalentes à redução das emissões de gases de 1.700 carros por 1 mês. Ademais, a Diretoria da AEE reitera o compromisso da UniEVANGÉLICA com as práticas de Meio Ambiente, Social e Governança (ESG), alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), da Organização das Nações Unidas (ONU), reforçando sua estratégia de operação sustentável.

A Tabela 1.2, de maneira concisa e detalhada, exhibe os indicadores de geração da UF-Uni ao longo de quatro anos, de 2020 a 2023, ilustrando o desempenho energético da usina nesse período.

Tabela 1.2 - Indicadores da geração de energia elétrica da UF-Uni em MWh

Ano/mês	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Média
2020	80,6	88,8	91,9	96,5	115,3	111,6	117,3	122,4	118,9	104,2	109,9	103,1	105
2021	104,1	71	94,3	99,2	100,7	85	104,2	117,9	119,3	106,9	83,7	91,8	98,2
2022	99,7	90,3	92,3	95,2	107,9	95,1	87,2	125,9	122,9	123,1	117,2	99,9	104,7
2023	114,4	111,1	90,7	89,9	107,9	88,8	95	105,3	116,1	117,6	110,6	122,2	105,8
Somatório geração entre 2020 - 2023							4.965						

Fonte: Elaborado pelo autor com dados fornecidos pela AEE (2023)

A Tabela 1.2 apresenta os indicadores de geração de energia da Usina Fotovoltaica da UniEVANGÉLICA (UF-Uni) entre 2020 e 2023, destacando seu desempenho ao longo desses quatro anos. Nesse período, a usina acumulou uma produção total de 4.965 MWh. A média anual de produção aumentou para 1.245 MWh, o que representa um crescimento de 18,23% em relação à média anual de 1.053 MWh observada nos três primeiros anos de operação (UNIEVANGÉLICA, 2022). Esse incremento no desempenho pode ser atribuído a melhorias na gestão operacional, manutenção preventiva, ajustes técnicos e à limpeza regular dos módulos fotovoltaicos, o que resultou em maior eficiência e aumento na produção de energia.

Após 2 anos e 20 dias da inauguração da UF-Uni, a UniEVANGÉLICA marcou outro avanço em sua jornada de sustentabilidade com a inauguração do Laboratório de Eficiência Energética Fotovoltaica (LEEFoto) em 29/10/2021, conforme Figura 1.8.

Com o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) e de outros colaboradores, o LEEFoto tornou-se um centro de excelência em tecnologia solar, proporcionando treinamento, incubação de projetos e consultoria em eficiência energética, alinhando-se com os propósitos dos ODS e da ONU (PROPPE, 2019).

Figura 1.8 - Inauguração do LEEFoto



Fonte: Acervo pessoal, 2021

Essa iniciativa, juntamente com a política institucional de desenvolvimento sustentável e educação ambiental, reforça o compromisso da UniEVANGÉLICA com a inovação tecnológica, a responsabilidade social e a produção de conhecimento científico, conforme apresentado na Figura 1.9. Em alinhamento com as diretrizes propostas pelo Pró-Reitor (Pesquisa, Ensino e Extensão) Prof. Dr. Sandro Dutra e Silva, visa integrar a educação, a pesquisa e a extensão com as demandas sociais locais (UNIEVANGÉLICA, 2021).

Figura 1.9 - Visitação da UF-Uni pelos alunos do Colégio Couto Magalhães



Fonte: Couto Magalhães (2024)

1.1.6 Alinhamento da pesquisa com as políticas institucionais e do PPGSTMA.

A UniEVANGÉLICA, ao alinhar suas políticas de ESG com os ODS, segue as diretrizes e recomendações estabelecidas pela ONU. A adesão aos ODS reflete um compromisso global com o desenvolvimento sustentável, abrangendo metas importantes como a erradicação da pobreza, a promoção da saúde e educação de qualidade, a garantia de acesso a energias renováveis e a conservação dos ecossistemas terrestres e aquáticos (UNIEVANGÉLICA, 2024c, 2024a, 2024d).

A Figura 1.9 destaca a implementação da UF-Uni e do LEEFoto, ilustrando esse compromisso ao focar na eficiência energética e sustentabilidade por meio de educação, pesquisa e extensão. A integração desses projetos com os demais programas de responsabilidade social da UniEVANGÉLICA fortalece a posição da universidade como líder em práticas sustentáveis no ensino superior. Essas ações abrangem diversas áreas, como arte, cultura, direitos humanos, diversidade, inclusão social, educação, meio ambiente, saúde, tecnologia, inovação, trabalho e desenvolvimento socioeconômico. Ao alinhar-se com os objetivos dos ODS, a UniEVANGÉLICA não só promove a sustentabilidade ambiental, mas também o desenvolvimento social e econômico da comunidade (UNIEVANGÉLICA, 2024d, 2024c).

No entanto, a IES reconhece que ainda há desafios a serem enfrentados, como a melhoria dos mecanismos de avaliação e um maior alinhamento com os ODS. A colaboração com a FAPEG e outras entidades que fomentam pesquisas de qualidade fortaleceu iniciativas para o desenvolvimento local e internacional. Assim, a UniEVANGÉLICA procura integrar o ensino, a pesquisa e a extensão às necessidades sociais, promovendo inovação e responsabilidade social (UNIEVANGÉLICA, 2023).

Embora o foco deste estudo seja o setor energético, é importante ressaltar que políticas públicas em outras áreas também contribuem para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

Na esfera federal, os progressos em direção aos ODS abrangem diferentes áreas. No setor social, programas como o Bolsa Família desempenham papel fundamental na redução da pobreza extrema e na garantia de segurança alimentar, alinhando-se aos ODS relacionados à erradicação da pobreza e à fome zero (PAIVA; COTTA; BARRIENTOS, 2019). Na saúde, o país avançou com a criação de um sistema de saúde universal, ampliando o acesso à assistência médica. Na educação,

medidas foram implementadas para melhorar a qualidade e o acesso ao ensino (FRAGA; LAGO; ROCHA, 2020). No setor energético, o Brasil adotou iniciativas para expandir o uso de fontes renováveis, como solar e eólica, contribuindo diretamente para a expansão de uma matriz energética limpa, atendendo aos ODS relacionados à energia acessível e sustentável (AGÊNCIA SENADO, 2022; MME, 2023; PEB, 2024; PV MAGAZINE, 2024). Esforços também foram direcionados à proteção ambiental, com medidas para reduzir o desmatamento e preservar a biodiversidade, reforçando os ODS ligados à ação climática e à vida terrestre (EPE, 2024; RODRIGUES, 2023; SENIWATI; RANTI, 2024).

No âmbito municipal, Anápolis se destaca no cumprimento das metas de acesso à energia elétrica, enfrentando, contudo, desafios nas áreas de saúde, educação e energia, setores onde a UniEVANGÉLICA pode desempenhar um papel significativo (CONTEXTO, 2022; PREFEITURA MUNICIPAL DE ANÁPOLIS, 2024; SATO; CAMPOS, 2023). Em parceria com a prefeitura e a comunidade, a UniEVANGÉLICA abraça a responsabilidade social em várias frentes, incluindo parcerias, promoção cultural, empreendedorismo, educação ambiental e inclusão, refletindo seu comprometimento com a ética, a cidadania e o desenvolvimento socioeconômico (UNIEVANGÉLICA, 2024b, 2024c, 2024d).

Logo, o estudo intitulado "Eficiência Energética e Sustentabilidade: Análise de Indicadores de Geração, Qualidade de Energia e Gestão Ambiental da Usina Fotovoltaica da UniEVANGÉLICA em Anápolis, Goiás (2020-2023)" está diretamente alinhado não somente com as políticas institucionais e os objetivos do PPGSTMA da UniEVANGÉLICA, mas também com as políticas públicas federais e nacionais. Dessa forma, o PPGSTMA visa capacitar profissionais em Ciências Ambientais, enfatizando a interação entre sociedade e meio ambiente, e abordando a complexidade de suas dimensões históricas, econômicas, políticas e sociais (PPGSTMA, 2024).

Esta pesquisa contribui para o aprimoramento da gestão dos indicadores, potencializando o uso dos recursos da UF-Uni para uma produção energética mais limpa e sustentável, reforçando os esforços para promover o desenvolvimento sustentável. Além disso, o estudo fortalece o compromisso da UniEVANGÉLICA com a inovação tecnológica e a responsabilidade social, consolidando sua missão de educar e formar cidadãos comprometidos com a transformação social e o desenvolvimento sustentável.

Assim, com a integração das iniciativas de eficiência energética e sustentabilidade, a UniEVANGÉLICA não apenas atinge suas metas institucionais, mas também se estabelece como um modelo de práticas inovadoras e responsáveis no setor de educação superior.

1.2 Questões que norteiam essa pesquisa

- A evolução história e a busca da Questão Energética da AEE se difere das demais Instituições de Ensino Superior?
- O sistema de geração de energia pelo processo fotovoltaico se difere das demais fontes de energias renováveis em termos de eficiência energética?
- A Inteligência Artificial, por meio de técnicas de programações, pode ajudar a entender e prever gerações futuras, bem como ser utilizada como ferramenta gerencial nas usinas fotovoltaicas?
- Há correlação entre os indicadores entre 2020 a 2023 da geração de energia elétrica fotovoltaica da UniEVANGÉLICA, com os dados simulados para previsões futuras de sua geração?
- A geração de energia elétrica da UniEVANGÉLICA, de forma limpa e sustentável, pelo processo fotovoltaico, influencia em benefícios sustentáveis para meio ambiente?
- Há correlação entre os benefícios ambientais alcançados com a geração de energia fotovoltaica para a gestão das políticas de desenvolvimento sustentável da UniEVANGÉLICA?
- A eficiência energética da Usina Fotovoltaica da UniEVANGÉLICA melhorou ao longo do tempo devido à implementação de tecnologias e práticas sustentáveis?
- A integração da Usina Fotovoltaica da UniEVANGÉLICA na rede local de energia contribui para a estabilidade e qualidade da energia elétrica na região de Anápolis, Goiás?
- A geração de energia fotovoltaica na UniEVANGÉLICA está alinhada com a redução das emissões de gases de efeito estufa e contribui para os objetivos de sustentabilidade local e nacional?
- A otimização dos sistemas fotovoltaicos na UniEVANGÉLICA reduz os custos operacionais e aumenta a eficiência energética?

- As estratégias de manutenção influenciam diretamente na qualidade da energia gerada pela usina fotovoltaica da UniEVANGÉLICA?
- A integração de fontes renováveis diversas, incluindo a fotovoltaica, na UniEVANGÉLICA contribui para a estabilidade da rede elétrica local e regional?
- A geração de energia fotovoltaica na UniEVANGÉLICA tem um impacto socioeconômico positivo na comunidade local de Anápolis?

1.3 Objetivo

1.3.1 Objetivo geral

Avaliar a eficiência energética e a sustentabilidade da Usina Fotovoltaica da UniEVANGÉLICA em Anápolis, Goiás, entre 2020 e 2023, analisando os indicadores de geração e qualidade da energia, assim como as práticas de gestão ambiental. Além disso, correlacionar esses aspectos com os impactos ambientais positivos decorrentes da produção de energia elétrica limpa, renovável e sustentável.

1.3.2 Objetivos específicos

- Realizar estudos sobre a evolução histórica da questão energética da AEE, compreendendo os propósitos institucionais da UniEVANGÉLICA na busca pela eficiência energética e o alinhamento dessas ações com a consolidação e cumprimento da Missão, Visão e Valores Institucionais.
- Realizar uma revisão sistemática dos propósitos mundiais para a implantação de usinas fotovoltaicas, com foco em estudos de artigos científicos e outros trabalhos de pesquisa que investigaram os benefícios e/ou impactos ambientais dessas implantações, bem como a qualidade da energia gerada por essas usinas.
- Analisar a aplicação de ferramentas estatísticas e o uso da técnica de série temporal para medir, monitorar e projetar gerações futuras da energia elétrica produzida na UF-Uni, e a sua adesão à governança universitária e aos padrões globais de desenvolvimento sustentável.
- Avaliar a eficiência energética e a conformidade da UF-Uni com os padrões de qualidade, monitorando indicadores e variáveis operacionais para sugerir otimizações na operação e promover um fornecimento energético sustentável.
- Construir um compêndio (conclusões e perspectivas finais) traduzindo os resultados alcançados dos estudos da implantação da UF-Uni, destacando: a evolução histórica da AEE/UniEVANGÉLICA na busca pela eficiência energética;

os propósitos mundiais para a implantação de usinas fotovoltaicas; a aplicação de ferramentas estatísticas e o uso da técnica de séries temporais para medir, monitorar e projetar gerações futuras da energia elétrica da UF-Uni; e a avaliação da eficiência energética e a conformidade da UF-Uni com os padrões de qualidade da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

1.4 Justificativas

Os estudos da tese intitulada "Eficiência Energética e Sustentabilidade: Análise de Indicadores de Geração, Qualidade de Energia e Gestão Ambiental da Usina Fotovoltaica da UniEVANGÉLICA em Anápolis, Goiás (2020-2023)" constituem uma investigação abrangente sobre as dimensões ambientais e operacionais de usinas fotovoltaicas, expandindo a análise para além dos benefícios econômicos. Este estudo propõe uma avaliação detalhada dos aspectos de eficiência energética e sustentabilidade, integrando análises da geração e qualidade de energia com práticas de gestão ambiental sustentáveis. Alinhada aos objetivos do PPGSTMA, a pesquisa se aprofunda no contexto de Anápolis, Goiás, examinando como a usina fotovoltaica se alinha com os ODS, as práticas de ESG e as diretrizes da ONU.

Utilizando uma abordagem metodológica quantitativa e qualitativa, o estudo adota pesquisas documentais (manuscritos, sites, livros e outros) sobre informações institucionais que tratam da evolução histórica da UniEVANGÉLICA na busca pela sustentabilidade energética e ambiental; métodos estatísticos e análise de séries temporais para investigar os indicadores de geração de energia elétrica da UF-Uni; estudos científicos sobre os propósitos mundiais para a implantação de UFs; e a *performance* e qualidade da energia avaliadas por meio de estudos de caso dos indicadores de geração, verificando a conformidade com regulamentações nacionais e internacionais. Esta abordagem não só destaca a contribuição técnica da pesquisa ao campo da engenharia elétrica e das ciências ambientais, mas também sublinha sua relevância social, promovendo práticas sustentáveis que visam a conservação ambiental e a eficiência energética.

Logo, a justificativa deste estudo reside na necessidade urgente de promover sistemas de energia que sejam tanto economicamente viáveis quanto ecologicamente sustentáveis, refletindo o compromisso da UniEVANGÉLICA com a educação e pesquisa de qualidade, e sua contribuição para um desenvolvimento sustentável mais amplo. Ao correlacionar a operação da usina fotovoltaica com impactos ambientais

positivos, este estudo visa fornecer *insights* valiosos para o avanço das práticas de sustentabilidade e eficiência energética, apoiando a transição para uma matriz energética mais limpa e renovável.

1.5 Metodologia da pesquisa

1.5.1 Características gerais

Este trabalho foi desenvolvido a partir dos estudos da geração de energia elétrica da Usina Fotovoltaica da UniEVANGÉLICA, localizada em Anápolis, Goiás, durante o período de 2020 a 2023. A infraestrutura está situada na Av. Universitária Km 3,5, Bairro Cidade Universitária, Anápolis/GO, CEP 75083-515.

Inaugurada em outubro de 2019, a usina possui uma capacidade de 957 kWp e se estende por uma área de 5.655 m². Composta por 2.900 painéis fotovoltaicos, esta instalação não só gera energia capaz de abastecer 40 a 60% da demanda do complexo universitário, mas também oferece cobertura para cerca de 700 veículos.

O município de Anápolis, posicionado a uma altitude de 1017 metros e nas coordenadas de 16°17'39.1" de latitude e 48°56'36.1" de longitude, registra uma irradiação solar média de 5,7 kWh/m² e velocidades de vento de até 5,7 m/s, situando-se numa região privilegiada para a geração solar, e é considerada o "Cinturão do Sol" (ALBA, 2022).

1.5.2 Pesquisas Teóricas

Para compreender os propósitos da AEE foram realizados estudos documentais (manuscritos, sites, livros e outros) sobre informações institucionais que tratam da evolução histórica da UniEVANGÉLICA na busca pela sustentabilidade energética e ambiental. Essa investigação teórica abordou o crescimento histórico da instituição e suas iniciativas para aprimorar a eficiência energética, visando alinhar suas operações às metas ambientais estabelecidas globalmente.

Para entender os propósitos globais para o desenvolvimento das UFs, foram realizadas buscas e seleções de artigos, dissertações, teses, livros e capítulos de livros, utilizando uma combinação de termos-chave como "*solar energy*", "*photovoltaic*", "*performance*", "*power quality*" e "*environmental impact*". As buscas foram limitadas a artigos publicados nos últimos cinco anos, selecionando aqueles com um número significativo de citações para assegurar a relevância e a atualidade dos dados analisados.

Os conteúdos técnicos e científicos que estruturam os demais propósitos deste estudo também foram obtidos por meio da seleção de artigos, dissertações, teses e livros que abordam o uso da estatística e séries temporais como ferramentas gerenciais em usinas fotovoltaicas, bem como a *performance* e qualidade de energia gerada pela UF-Uni em conformidade com os procedimentos da ANEEL.

As metodologias das pesquisas incluíram uma análise detalhada da literatura científica e acadêmica, realizada nos laboratórios de informática do PPGSTMA da UniEVANGÉLICA, acessando plataformas especializadas para a aquisição de conteúdo relevante.

1.5.3 Pesquisas Práticas

Realizadas no LEEFoto da UniEVANGÉLICA, localizado estrategicamente no estacionamento solar, as pesquisas práticas avaliaram a eficiência e a eficácia da usina fotovoltaica. Estes estudos focaram na análise dos indicadores e na gestão da UF-Uni, fornecidos pela AEE, além da transmissão de energia, qualidade e eficiência do sistema fotovoltaico, utilizando o Analisador de Energia. Este instrumento foi essencial para medir com precisão variáveis elétricas críticas, como o fator de potência, harmônicos, frequência, tensão, corrente e potências ativa, reativa e aparente, conforme os padrões regulamentados pela ANEEL.

O analisador de energia (Marca: Embrasul, modelo RE 4000) foi cordialmente disponibilizado pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), por meio da Faculdade de Tecnologia SENAI Roberto Mange.

1.5.4 Levantamento de dados

Os dados operacionais da Usina Fotovoltaica foram coletados entre 2020 e 2023, fornecidos pela Diretoria Administrativa da AEE. Esses dados foram minuciosamente analisados no LEEFoto, utilizando *softwares* especializados, proporcionando uma visão detalhada da gestão energética da instalação.

1.5.5 Estudos estatísticos e previsão da geração futura da UF-Uni

A análise dos dados de geração da UF-Uni começou com estatística descritiva, utilizando o Excel® para calcular medidas estatísticas essenciais. A análise exploratória foi aprofundada com a linguagem de programação *Python* na plataforma *Google Colaboratory*®, empregando métodos estatísticos de séries temporais para discernir tendências e padrões.

Os procedimentos analíticos específicos incluíram a média móvel para atenuar flutuações de curto prazo e ressaltar tendências de longo prazo, a decomposição para separar a série em componentes de tendência, sazonal e residual, testes de normalidade com transformações logarítmicas e raiz cúbica para avaliação da distribuição, testes de estacionaridade para garantir a constância das propriedades estatísticas da série temporal, e testes de autocorrelação para examinar a relação estatística entre as observações sequenciais.

Para uma análise preditiva, utilizou-se o modelo AutoArima (SARIMA), facilitando a projeção de tendências futuras na geração de energia da usina. Esta abordagem abrangente garantiu uma análise rigorosa e uma base sólida para o planejamento e otimização futura da geração energética na Usina Fotovoltaica da UniEVANGÉLICA.

Portanto, estas metodologias detalhadas refletem um compromisso com a precisão analítica e a relevância prática, assegurando que os resultados obtidos contribuam significativamente para a compreensão da eficiência e sustentabilidade energética da usina.

1.6 Metodologia da escrita da tese

A escrita desta Tese de Doutorado, exigida pelo Programa de Pós-Graduação em Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente da Universidade Evangélica de Goiás – UniEVANGÉLICA, para a obtenção do título de Doutor em Ciências Ambientais, dividir-se-á em 5 seções, conforme descrito abaixo:

- **Seção I: Abordagem introdutória**
 - Apresentará uma visão geral da pesquisa, contexto e objetivos.
- **Seções II a IV: Capítulos 1 a 3 - Artigos científicos**

Cada uma dessas seções corresponde a um artigo científico, com alguns já aceitos para publicação e outros em fase de submissão. Ao final desta tese, no apêndice, são apresentadas cópias desses artigos com suas formatações originais, conforme as normas de submissão das revistas selecionadas.

Observação: As seções II a IV, assim como o Apêndice, foram redigidas no plural devido à presença de coautores nos artigos científicos.

- **Seção V: Compêndio conclusivo**
 - Esta seção final sintetizará os resultados e as perspectivas futuras, integrando as conclusões dos artigos e fornecendo uma visão holística dos estudos realizados.

Logo, cada seção desta tese responderá diretamente aos objetivos específicos e o conjunto delas abordará o objetivo geral deste estudo, conforme abaixo descrito.

Seção I: Evolução histórica da questão energética da AEE

- Abordagem introdutória (evolução histórica da questão energética da AEE)
- Questões que norteiam a pesquisa
- Objetivos
- Justificativas
- Metodologias (da pesquisa e estrutural da tese)

Este capítulo buscará conhecer a evolução histórica da questão energética da AEE, compreendendo os propósitos institucionais da UniEVANGÉLICA na busca pela sua eficiência energética, bem como, o alinhamento dessas ações com a consolidação e cumprimento da Missão, Visão e Valores.

Seção II - Capítulo I: - ESTUDOS SOBRE OS MOTIVOS DAS IMPLANTAÇÕES DAS USINAS SOLARES NO MUNDO.

Inclui o artigo encaminhado para publicação no periódico *FRONTEIRAS: Journal of Social, Technological and Environmental Science*, intitulado: "Revisão Sistemática sobre os Propósitos Globais para o Desenvolvimento de Usinas Fotovoltaicas: Enfoque nas Consequências Ambientais e Performance de Geração".

Este artigo tem como objetivo realizar uma revisão sistemática dos propósitos mundiais para a implantação de usinas fotovoltaicas, com foco em estudos de artigos científicos e outros trabalhos de pesquisa que investigaram os benefícios e/ou impactos ambientais dessas implantações, bem como a qualidade da energia gerada por essas usinas.

Seção III - Capítulo II: - ESTUDOS ESTATÍSTICOS DOS INDICADORES E PREDIÇÕES FUTURAS DE GERAÇÃO DA UF-Uni

Inclui o artigo encaminhado para publicação no periódico *Revista Brasileira de Ciências Ambientais - Brazilian Journal of Environmental Sciences (RBCIAMB)*, intitulado: "Aplicação da Estatística e da Série Temporal como Ferramenta de Gestão na Geração de Energia Elétrica: Estudo de Caso na Usina Fotovoltaica da UniEVANGÉLICA (2020-2023)".

Este artigo tem como objetivo analisar a aplicação de ferramentas estatísticas e o uso da técnica de série temporal para medir, monitorar e projetar gerações futuras

da energia elétrica produzida na UF-Uni, e a sua adesão à governança universitária e aos padrões globais de desenvolvimento sustentável.

Seção IV - Capítulo III: ANÁLISE DA QUALIDADE DA ENERGIA GERADA PELA UF-Uni

Inclui o artigo encaminhado para publicação no periódico Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade – *Journal of Environmental Management & Sustainability* (GeAS), intitulado: "Estudo da performance e qualidade de energia elétrica gerada pela Usina Fotovoltaica da Universidade Evangélica de Goiás – UniEVANGÉLICA"

Este artigo tem como objetivo avaliar a eficiência energética e a conformidade da Usina Fotovoltaica da UniEVANGÉLICA (UF-Uni) com os padrões de qualidade, monitorando indicadores e variáveis operacionais para sugerir otimizações na operação e promover um fornecimento energético sustentável.

Seção V: ESTUDOS CONCLUSIVOS

Este capítulo propõe a construção do compêndio traduzindo os resultados alcançados dos estudos da implantação da UF-Uni, destacando: a evolução histórica da AEE/UniEVANGÉLICA na busca pela eficiência energética; os propósitos mundiais para a implantação de usinas fotovoltaicas; a aplicação de ferramentas estatísticas e o uso da técnica de séries temporais para medir, monitorar e projetar gerações futuras de energia elétrica da UF-Uni; e a avaliação da eficiência energética e a conformidade da UF-Uni com os padrões de qualidade.

2 CAPÍTULO I

Revisão Sistemática sobre os Propósitos Globais para o Desenvolvimento de Usinas Fotovoltaicas: Enfoque nas Consequências Ambientais e Performance de Geração

Systematic Review of Global Objectives for the Development of Photovoltaic Plants: Focus on Environmental Consequences and Generation Performance

2.1 RESUMO:

A proposta ideal para a implantação de uma usina fotovoltaica deve ser cuidadosamente planejada, considerando diversos fatores técnicos, econômicos, ambientais e sociais. Este estudo apresenta uma revisão sistemática e cientométrica dos propósitos globais para a implantação de usinas fotovoltaicas, com foco nas consequências ambientais e na *performance* de geração. Foram analisados 3960 artigos científicos da plataforma Scopus, dos quais 31 foram selecionados com base em critérios rigorosos de inclusão. A análise revelou que a maioria dos estudos (77,4%) se concentra na *performance* de geração, enquanto apenas 19,4% foca nas consequências ambientais. Discutimos a importância de equilibrar a eficiência operacional com considerações ambientais para garantir um avanço sustentável na energia fotovoltaica. Observamos também uma predominância de publicações dos Estados Unidos, Suíça e Reino Unido, destacando a relevância econômica e científica dessas nações. O estudo conclui que, apesar do foco na otimização da *performance*, há uma necessidade crítica de maior atenção aos impactos ambientais para promover um futuro energético sustentável. Apesar de não serem tratadas com evidência as questões ambientais das implantações das usinas, uma vez que implantadas, esses indicadores são indiretamente alcançados.

Palavras-Chave: UF; Avaliação de Sustentabilidade; Eficiência energética; benefícios e impactos ambientais.

2.2 ABSTRACT:

The ideal proposal for the implementation of a photovoltaic power plant must be carefully planned, considering various technical, economic, environmental, and social factors. This study presents a systematic and scientometric review of the global purposes for the implementation of photovoltaic power plants, focusing on

environmental consequences and generation performance. A total of 3960 scientific articles from the Scopus platform were analyzed, of which 31 were selected based on strict inclusion criteria. The analysis revealed that the majority of the studies (77.4%) focus on generation performance, while only 19.4% focus on environmental consequences. We discuss the importance of balancing operational efficiency with environmental considerations to ensure sustainable advancement in photovoltaic energy. We also observed a predominance of publications from the United States, Switzerland, and the United Kingdom, highlighting the economic and scientific relevance of these nations. The study concludes that, despite the focus on performance optimization, there is a critical need for greater attention to environmental impacts to promote a sustainable energy future. Although environmental issues related to the implementation of the plants are not prominently addressed, once implemented, these indicators are indirectly achieved.

KEYWORDS: *UF; Sustainability Assessment; Energy Efficiency; Environmental Benefits and Impacts.*

2.3 INTRODUÇÃO

A busca por formas alternativas de energia no Brasil está associada a um conjunto amplo de variedades históricas em que a busca pelo desenvolvimento favoreceu modelos baseados em estruturas de engenharia e construção de barragens hidrelétricas (PEGUIM, 2018). Mesmo parecendo ser modelos ecologicamente sustentáveis, principalmente como alternativa aos combustíveis fósseis, as hidrelétricas trazem também passivos socioambientais pesados (JOHNSON, 2021).

A adoção de usinas fotovoltaicas reflete uma mudança significativa na maneira como as sociedades geram e consomem energia. Esta transição busca soluções energéticas econômicas e viáveis para grandes corporações e consumidores individuais. No entanto, a função principal dessas instalações, a geração de energia limpa e sustentável, muitas vezes fica em segundo plano. A energia solar fotovoltaica, que converte luz solar em eletricidade, destaca-se como opção atraente, especialmente onde os custos da energia tradicional estão aumentando (ARIMOTO, 2011; DE LUNA PÁMANES et al., 2020; MEHO, 2020).

Empresas e instituições estão mais inclinadas a instalar usinas fotovoltaicas de grande porte, como complexos ou parques solares, enquanto telhados de residências são aproveitados para instalações de pequeno porte. Este movimento é evidenciado

pela rápida expansão do número de instalações fotovoltaicas, vistas como um investimento em sustentabilidade e economia. A redução dos custos de instalação e manutenção, aliada ao aumento da eficiência das tecnologias fotovoltaicas, tem motivado diversos setores a adotar esta fonte de energia.

Embora as vantagens ambientais das usinas fotovoltaicas - geração de energia renovável sem emissões diretas de gases de efeito estufa - sejam reconhecidas, frequentemente ocupam um lugar secundário nas motivações para adoção dessa tecnologia. Para muitos investidores e consumidores, os benefícios ambientais são vistos como um bônus adicional aos benefícios econômicos imediatos. Esse fenômeno é notável especialmente em regiões onde as políticas ambientais e incentivos para energias renováveis são menos robustos, levando as considerações financeiras a predominarem na adoção de energia solar.

A governança universitária é fundamental para a sustentabilidade das instituições de ensino superior, influenciada por ranqueamentos que destacam a produção científica e a sustentabilidade além da governança financeira. Instituições globais ajustam suas políticas para atender aos critérios internacionais de excelência, focando em metas de desempenho baseadas na produtividade científica e responsabilidade social (DUTRA E SILVA et al., 2021).

Contudo, essa orientação econômica não diminui a importância estratégica das usinas fotovoltaicas na matriz energética global. À medida que mais entidades reconhecem a energia solar como solução econômica, há um aumento nos investimentos em capacidade de produção e inovação tecnológica, beneficiando o ambiente pela redução da dependência de combustíveis fósseis. Esta evolução está alinhada com uma visão de desenvolvimento sustentável, onde metas econômicas e ambientais começam a convergir, mesmo que inicialmente motivadas por razões econômicas (EPE, 2023; MME, 2023).

Portanto, a expansão das usinas fotovoltaicas representa uma tendência global crescente, onde o imperativo econômico pavimenta o caminho para uma revolução energética mais ampla, apoiando os objetivos de sustentabilidade de longo prazo. À medida que a tecnologia evolui e os custos diminuem, espera-se que os benefícios ambientais das usinas fotovoltaicas ganhem destaque, promovendo um futuro energético mais limpo e sustentável (BARBOSA FILHO et al., 2015; ECOM, 2020).

Assim, este artigo tem como objetivo realizar uma revisão sistemática dos propósitos mundiais para a implantação de usinas fotovoltaicas, com foco em estudos

de artigos científicos e outros trabalhos de pesquisa que investigaram os benefícios e/ou impactos ambientais dessas implantações, bem como a qualidade da energia gerada por essas usinas.

2.4 REFERENCIAL TEÓRICO

A Revisão Sistemática é um método de pesquisa que identifica, avalia e sintetiza as evidências relacionadas a uma pergunta de pesquisa específica. Envolve uma abordagem estruturada para reunir, analisar e interpretar a literatura sobre um tópico. Paralelamente, a Cienciometria quantifica atividades científicas e tecnológicas e foca em aspectos como o número de citações, países de origem, afiliações dos autores, e revistas de publicação (GALVÃO; RICARTE, 2019; KUGLEY et al., 2017; MACIAS-CHAPULA, 1998; UNESP, 2012).

2.4.1 Conceitos de Energia

Para alinhar os conteúdos do texto deste trabalho científico com o princípio da conservação de energia, conhecido como a Primeira Lei da Termodinâmica, que estabelece que a energia não pode ser criada nem destruída, apenas transformada, serão adotadas as expressões "produção" e "geração" de energia elétrica (MORAN et al., 2018).

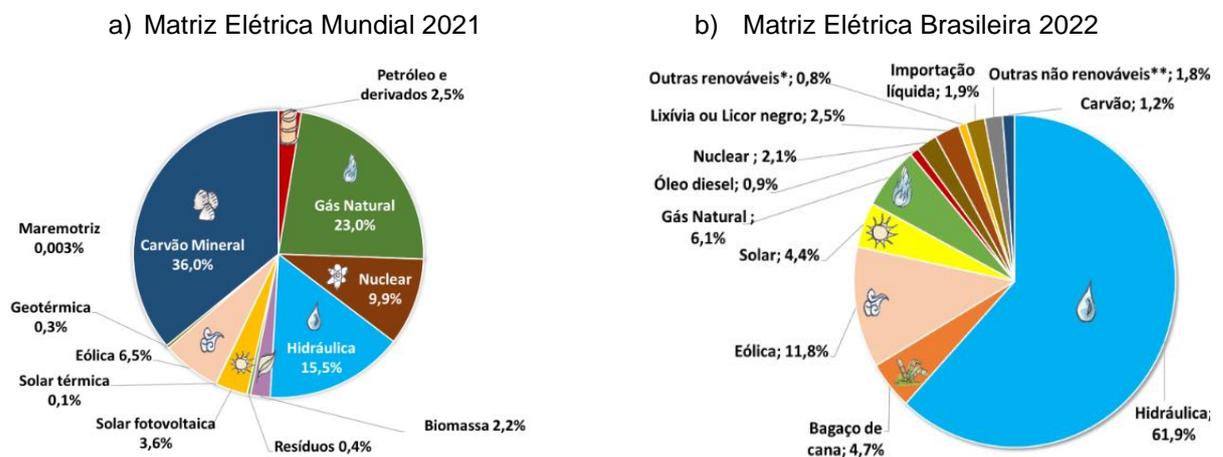
Com base nas informações da Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2023), percebe-se uma confusão de entendimento sobre os conceitos entre matriz energética e matriz elétrica. A matriz energética inclui fontes para veículos, fogões e eletricidade, enquanto a matriz elétrica se restringe à geração elétrica, sendo parte da matriz energética. A matriz energética engloba fontes renováveis e não renováveis. A energia renovável, de acordo com os conceitos de Bozio (2018) é aquela obtida a partir de fontes naturais que são praticamente inesgotáveis e capazes de se regenerar ao longo do tempo. Diferentemente dos combustíveis fósseis, cujas reservas são limitadas e não renováveis, as fontes de energia renovável são sustentáveis a longo prazo.

A energia elétrica é de fundamental importância para o desenvolvimento das sociedades atuais, pode gerar luz, calor, som e força mecânica. Amplamente usada, ela é gerada principalmente em usinas hidrelétricas, aproveitando o potencial da água, mas também em usinas eólicas, termoelétricas, solares e nucleares (EPE, 2023; MME, 2023, 2022).

2.4.2 Composição das matrizes elétricas mundial e brasileira

Com base nos indicadores do Ministério de Minas e Energia (2023, 2022) e emitido pela Empresa de Pesquisa Energética (2023, 2024) a matriz elétrica mundial é predominantemente sustentada por fontes não renováveis, especialmente por meio do uso de combustíveis fósseis, como carvão e gás natural, em termelétricas, conforme ilustrado na Figura 2.1a. No entanto, essa pesquisa também revela que o levantamento atualizado da composição da matriz elétrica brasileira é majoritariamente composta por fontes renováveis, divergindo, assim, da matriz elétrica mundial. Tais indicadores de composição são apresentados na Figura 2.1b.

Figura 2.1 - Composição das matrizes elétrica mundial e brasileira



Fonte: EPE (2023)

Ao analisar os indicadores, pode-se verificar que as fontes renováveis, como solar e eólica, compõem apenas 10,1% da matriz elétrica global. Incorporando a contribuição da energia hidráulica, a participação total das fontes renováveis atinge 25,6%. A composição da matriz elétrica brasileira difere significativamente da média mundial, revelando uma utilização mais expressiva de fontes renováveis hidráulicas. A combinação das fontes geradoras solar, eólica e hidráulica, alcança notáveis 78,1%, representando mais da metade da matriz elétrica nacional. Notavelmente, 61,9% desse total provêm da geração por meio do processo hidráulico.

2.4.3 Importância e impactos das usinas hidrelétricas e eólicas

Bermann (2012) conceitua que as usinas hidrelétricas exploram a energia potencial da água em movimento, utilizando barragens para criar reservatórios e estabelecer diferenças de altura. A água liberada dessa altura é direcionada às turbinas, acionando geradores elétricos e convertendo energia cinética em

eletricidade, sendo considerado um método de geração limpo e renovável, pois não envolve a queima de combustíveis fósseis.

No entanto, para os pesquisadores e seus colaboradores Albuquerque Filho et al., (2010); Molle et al., (2012) e Pereira et al., (2023) as usinas hidrelétricas, apesar de sua importância na matriz elétrica global e brasileira, podem acarretar impactos ambientais, como mudanças no regime hidrológico, deslocamento de comunidades e problemas nos reservatórios, como sedimentação e impactos na fauna e flora. A decomposição orgânica nos reservatórios também pode liberar gases de efeito estufa. Ainda, de acordo com Zhouri e Oliveira (2007) os impactos socioeconômicos, além do deslocamento inicial, incluem mudanças nos meios de subsistência e práticas culturais locais

Por outro lado, a geração de energia eólica apresenta-se como uma alternativa promissora na busca por fontes limpas e renováveis. Nesse método, a energia cinética do vento é convertida em eletricidade por aerogeradores. Quando o vento atinge as pás, transfere sua energia cinética para um gerador, produzindo eletricidade. Parques eólicos otimizam eficiência na produção. Além de diversificar a matriz energética, a geração eólica reduz emissões de gases estufa, promovendo um sistema sustentável (FREITAS, 2023; KOHLER et al., 2021; MARTINS; GUARNIERI; PEREIRA, 2008).

O processo eólico, apesar de ser fonte limpa e renovável, não está isento de gerar impactos ambientais, como risco de colisões para aves e morcegos, ocupação de áreas agrícolas, preocupações com ruído e paisagem alterada. Produção e descarte de turbinas são desafios, e turbinas offshore impactam ecossistemas marinhos. Muitos impactos podem ser mitigados com práticas adequadas e inovações na indústria eólica. Busca por soluções sustentáveis é crucial (CARVALHO et al., 2023; MAHELA et al., 2020; VITAL et al., 2023).

Reexaminando a matriz elétrica brasileira (Figura 2.1b), destaca-se a predominância da energia hidráulica, representando 61,9% do total disponível. Apesar de sua importância, os impactos ambientais e a construção complexa geram desafios, levando a tarifas elevadas, especialmente em períodos secos. Na geração eólica, são necessários altos investimentos e os impactos ambientais, como na fauna e no uso de terras, também são relevantes. Ao reavaliar esses indicadores, reforçamos o foco na geração sustentável de energia via fotovoltaica, alternativa para a solução energética global, aproveitando a alta irradiação solar do Brasil, principalmente em

sistemas residenciais (BÜHLER et al., 2015; EPE, 2023; GÜNTZEL, 2018; MME, 2023; MOLLE; FORAN; KÄKÖNEN, 2012).

2.4.4 Geração de energia solar - fotovoltaica

De acordo com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2019), o Brasil ainda não apresenta os índices de radiação mais elevados do globo; entretanto, por ser um país tropical, retém um potencial médio de 2000 kWh/m²/ano, o que já é suficiente para uma boa utilização de tal matriz energética. Ainda de acordo com estudos levantados na segunda edição do Atlas brasileiro de energia solar do próprio INPE, mesmo na região sul, onde se tem os menores índices de radiação solar, há uma certa vantagem do uso de sistemas fotovoltaicos (BARBOSA FILHO et al., 2015; ECOM, 2020).

A energia solar fotovoltaica é gerada por sistemas que convertem luz solar diretamente em eletricidade. Células fotovoltaicas, geralmente compostas de silício, absorvem a luz solar e a transformam em corrente elétrica. Agrupadas em módulos ou painéis solares, formam a base dos sistemas solares. A corrente contínua (CC) gerada é convertida em corrente alternada (CA) por um inversor. A eletricidade pode ser usada localmente, integrada à rede elétrica ou armazenada em baterias. Essa geração elétrica é considerada limpa e renovável, contribuindo para a sustentabilidade e redução das emissões de gases de efeito estufa (ALVES, 2019; KURAMOTO; APPOLONI, 2002; SOARES, 2018; ZHOURI; OLIVEIRA, 2007).

O potencial solar brasileiro, associado ao risco de escassez de energia elétrica devido a usinas hidrelétricas e termoeletricas, impulsiona a busca por alternativas renováveis. A geração fotovoltaica se destaca ao explorar uma fonte renovável com impactos ambientais menores que formas convencionais. É importante reconhecer e mitigar os impactos ambientais de usinas solares, pois sistemas fotovoltaicos, centralizados ou descentralizados, crescem globalmente, impulsionados por demandas e restrições de recursos, agravadas pela degradação ambiental (ANEEL, 2022; BARBOSA FILHO et al., 2015; LIMA; MARIANO NETO; ABRAHÃO, 2022).

Usinas fotovoltaicas podem ser implantadas em dois sistemas, ambos utilizando painéis solares: *On-grid*, conectadas à rede de distribuição (geração centralizada), e *Off-grid*, não conectadas à rede (geração descentralizada). Ambos contribuem para a transição a fontes de energia mais limpas, reduzindo emissões de gases e a dependência de combustíveis fósseis. Os benefícios incluem a diminuição

da pegada de carbono, preservação de recursos e mitigação de impactos climáticos. No entanto, a implantação de usinas fotovoltaicas apresenta desafios, como consumo de recursos na produção de painéis, necessidade de gestão eficaz de resíduos e, em alguns casos, modificação do uso do solo. Essencial abordar esses aspectos para garantir uma transição sustentável (BOGGIAN, 2023; OLIVEIRA, 2023; SOARES, 2018).

Nos sistemas *off-grid*, o excedente de produção é armazenado em baterias, desempenhando um papel crucial em locais remotos. Contudo, para garantir a eficácia e confiabilidade, desafios como dimensionamento, gestão eficiente do armazenamento (baterias) e manutenção são essenciais. O custo inicial pode ser elevado, a produção e o descarte de baterias podem ter impactos ambientais significativos, destacando a necessidade de abordagens sustentáveis. A capacidade de armazenamento influencia diretamente a autonomia do sistema (NARASIMHULU et al., 2023; SUBRAMANIAM et al., 2020).

Sistemas fotovoltaicos *on-grid* integram-se à rede elétrica convencional, permitindo a injeção direta da eletricidade gerada. Essa integração abastece o consumo local e devolve excedentes, gerando créditos. Contudo, há desafios e impactos ambientais, especialmente na qualidade da energia injetada. Variações na geração solar devido às condições climáticas podem causar instabilidades na voltagem e frequência, afetando o fornecimento elétrico e potencialmente danificando equipamentos sensíveis (BENAVENTE et al., 2018; DANTAS; POMPERMAYER, 2018; FREITAS, 2023; MAHELA et al., 2020; NARASIMHULU et al., 2023; URBANETZ JUNIOR, 2010).

Retornando à análise das Figuras 2.1a e 2.1b, notamos que a matriz elétrica global, majoritariamente não renovável, contrasta com a realidade brasileira, destacando-se por uma transição bem-sucedida para fontes mais limpas e sustentáveis, com ênfase na hidrelétrica. A ascensão da geração fotovoltaica, aproveitando o vasto potencial solar nacional, surge como promissora. Contudo, desafios ambientais, tecnológicos e regulatórios demandam abordagem cuidadosa para uma transição eficiente e equilibrada. Soluções inovadoras, investimento em pesquisas de ponta, desenvolvimento e cooperação internacional são cruciais (EPE, 2022, 2023, 2024; FMI, 2024; MME, 2023, 2022; PEB, 2024).

2.5 MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo foi conduzido aproveitando os recursos avançados dos laboratórios de informática da Universidade Evangélica de Goiás, especificamente utilizando a plataforma Scopus da Elsevier. Esta plataforma foi escolhida devido à sua reconhecida excelência no acesso a uma ampla gama de artigos científicos e revisões acadêmicas, essencial para a profundidade de análise requerida neste estudo.

2.5.1 Seleção de Artigos

Iniciamos a revisão sistemática focada nos propósitos globais para a implantação de usinas fotovoltaicas e suas implicações ambientais e de desempenho. A pesquisa foi realizada no Scopus, utilizando uma combinação de termos chave como "*solar energy*", "*photovoltaic*", "*performance*", "*power quality*" e "*environmental impact*". Limitamos nossa busca a artigos publicados nos últimos cinco anos, selecionando aqueles com um número significativo de citações para assegurar a relevância e a atualidade dos dados analisados.

2.5.2 Critérios de Inclusão e Exclusão

Os critérios de inclusão foram estrategicamente definidos para selecionar estudos que abordassem especificamente os propósitos das usinas fotovoltaicas, assim como os benefícios e impactos ambientais associados.

Foram excluídos:

- Artigos publicados entre 2018 e 2022 com menos de 50 citações. Entretanto, para os artigos publicados em 2023, não foi aplicado o critério de quantidade de citações.
- Publicações sem acesso aberto.
- Artigos de revisão e artigos científicos publicados nas línguas diferentes da portuguesa, inglesa, chinesa e alemã.
- Artigos não publicados nas áreas de engenharia, energia, ciências dos materiais e ciências ambientais.

2.5.3 Processo de Triagem e Seleção

O processo de triagem e seleção iniciou com uma análise rigorosa dos títulos, palavras-chave e resumos. Isso foi seguido por uma revisão detalhada dos textos completos para garantir a conformidade com os critérios de inclusão. Dois revisores

independentes executaram a seleção final, resolvendo divergências através de consenso para garantir objetividade e precisão na seleção dos artigos.

2.5.4 Análise de Dados

Adotamos uma abordagem qualitativa para a análise de dados, sistematizando informações relativas aos propósitos, benefícios e impactos das usinas fotovoltaicas. Esta análise envolveu uma síntese cuidadosa dos resultados, permitindo a identificação de padrões e tendências emergentes na literatura recente.

2.5.5 Avaliação da Qualidade dos Estudos

Para assegurar uma avaliação criteriosa da qualidade dos artigos científicos, foi empregado uma matriz de relevância com base nas citações atribuídas a cada trabalho. Nesse sentido, foram considerados tanto o fator de impacto quanto o número de citações de cada artigo selecionado.

2.5.6 Ferramentas e *Softwares*

Utilizamos o *software* - Mendeley de gerenciamento de referências bibliográficas para organizar e gerenciar as referências coletadas, enquanto a análise dos dados foi facilitada pelo uso de planilhas eletrônicas, permitindo uma organização eficiente e uma análise detalhada dos dados coletados.

2.6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, apresentamos os resultados e a discussão deste trabalho de revisão sistemática e cienciometria sobre os propósitos globais para a implantação de usinas fotovoltaicas, com ênfase nos impactos ambientais e na *performance* de geração.

2.6.1 Seleção dos trabalhos

Inicialmente, foram pré-selecionados 3.960 artigos científicos na plataforma Scopus. Após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão descritos no item 2.3.2, que envolvem filtros relacionados a citações, acesso aberto e áreas específicas de estudo, apenas 31 artigos foram selecionados. A aplicação rigorosa desses critérios resultou na exclusão de mais de 99% dos artigos iniciais, garantindo a consistência e a relevância das pesquisas incluídas na análise. Esse processo reforça o foco nas publicações mais pertinentes, assegurando a qualidade e a homogeneidade dos estudos.

Para entender os propósitos das Usinas Fotovoltaicas - UF, apresentamos a Tabela 2.1 com os indicadores detalhados. Os indicadores foram categorizados em Consequências Ambientais (impactos e benefícios) e *Performance* de Geração (governança, produtividade, uso de algoritmos e otimização operacional).

Tabela 2.1 - Estratificação da seleção dos estudos científicos relacionados às implantações das Usinas Fotovoltaicas

Indicadores analisados	Total	Porcentagem	Subdivisão dos indicadores	Períodos estudados				
				2023	2022	2021	2020	2019
Consequências Ambientais	6	19,35%	Impactos ambientais	4				
			Benefícios ambientais	1		1		
<i>Performance</i> de Geração	23	77,19%	Governança	2				
			Produtividade	6			1	1
			Uso de algoritmos	4				1
			Otimização operacional	4		1	1	2
Não estava(m) diretamente correlacionado(s)	2	6,45%	***				2	
Somatório	31			21	0	2	4	4

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

2.6.2 Consequências e benefícios ambientais para o desenvolvimento das UFs

A análise dos indicadores mostra que apenas 6 artigos focaram nas consequências ambientais, representando 19,35% do total. Dos 6 trabalhos, 5 foram publicados em 2023, sendo 4 relacionados aos impactos ambientais e 1 aos benefícios ambientais. Em 2021, foi publicado apenas um trabalho, que avaliou os benefícios ambientais das construções e implementações das usinas fotovoltaicas.

Dos trabalhos avaliados, destacam-se os estudos de Razmjoo et al. (2021), publicado na Revista *Renewable Energy* (Reino Unido). Este trabalho aborda sistemas híbridos sustentáveis, incluindo energia solar fotovoltaica, para geração elétrica limpa e sustentável no Irã, com ênfase na redução de emissões de CO₂. O estudo enfatiza a importância de políticas e investimentos em tecnologias renováveis para impulsionar a energia sustentável. No exame dos indicadores relacionados aos impactos ambientais, destacamos a pesquisa de Abid et al. (2023) publicada pela Revista *Ecological Engineering and Environmental Technology* (Polônia). Neste trabalho, os pesquisadores apontam que as implantações das UFs trazem diversos benefícios, entretanto, ressaltam de maneira crítica os impactos ambientais, destacando não apenas o alto custo de instalação, mas também a baixa eficiência de

operação das UFs. A publicação, apesar de recente, já teve 5 citações, indicando a relevância e o impacto do estudo na comunidade científica (RABAIA et al., 2021).

Continuando a análise da Tabela 2.1, é fundamental destacar que a *performance* de geração tem sido o principal foco dos pesquisadores nas implantações das UFs. Nesse contexto, os indicadores de governança, produtividade, uso de algoritmos e otimização operacional destacam-se como elementos essenciais para assegurar a eficiência dos sistemas de geração e/ou conversão de energia elétrica pelo processo fotovoltaico. Juntos, esses indicadores correspondem a 74,2% dos interesses dos pesquisadores.

2.6.3 Performance de Geração das UFs

Reforçando o foco predominante na eficiência da *performance* de geração, merecem destaque estudos significativos como os de Benavente et al. (2018) e Subramaniam et al. (2020) publicados na Revista Energy (Reino Unido e Suíça), com 55 e 50 citações, respectivamente. Esses estudos abordaram testes com baterias visando melhorias na vida útil e maior disponibilidade de carga para aumentar a produtividade, incluindo modos operacionais do sistema.

Quanto às contribuições científicas mais relevantes relacionadas ao indicador de produtividade, destacamos Talapur et al. (2018) e Dehghani Tafti et al. (2019). Talapur et al. (2018), com 127 citações, propuseram técnicas de controle modificadas para compensar demandas de potência reativa, correntes harmônicas e desequilíbrios de carga, assegurando uma operação aprimorada. Dehghani Tafti et al. (2019), com 75 citações, testaram um modelo de algoritmo de Rastreamento de Ponto de Potência Flexível (FPPT), apresentando resposta rápida às mudanças ambientais e baixas oscilações de potência, contribuindo para aprimorar a *performance* das UFs.

Sobre o emprego de algoritmos e simulações computacionais, ao analisarmos os artigos selecionados, notamos considerável utilização dessas ferramentas. Essa abordagem foi amplamente adotada pelos pesquisadores, buscando melhorar tanto o desempenho das usinas quanto alcançar resultados mais eficazes em termos de benefícios ambientais e redução dos impactos causados pelas instalações das UFs.

2.6.4 Falta de correção com os estudos

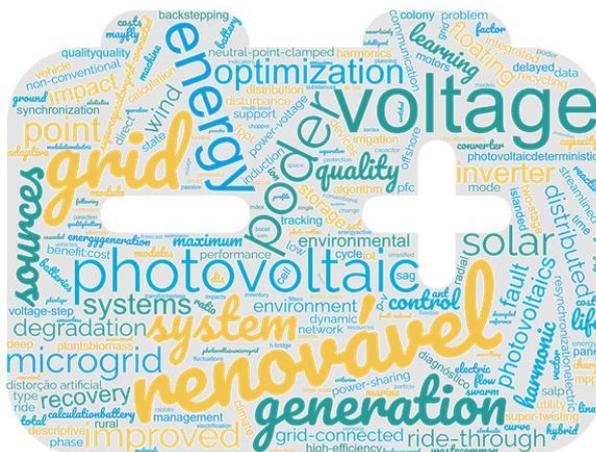
Dos 31 artigos analisados, identificamos que um deles não guardava uma correlação direta com o tema desta análise sistemática e cienciométrica. A pesquisa de Mahela et al. (2020) aborda questões técnicas relacionadas à injeção de energia

elétrica excedente proveniente de fonte de geração eólica. Apesar de tangenciar o tema de geração de energia, optamos por excluir esse estudo específico de nossa análise mais aprofundada, uma vez que sua abordagem se concentra em uma fonte diferente da analisada nos demais artigos, que se dedicam predominantemente à energia solar fotovoltaica.

2.6.5 Principais palavras-chaves

De acordo com estudos Galvão e Ricarte (2019) e Kugley et al. (2017), as palavras-chave são essenciais na comunicação científica, funcionando como entradas para a identificação, acesso e compreensão de trabalhos. Uma seleção precisa facilita a recuperação eficiente de informações, ampliando a visibilidade dos trabalhos. Palavras-chave relevantes contribuem para uma indexação consistente, simplificando a categorização do conhecimento. Logo, investir na escolha adequada dessas palavras é essencial para maximizar o impacto das contribuições dos pesquisadores. Dessa forma, exportamos as palavras-chave utilizadas nos artigos selecionados e utilizamos uma ferramenta para criar uma nuvem de palavras a fim de identificar quais palavras foram mais utilizadas. A apresentação desse conjunto de palavras é mostrada na Figura 2.2.

Figura 2.2 - Estratificação das palavras-chave mais utilizadas pelos autores nos artigos selecionados



Fonte: Elaborado pelos autores a partir da estratificação dos estudos (2023)

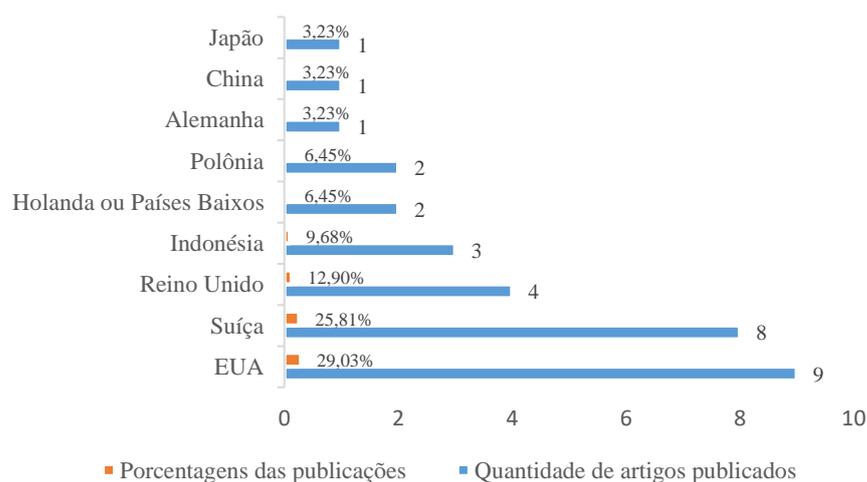
Ao analisarmos a Figura 2.2 e o relatório da ferramenta tecnológica WordClouds – Nuvem de Etiquetas (2024), identificamos que as palavras de maior destaque estão relacionadas à *performance* das UFs, destacando-se o uso de termos como - poder (20), - *energy* (15), - *photovoltaic* (13). Quanto aos quesitos ambientais, destacam-se palavras como - *renewable* (8), *environment/environmental* (3), *impact*

(2). Portanto, as preferências dos pesquisadores evidenciam-se mais uma vez e alinham-se com os resultados apresentados nas Figuras 2.1a e 2.1b – estudos sobre as *performances* de geração das UFs.

2.6.6 Quantidade de publicações por país

Com o objetivo de aprofundar nossa compreensão sobre os países que têm se destacado nas pesquisas sobre os propósitos para o desenvolvimento das Usinas Fotovoltaicas (UFs), realizamos a estratificação e apresentamos os resultados na Figura 2.3. Nessa representação gráfica, evidenciamos as quantidades de publicações por país de origem, acompanhadas do respectivo percentual em relação ao total de 31 publicações.

Figura 2.3 - Levantamento e estratificação das publicações por país de origem das revistas científicas



Fonte: Elaborado pelos autores a partir da estratificação dos estudos (2023)

Na análise desse levantamento, destacamos que os Estados Unidos da América (EUA) lideram com 9 publicações, seguidos pela Suíça com 8 e pelo Reino Unido com 4, representando coletivamente 67,7% do total de estudos. Além disso, de acordo com o Relatório do Fundo Monetário Internacional (2024), esses países ocupam posições destacadas nas maiores economias do mundo, classificando-se como a 1^a, 20^a e 6^a, respectivamente. Essa correlação evidencia a relevância dessas nações nas pesquisas sobre o tema em questão, reforçando a influência desses países tanto em termos de produção científica quanto em poder econômico no cenário das UFs.

Identificamos também que a língua predominante nos originais é o inglês, destacando-se, em números de publicações relevantes pelos números de citações:

Reino Unido (189), Alemanha (137) e Estados Unidos (127). Além disso, constatamos a participação diversificada de pesquisadores de várias nações nesse contexto. Essa abordagem multilateral contribui significativamente para a abrangência e representatividade das pesquisas, enriquecendo a discussão sobre os propósitos para o desenvolvimento das UFs. A diversidade de países dos pesquisadores oferece uma perspectiva global e enriquecedora para o entendimento desses propósitos, promovendo um diálogo mais inclusivo e aberto no campo científico.

A classificação das três principais revistas científicas foi realizada com o intuito de ressaltar a influência e relevância relativa dessas publicações. Consideramos tanto o fator de impacto, que representa a quantidade de citações recebidas pelos artigos publicados, quanto o índice de citação, conhecido como *CiteScore*, que representa a média anual de citações da publicação. As três revistas, juntamente com seus respectivos valores de fator de impacto e índice de citação, são: *Renewable Energy* (EUA) com fator de impacto de 16.1 e *CiteScore* de 8.7, *Environmental Chemistry Letters* com fator de impacto de 15.7 e *CiteScore* de 14.04, e *Applied Energy* com fator de impacto de 11.2 e *CiteScore* de 21.1. Essa abordagem visa proporcionar uma visão clara da importância dessas revistas no cenário científico.

2.6.7 Lacuna de publicações no ano de 2022

No indicador de publicações acadêmicas de 2022, notamos a ausência de trabalhos específicos sobre os propósitos globais para o desenvolvimento de usinas fotovoltaicas, com foco nas consequências ambientais e na *performance* de geração. Embora não possamos afirmar com certeza os motivos dessa lacuna, é plausível considerar que diversos fatores, incluindo a situação global devido à pandemia de Covid-19, possam ter influenciado a produção e divulgação de pesquisas científicas nesse período. Destacamos que muitos dos artigos analisados, embora tenham sido aceitos pelas revistas em 2022, só foram efetivamente publicados em 2023.

2.7 CONCLUSÃO

A partir dos estudos desta revisão sistemática e cienciométrica sobre usinas fotovoltaicas, na abordagem introdutória, destacamos a relevância da matriz elétrica brasileira na transição para fontes mais limpas, com ênfase na hidrelétrica. Contrariamente à matriz elétrica global, predominantemente não renovável, evidencia-se uma transição bem-sucedida no Brasil. A ascensão da geração fotovoltaica,

aproveitando o potencial solar, apresenta-se como uma perspectiva promissora. Entretanto, desafios ambientais, tecnológicos e regulatórios exigem atenção para assegurar a eficiência. O estudo ressalta a importância de soluções inovadoras e cooperação internacional para um futuro sustentável na geração de energia elétrica.

No item de Resultados e Discussões, observamos uma ênfase predominante na pesquisa voltada para a otimização de desempenho em detrimento dos benefícios ambientais, ressaltando a necessidade de maior atenção a essa dimensão crucial, dada a escassez de estudos específicos sobre impactos ambientais. Apresentamos nossas conclusões sobre essa afirmativa:

- Indicadores de governança, produtividade, uso de algoritmos e otimização operacional representaram 74,2% das publicações analisadas.
- Os estudos focaram em melhorias na vida útil e eficiência operacional, evidenciando um foco expressivo na eficiência da geração.
- As palavras-chave evidenciaram ênfase na *performance* das usinas, indicando priorização nesse aspecto nos estudos.
- A representação geográfica destacou Estados Unidos, Suíça e Reino Unido como líderes na pesquisa sobre o desenvolvimento de usinas fotovoltaicas.
- As revistas destacaram trabalhos com alto fator de impacto e números de citações em quesitos ambientais, como *Renewable Energy* (Reino Unido) e *Environmental Chemistry Letters* (Alemanha), bem como em *performance* de geração.

Logo, essa revisão oferece *insights* valiosos para pesquisadores, profissionais e formuladores de políticas, proporcionando uma visão aprofundada dos atuais enfoques na pesquisa sobre usinas fotovoltaicas. Apesar do foco na otimização da *performance*, destaca-se a importância de equilibrar a eficiência operacional com considerações ambientais para o avanço sustentável da energia fotovoltaica.

2.8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABID, M. K. et al. Environmental Impacts of the Solar Photovoltaic Systems in the Context of Globalization. **Ecological Engineering and Environmental Technology**, v. 24, n. 2, p. 231–240, 2023.

ALBUQUERQUE FILHO, J. L.; SAAD, A. R.; ALVARENGA, M. C. DE. Considerações acerca dos Impactos Ambientais em Aquíferos Livres e suas Consequências. **Geociências**, v. 29, n. 3, p. 355–367, 2010.

ALVES, M. O. L. **Energia Solar: Estudo da Geração de Energia Elétrica através dos Sistemas Fotovoltaicos On-Grid e Off-Grid**. 2019. 76p. Monografia (Engenharia Elétrica) - Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Ouro

Preto (UFOP) - João Monlevade/MG, 2019.

ANEEL. **ANEEL apresenta no Senado Federal ações para superar escassez hídrica e reduzir impactos na tarifa de energia.** Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2022/aneel-apresenta-no-senado-federal-aco-es-para-superar-escassez-hidrica-e-reduzir-impactos-na-tarifa-de-energia>>. Acesso em: 23 jan. 2022.

ARIMOTO, A. Reaction to Academic Ranking: Knowledge Production, Faculty Productivity from an International Perspective. In: **University Rankings**. Hiroshima, Japan: Springer Science+Business, 2011. p. 229–258.

BARBOSA FILHO, W. P. et al. Expansão da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil: Impactos Ambientais e Políticas Públicas. **ResearchGate**, p. 16, 2015.

BENAVENTE, F. et al. Photovoltaic / battery system sizing for rural electricity in Bolivia: Considering the suppressed demand effect. **Applied Energy - Elsevier**, v. 235, p. 519–528, 2018.

BERMANN, C. O projeto da usina hidrelétrica Belo Monte: a autocracia energética como paradigma. **Novos Cadernos NAEA**, v. 15, n. 1, p. 5–23, 2012.

BOGGIAN, L. C. C. **Governança e Meio Ambiente: Energia Fotovoltaica e a contribuição para a Agenda 2030 por meio dos objetivos de desenvolvimento sustentável na UniEVANGÉLICA.** 2023. 199p. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Programa de Pós-Graduação em Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente (PPGSTMA), Universidade Evangélica de Goiás (UniEVANGÉLICA) – Anápolis, 2023.

BOZIO, D. DE M. **Perspectivas das energias renováveis e não renováveis nas matrizes energéticas e elétricas.** Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) - Medianeira/PR, 2018.

BÜHLER, A. J. et al. Energia Solar Fotovoltaica e o Setor Elétrico Brasileiro: Situação Atual e Perspectivas. **ASADES - Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente**, v. 19, n. 0, p. 1–23, 2015.

CARVALHO, L. T. F. et al. Revisão sistemática: impactos ambientais e climáticos da implantação de usinas eólicas. **Diversitas Journal**, v. 8, n. 4, p. 2846–2856, 2023.

DANTAS, S. G.; POMPERMAYER, F. M. **Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos no Brasil e possíveis efeitos no setor elétrico.** Brasília/DF: [s.n.]. Disponível em: <https://portalantigo.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/TDs/td_2388.pdf>.

DE LUNA PÁMANES, A. et al. The World University Rankings Model Validation and a Top 50 Universities Predictive Model. **ICCAIS - International Conference on Computer Applications and Information Security**, n. 3, p. 5, 2020.

DEHGHANI TAFTI, H. et al. An Adaptive Control Scheme for Flexible Power Point Tracking in Photovoltaic Systems. **IEEE Transactions on Power Electronics**, v. 34, n. 6, p. 5451–5463, 2019.

DUTRA E SILVA, S. et al. Métricas de producción científica y calificación de revistas como objetivos de gestión universitaria. In: **Nuevas experiencias en gobernanza universitaria.** Bogotá, Colombia: Universidad Santo Tomás - USTA, 2021. p. 21.

ECOM. **Energia solar: saiba escolher o melhor lugar para instalação.** Disponível em: <<https://ecomenergia.com.br/blog/energia-solar-saiba-escolher-o-melhor-lugar-para-instalacao/>>. Acesso em: 23 jan. 2024.

EPE. **Informativo Técnico Nº 011/2022. Apresentação da metodologia e dos fatores de emissão utilizados para as estimativas de emissão de GEE nos planos de energia, no BEN e demais produtos da EPE.** Brasília/DF: [s.n.]. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/areas-de-atuacao/estudos-socioambientais/SiteAssets/Paginas/Emissoes-de-Gases-de-Efeito-Estufa/Informativo_Tecnico_11-2022_fatores_de_emissaoSMA.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2024.

EPE. **Matriz Energética e Elétrica.** Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em: 24 jan. 2023.

EPE. **As principais publicações da EPE. 2024.** Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes>>. Acesso em: 13 mar. 2024.

FMI. **World Economic Outlook Growth Projections.**

- FREITAS, M. V. P. H. DE. **Análise Operativa dos Efeitos de Potência Reativa em um Parque Eólico conectado a uma Subestação 34,5/69 kV**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) - Natal/RN, 2023.
- GALVÃO, M. C. B.; RICARTE, I. L. M. Revisão Sistemática da Literatura: Conceituação, Produção e Publicação. **Logeion: Filosofia da Informação**, v. 6, n. 1, p. 57–73, 2019.
- GÜNTZEL, I. L. **Análise De Viabilidade Técnica E Econômica De Sistemas Fotovoltaicos on-Grid E Off-Grid , Instalados Em Posto De Fotovoltaicos on-Grid E Off-Grid**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) - Pato Branco/PR., 2018.
- INPE, I. N. DE P. E. **Novo sistema facilita consulta sobre potencial de energia solar**. Disponível em: <http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=5087>. Acesso em: 1 fev. 2024.
- JOHNSON, M. P. Uma Geração Sem Terra: Injustiça Ambiental em Comunidades Indígenas Deslocadas por Construções de Hidrelétricas no Brasil, desde os Anos 1980. **HALAC – Historia Ambiental, Latinoamericana y Caribeña**, v. 11, n. 3, p. 25, 2021.
- KOHLER, T. E. G. F. et al. Estudo do Potencial de Geração de Energia Eólica no Estado de Goiás. **Revista Processos Químicos**, v. 14, n. 28, p. 49–60, 2021.
- KUGLEY, S. et al. **Searching for studies: a guide to information retrieval for Campbell systematic reviews**. Iowa, USA: The Campbell Collaboration, 2017. v. 13
- KURAMOTO, R. Y. R.; APPOLONI, C. R. Uma Breve História da Política Nuclear Brasileira. **Departamento de Física UEL**, v. 19, n. 3, p. 379–392, 2002.
- LIMA, P. DE T. D.; MARIANO NETO, M.; ABRAHÃO, R. Análise dos processos de avaliação de impacto ambiental em usinas fotovoltaicas no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 3, p. 1260–1273, 2022.
- MACIAS-CHAPULA, C. A. O papel da informetria e da cienciometria e sua perspectiva nacional e internacional. **Ciência da Informação**, v. 27, n. 2, p. 134–140, 1998.
- MAHELA, O. P. et al. Assessment of power quality in the utility grid integrated with wind energy generation. **IET Power Electronics**, v. 13, n. 13, p. 2917–2925, 2020.
- MARTINS, F. R.; GUARNIERI, R. A.; PEREIRA, E. B. O aproveitamento da energia eólica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 30, n. 1, p. 1–13, 2008.
- MEHO, L. I. Highly prestigious international academic awards and their impact on university rankings. **Quantitative Science Studies**, v. 1, n. 2, p. 824–848, 2020.
- MME. **Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional 2023 – Ano base 2022 (BEN 2022)**. Brasília/DF: Ministério de Minas e Energia - MME, 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-631/BEN_Síntese_2022_PT.pdf>. Acesso em: 23 jan. 2024.
- MME, E. DE P. E. **Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional 2022 – Ano base 2021 (BEN 2021)Ministério de Minas e Energia**. Brasília/DF: [s.n.]. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2022>>. Acesso em: 23 jan. 2024.
- MOLLE, F.; FORAN, T.; KÄKÖNEN, M. **Contested Waterscapes in the Mekong Region - Hydropower, Livelihoods and Governance**. London-UK: Chiang Mai University, Thailand, 2012. v. 14
- MORAN, M. J. N. et al. **Princípios de termodinâmica para engenharia**. 8ª ed. São Paulo/SP: Grupo Gen-LTC, 2018.
- NARASIMHULU, N. et al. Analysis and Impacts of Grid Integrated Photo-Voltaic and Electric Vehicle on Power Quality Issues. **Energies**, v. 16, n. 2, p. 1–18, 2023.
- OLIVEIRA, J. V. G. DE. **O Consumo de Energia Elétrica na Universidade Federal de Ouro Preto, Campus Morro do Cruzeiro, e o Impacto da Geração Fotovoltaica**. Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) - Ouro Preto/MG., 2023.
- PEB. **Quais são os incentivos governamentais para o uso de energia solar no Brasil. 2024**.

Disponível em: <<https://portalenergiabrasil.com.br/energia-solar-7-icentivos-no-brasil/>>. Acesso em: 23 jan. 2024.

PEGUIM, C. N. Estado e Desenvolvimento Sustentável no Brasil: Água, Biomassa e Petróleo (1992 - 2012). **Historia Ambiental Latinoamericana y Caribeña (HALAC) revista de la Solcha**, v. 7, n. 2, p. 130–142, 2018.

PEREIRA, E. DOS S.; SANTOS, M. M. DA S.; TARGA, M. S. Impactos ambientais da usina hidrelétrica de Estreito, MA – Amazonia - Brasil : uma revisão integrativa. **Revista Técnicas Ciências Ambientais**, v. 1, n. 7, p. 1–12, 2023.

RABAIA, M. K. H. et al. Environmental impacts of solar energy systems: A review. **Science of the Total Environment**, v. 754, p. 19, 2021.

RAZMJOO, A. et al. A Technical analysis investigating energy sustainability utilizing reliable renewable energy sources to reduce CO2 emissions in a high potential area. **Renewable Energy**, v. 164, p. 46–57, 2021.

SOARES, M. O Uso de Fontes de Energia Elétrica Fotovoltaica pela População de Ji-Paraná, Está havendo viabilidade econômica e quais ss impactos na região? **Estudos em Ciências**, v. 1, p. 18, 2018.

SUBRAMANIAM, U. et al. A hybrid PV-battery system for ON-grid and off-grid applications-controller-in-loop simulation validation. **Energies**, v. 13, n. 3, p. 1–19, 2020.

TALAPUR, G. G. et al. A Reliable Microgrid with Seamless Transition between Grid Connected and Islanded Mode for Residential Community with Enhanced Power Quality. **IEEE Transactions on Industry Applications**, v. 54, n. 5, p. 5246–5255, 2018.

UNESP, U. E. P. **Modelos de referências e citações Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação Biblioteca Prof. “Paulo de Carvalho Mattos”**. Botucatu/SP.: Faculdade de Ciências Agrônômicas - Universidade Estadual Paulista - Campus de Botucatu (UNESP), 2012. Disponível em: <<https://www.fca.unesp.br/Home/PosGraduacao/folheto.pdf>>.

URBANETZ JUNIOR, J. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Redes de Distribuição Urbanas: Sua Influência na Qualidade da Energia Elétrica e Análise dos Parâmetros que possam Afetar a Conectividade**. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) - Florianópolis/SC, 2010.

VITAL, L. V. M. et al. Estudo dos impactos da implantação de usinas eólicas no município de Jandaíra/RN. **Revista Eletrônica de Engenharia Elétrica e Engenharia Mecânica**, v. 5, n. 2, p. 75–85, 2023.

WORDCLOUDS. **Nuvem de Palavras**. Disponível em: <<https://www.wordclouds.com/>>. Acesso em: 1 fev. 2024.

ZHOURI, A.; OLIVEIRA, R. Desenvolvimento, conflitos sociais e violência no Brasil rural: o caso das usinas hidrelétricas. **Ambiente & Sociedade**, v. 10, n. 2, p. 119–135, 2007.

3 CAPÍTULO II

Aplicação da Estatística e da Série Temporal como Ferramenta de Gestão na Geração de Energia Elétrica: Estudo de Caso na Usina Fotovoltaica da UniEVANGÉLICA (2020-2023)

Statistics and Time Series Application as a Management Tool in Electricity Generation: Case Study at the UniEVANGÉLICA Photovoltaic Plant (2020-2023)

3.1 RESUMO

A governança universitária é vital para a sustentabilidade e adaptação às novas práticas educacionais, impulsionada pelos *rankings* que medem impactos científicos, sociais e ambientais. Portanto, a medição e o monitoramento eficientes são essenciais para a gestão e melhoria contínua nas Instituições de Ensino. A aplicação sistemática de estatística, tanto descritiva quanto exploratória, potencializa os benefícios dessas medições. Esta pesquisa investiga o uso de ferramentas estatísticas e técnicas de série temporal para medir, monitorar e projetar futuras gerações de energia elétrica produzida na Usina Fotovoltaica da Universidade Evangélica de Goiás (UF-Uni), avaliando sua conformidade com a governança universitária e padrões globais de desenvolvimento sustentável. Realizaram-se estudos dos indicadores de geração de energia da UF-Uni de 2020 a 2023, monitorados pelo *Software Fimer*[®]. Utilizou-se o laboratório de informática do Programa de Pós-Graduação em Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente (PPGSTMA) para acessar plataformas de busca científica. A análise dos dados, feita no *Excel*[®] para estatística descritiva e na Plataforma *Google Colaboratory*[®] para estatística exploratória (série temporal) via Python, indicou que os dados seguem uma distribuição normal, sem outliers ou tendências significativas, com estacionariedade confirmada, permitindo previsões para os próximos 12 meses. Os resultados demonstram que as ferramentas estatísticas e a técnica de série temporal são inovadoras no monitoramento de usinas fotovoltaicas, alinhando essas práticas à governança universitária e aos padrões de desenvolvimento sustentável global.

Palavras-chave: Ciências Ambientais. Energia Renovável. Eficiência Energética. Governança. Indicadores gerenciais.

3.2 ABSTRACT

University governance is vital for sustainability and adaptation to new educational practices, driven by rankings that measure scientific, social, and environmental impacts. Therefore, efficient measurement and monitoring are essential for continuous improvement in educational institutions. The systematic application of statistics, both descriptive and exploratory, enhances these benefits. This research investigates using statistical tools and time series techniques to measure, monitor, and project future electricity generation at the Evangelical University of Goiás Photovoltaic Plant (UF-Uni), evaluating its compliance with university governance and global sustainable development standards. Studies were conducted on UF-Uni's energy generation indicators from 2020 to 2023, monitored by Fimer[®] Software. The computer lab of the Postgraduate Program in Society, Technology, and Environment (PPGSTMA) was used to access scientific search platforms. Data analysis, conducted in Excel[®] for descriptive statistics and the Google Colaboratory[®] platform for exploratory statistics (time series) via Python, indicated that the data follows a normal distribution, with no outliers or significant trends, and confirmed stationarity, allowing predictions for the next 12 months. The results demonstrate that statistical tools and the time series technique are innovative in monitoring photovoltaic plants, aligning these practices with university governance and global sustainable development standards.

Keywords: *Environmental Sciences, Renewable Energy, Energy Efficiency, Governance, Management Indicators.*

3.3 INTRODUÇÃO

A governança universitária é um pilar fundamental na gestão da sustentabilidade das instituições de ensino superior, sendo amplamente discutida tanto no Brasil quanto globalmente (CONTRERAS et al., 2021). Recentemente, a ênfase crescente dos ranqueamentos e critérios de avaliação das universidades no impacto científico tem influenciado diretamente políticas e investimentos em pesquisa e infraestrutura (ARIMOTO, 2011; MEHO, 2020; PÁMANES et al., 2020).

Essa valorização da produção científica, baseada em métricas de produtividade, reforça políticas de sustentabilidade e ajusta as instituições aos desafios do cenário educacional global (SALMI, 2009; TAKAYANAGUI, 2019). Os ranqueamentos destacam a excelência acadêmica e promovem uma avaliação do

impacto social e ambiental, expandindo o conceito de sustentabilidade para além da governança financeira.

A prática de ranquear instituições de ensino superior começou com a *US News & World Report* na década de 1980, introduzindo uma nova dinâmica na avaliação acadêmica que influenciou globalmente as políticas de gestão universitária (DILL; SOO, 2004). Na década de 1990, o advento de *rankings* no Reino Unido estabeleceu *benchmarks* globais para avaliação de escolas de negócios, pressionando universidades a alinhar suas operações a padrões internacionais de excelência (HAZELKORN, 2010).

As métricas de governança universitária transcendem fronteiras nacionais, refletindo a globalização e internacionalização do ensino superior. Instituições ao redor do mundo estabelecem metas de desempenho baseadas na produtividade científica, em resposta aos padrões de *rankings* internacionais (SALMI, 2009). Apesar de serem poderosas para promover a competitividade acadêmica, os *rankings* enfrentam críticas por sua falta de neutralidade e por impulsionarem uma visão unidimensional de qualidade. A governança moderna envolve a formulação de políticas que promovam sustentabilidade e responsabilidade social, estabelecendo uma identidade institucional forte que atraia recursos e estudantes (DUTRA E SILVA et al., 2021; HAZELKORN, 2010). Nesse estudo consideramos a sustentabilidade como um movimento histórico aliando a concepções de desenvolvimento, cujos processos se iniciaram como um movimento sociopolítico oriundos de questionamentos globais relacionados à contaminação dos ambientes naturais e dos seres humanos, fruto das atividades industriais (FERNANDES, 2021). Mas também como um movimento que se expande para processos mais amplos de sustentabilidade, no qual as energias e recursos renováveis estão vinculados (KNISS et al., 2022).

Este estudo explora como a governança universitária pode ser aprimorada por meio de análises estatísticas e técnicas de séries temporais na Usina Fotovoltaica da Universidade Evangélica de Goiás – UniEVANGÉLICA (UF-Uni). Pretende-se medir e monitorar a eficácia energética e a adesão às práticas de governança e desenvolvimento sustentável, buscando oferecer um modelo replicável que una excelência acadêmica a compromissos ambientais e sociais. Assim, essa pesquisa visa analisar a aplicação de ferramentas estatísticas e o uso da técnica de série temporal para medir, monitorar e projetar gerações futuras da energia elétrica

produzida na UF-Uni, e a sua adesão à governança universitária e aos padrões globais de desenvolvimento sustentável.

3.4 REVISÃO DA LITERATURA

A Importância de Medição e Monitoramento nos Processos Gerenciais e Ambientais

Em seus trabalhos Antonov; Ivanova; Tumin, (2020) enfatizam a importância vital da medição e monitoramento gerencial para avaliar o desempenho e apoiar decisões estratégicas. Essas práticas fornecem dados precisos, essenciais para um acompanhamento dinâmico e para realizar ajustes alinhados com as metas de desenvolvimento. A eficácia dessas operações depende significativamente do uso de comunicações seguras via internet ou intranet.

A medição e o monitoramento em sistemas ambientais são essenciais para a sustentabilidade e a melhoria contínua. Logo, a Norma ISO 14001 (2015) fornece diretrizes para uma gestão abrangente desses sistemas. Pesquisas demonstram uma correlação positiva entre o monitoramento ambiental e o desempenho organizacional, beneficiando inclusive pequenas empresas.

Além disso, a utilização de Inteligência Artificial (IA) para detectar anomalias e otimizar a manutenção em sistemas de geração de energia está em expansão. Algoritmos e técnicas de aprendizado de máquina são cada vez mais empregados para identificar ineficiências e prever falhas, aprimorando a gestão dos dados por meio de estatísticas descritivas e exploratórias. O domínio dessas técnicas estatísticas e de IA é essencial para o desenvolvimento de ferramentas gerenciais que melhoram a tomada de decisões e a previsão de desempenho futuro em usinas fotovoltaicas, fortalecendo a governança e o desenvolvimento sustentável (LAZZARETTI et al., 2020).

3.4.1 Estatística descritiva

A estatística descritiva é fundamental para sumarizar e interpretar dados, dividindo-se em três áreas principais: organização de dados, medidas de tendência central e variabilidade, e análise da distribuição dos dados. Em dados categóricos, utiliza-se contagens de frequência e percentagens para esclarecer distribuições, enquanto em dados numéricos, aplica-se média, mediana e moda para indicar

posições centrais. Ferramentas visuais como: figuras, tabelas e gráficos são cruciais para apresentar essas informações (SNEDECOR, 1956).

Medidas de variabilidade, como o desvio padrão, mostram a dispersão dos dados em torno da média, e a análise de distribuição avalia a assimetria e a concentração dos dados, revelando características importantes da estrutura dos dados (COOKSEY, 2020). Essas análises fornecem uma compreensão profunda dos dados, essencial para a tomada de decisões informadas e análises estatísticas mais detalhadas (ZULKIPLI; SATARI; WAN YUSOFF, 2020).

3.4.2 Estatística Exploratória

De acordo com a definição de alguns autores Tukey, (1993), Kwiatkowski et al., (1992) e Shapiro; Wilk, (1965) a Estatística Exploratória avança além da descrição básica dos dados, utilizando métodos avançados para investigar padrões e relações em conjuntos de dados complexos.

3.4.3 Análise Exploratória de Dados

A Análise Exploratória de Dados (EDA) inclui desde a organização até a análise intensiva de dados, gerando *insights* cruciais para diversos campos de estudo. Sagala; Aryatama (2022) aplicaram a técnica de EDA em seus estudos para visualizar, analisar correlações, identificar outliers e realizar testes estatísticos, explorando relações multivariadas e tendências temporais.

Esta fase aprofunda o entendimento de conjuntos de dados complexos combinando técnicas tradicionais e métodos inovadores, como algoritmos e aprendizado de máquina. Ela direciona metodologias avançadas e modelagens estatísticas complexas, permitindo identificar padrões e relações ocultas que aprimoram a capacidade de previsão e análise (SAGALA; ARYATAMA, 2022).

3.4.4 Aplicações Práticas

A análise exploratória é essencial em áreas como agricultura, saúde e indústria. Na agricultura, a IA auxilia no manejo de recursos e monitoramento de cultivos, melhorando a eficiência e sustentabilidade (BARBOSA et al., 2022). Na saúde, a IA transforma práticas administrativas e clínicas, mas enfrenta desafios como a normalização regulamentar e a proteção da privacidade (JUNGWIRTH; HALUZA, 2023; RANI et al., 2023). Na indústria de alimentos, a IA é crucial para assegurar qualidade e segurança dos produtos (ESPÍN et al., 2023).

No setor de energia solar, técnicas de IA como Redes Neurais Artificial (RNA) e aprendizado profundo estão revolucionando a eficiência dos sistemas fotovoltaicos. Algoritmos avançados e a integração com plataformas – Internet das Coisas (IoT) facilitam a manutenção remota e melhoram a confiabilidade e eficiência (MASOUD et al., 2022; ROMERO et al., 2022).

3.4.5 Integração com Tecnologia Avançada

O uso de inteligência artificial em análise exploratória permite avanços significativos na otimização de processos industriais e na eficiência energética em sistemas fotovoltaicos. A aplicação de técnicas como RNA e aprendizado profundo na detecção de falhas e na previsão de energia demonstra a capacidade desta abordagem de integrar-se com tecnologias emergentes para melhorar os resultados e a sustentabilidade das operações (GOPALAN; BAKTHAVATSALAM; NARASIMMAN, 2022; KALAY et al., 2023; SPILLOTIS et al., 2018).

3.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Nossos estudos analisaram os indicadores de geração de energia da Usina Fotovoltaica da UniEVANGÉLICA de 2020 a 2023. A UF-Uni – Figura 3.1, inaugurada em outubro de 2019, com 2.900 módulos e 29 inversores instalados em 5.655 m² de um dos estacionamentos da Instituição, gera 957 (Kilowatt-pico), projetada para cobrir cerca de 40% das necessidades energéticas da universidade e conectou-se à rede de 13.800 V (UNIEVANGÉLICA, 2019).

Figura 3.1 - Usina Fotovoltaica da UniEVANGÉLICA



Fonte: UniEVANGÉLICA (2019)

3.5.1 Software de gerenciamento dos indicadores de geração

Utilizamos o Software Fimer® (Plant Viewer - Aurora Vision - versão 3.7) para o monitoramento, adequado para usuários residenciais e comerciais. Este sistema

facilitou o acompanhamento de métricas de energia, atualizando os indicadores de geração a cada 15 minutos (FIMER, 2024). Analisamos os dados no Excel® para apoiar decisões estratégicas e estudos de séries temporais.

3.5.2 Pesquisa Bibliográfica

Realizamos buscas e seleções de literatura nos laboratórios de informática do Programa de Pós-Graduação em Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente (PPGSTMA) da UniEVANGÉLICA (2024), acessando plataformas especializadas. Seleccionamos artigos, dissertações, teses e capítulos que abordam o monitoramento de processos gerenciais e ambientais, o uso de estatísticas descritiva e exploratória, e a aplicação de IA e RNA em análises de dados. A triagem se baseou na análise de títulos, palavras-chave e resumos, complementada por uma avaliação detalhada para verificar a aderência aos critérios de inclusão e exclusão.

3.5.3 Análise dos dados

A estatística descritiva, por meio da análise exploratória dos dados, foi aplicada com o objetivo de conhecer e visualizar o comportamento das variáveis em estudo a partir dos dados originais. A ferramenta suplementar do Excel® (Análise de Dados) foi usada para o cálculo dos valores estatísticos. Os dados analisados podem ser visualizados por meio da Tabela 3.1 (Resultados e Discussão).

Para a análise exploratória, utilizamos a linguagem de programação – *Python* – *Google Colaboratory* (2024) com métodos estatísticos de Série Temporal aplicados para sequenciar observações de variáveis ao longo do tempo (GOPALAN; BAKTHAVATSALAM; NARASIMMAN, 2022; HAMILTON, 1997; YAXI; CHAORAN; HAO, 2022).

3.6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3.1, destacamos os indicadores de geração de energia elétrica da UF-Uni durante o período estudado em Megawatt-hora (MWh).

Tabela 3.1 - Indicadores de geração de energia elétrica em MWh.

Ano/mês	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Média
2020	80,6	88,8	91,9	96,5	115,3	111,6	117,3	122,4	118,9	104,2	109,9	103,1	105,0
2021	104,1	71,0	94,3	99,2	100,7	85,0	104,2	117,9	119,3	106,9	83,7	91,8	98,2
2022	99,7	90,3	92,3	95,2	107,9	95,1	87,2	125,9	122,9	123,1	117,2	99,9	104,7
2023	114,4	111,1	90,7	89,9	107,9	88,8	95,0	105,3	116,1	117,6	110,6	122,2	105,8
Média	99,7	90,3	92,3	95,2	107,9	95,1	100,9	117,9	119,3	113,0	105,4	104,3	103,4

Legenda: [Jan...Dez] = Meses do ano.

Fonte: Elaborado pelo autor com dados fornecidos pela AEE (2023)

A UF-Uni registrou sua máxima de geração em 2023, com 105,8 MWh, destacando-se a maior média mensal em setembro (119,3 MWh). Contudo, devido a problemas técnicos no *software* de gerenciamento, não foi possível medir em agosto e setembro de 2021 e de janeiro a julho de 2022. Para esses períodos, substituímos os valores pela média, visando fornecer indicadores mais confiáveis para estudos de séries temporais, permitindo projeções e categorização dos dados. Para aprofundar a análise dos indicadores de geração, apresentamos as medidas estatísticas correspondentes na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Estatística descritiva dos indicadores de geração.

	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Média
μ	99,7	90,3	92,3	95,2	107,9	95,1	100,9	117,9	119,3	113,0	105,4	104,3	103,4
SE	5,5	6,4	0,6	1,5	2,3	4,5	5,0	3,5	1,1	3,4	5,7	5,0	1,4
Md	99,7	90,3	92,3	95,2	107,9	95,1	100,9	117,9	119,3	113,0	109,9	103,1	104,7
σ	12,3	14,2	1,3	3,4	5,2	10,2	11,2	7,8	2,4	7,7	12,8	11,1	3,1
S^2	150,6	201,6	1,7	11,4	26,6	103,5	125,9	61,0	5,7	59,0	164,9	124,2	9,4
Min	80,6	71,0	90,7	89,9	100,7	85,0	87,2	105,3	116,1	104,2	83,7	91,8	98,2
Max	114,4	111,1	94,3	99,2	115,3	111,6	117,3	125,9	122,9	123,1	117,2	122,2	105,8
Σ	498,6	451,5	461,6	475,9	539,7	475,7	504,6	589,3	596,4	564,8	526,8	521,4	517,2

Legenda: μ = Média; SE = Erro padrão; Md = Mediana; σ = Desvio Padrão; S^2 = Variância; Min = Mínimo; Max = Máximo; Σ = Soma; [Jan...Dez] = Meses do ano.

Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Conforme mencionado anteriormente, o pico máximo de geração ocorre em setembro, atingindo 119,3 MWh. Ao aprofundar a análise dessa métrica estatística, observa-se que as maiores gerações se destacam nos meses de agosto a dezembro. Estudos apresentam que a maior luminosidade solar ocorre na estação da primavera Fernandes et al. (2018) e este fato é observado nos dados que mostram a maior incidência no mesmo período. Ainda, conforme apresentado na Tabela 3.2, a geração mínima mensal foi de 71 MWh (fevereiro), provavelmente devido ao período chuvoso, enquanto a máxima atingiu 125,9 MWh (agosto), em dias mais ensolarados com maior irradiação solar.

De acordo com Cooksey (2020) e Fernandez (1988), o erro padrão representa a dispersão dos dados em torno da média, evidenciando que os menores e maiores valores foram de 0,6 e 6,4, respectivamente, nos meses de março e fevereiro. Quando comparado com a média mensal, o valor encontrado foi de 1,4. Analisando os dados, é possível observar discrepâncias nos valores medidos, com a variância da amostra destacando-se com maior evidência.

A análise exploratória dos dados foi realizada utilizando a Técnica de Programação - Série Temporal. A sequência de observação da variável "geração de

energia elétrica" ao longo do tempo foi estudada com a linguagem de programação *Python*. A Tabela 3.3 apresenta a Série Temporal criada pelo *Google Colab*[®] a partir dos indicadores de geração da UF-Uni entre 2020 e 2023.

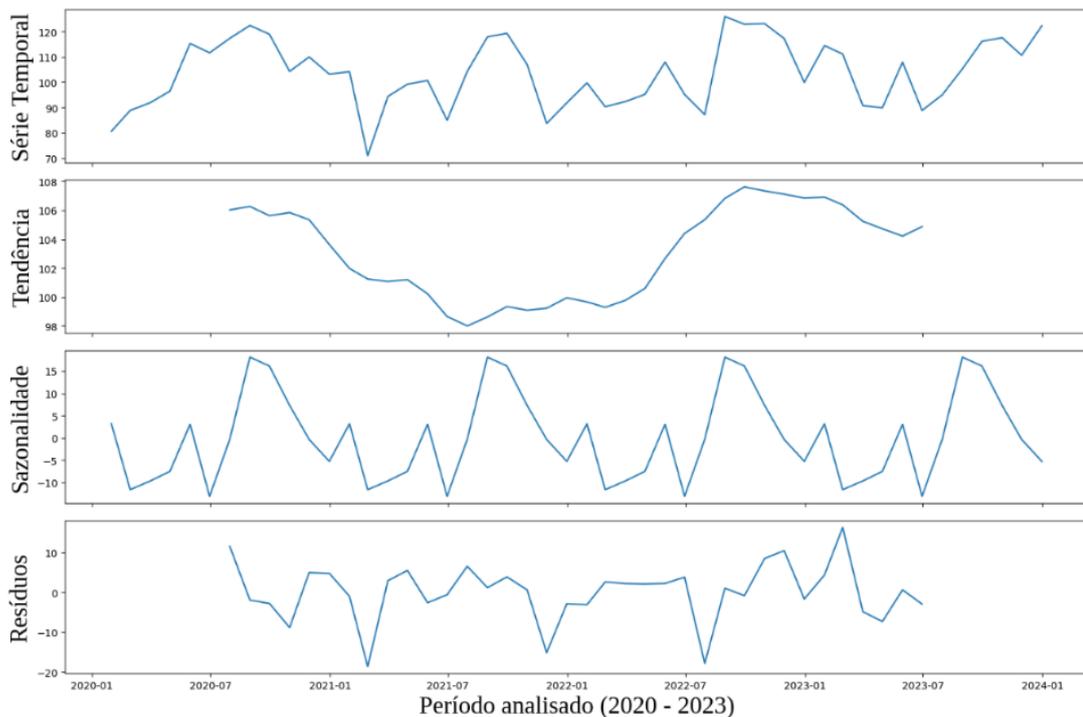
Tabela 3.3 - Série Temporal (formato de tabela originário de data frame)

	Ano	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
0	2020	80.58	88.83	91.91	96.46	115.26	111.59	117.29	122.39	118.90	104.25	109.95	103.15
1	2021	104.14	70.99	94.35	99.19	100.67	84.97	104.25	117.86	119.29	106.95	83.68	91.83
2	2022	99.72	90.30	92.32	95.18	107.94	95.13	87.17	125.93	122.86	123.10	117.24	99.91
3	2023	114.44	111.08	90.72	89.88	107.89	88.83	94.98	105.27	116.11	117.55	110.61	122.21

Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

A Tabela 3.3 apresenta os resultados da decomposição da Série Temporal em estudos. Essa técnica desmembra a série em componentes como tendência, sazonalidade e resíduos, auxiliando na compreensão dos padrões e tendências dos dados, proporcionando uma análise mais aprofundada e precisa. Já a Figura 2 apresenta a decomposição dos dados por meio da técnica de programação Série Temporal.

Figura 3.2 - Representação da decomposição da Série Temporal (Série Temporal, Tendência, Sazonalidade e Resíduos).



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Analisando a Figura 3.2, primeiro gráfico apresenta o comportamento da distribuição da Série Temporal da geração de energia elétrica em forma de linha contínua. Esse tipo de gráfico, segundo Pyzdek (2021), proporciona uma

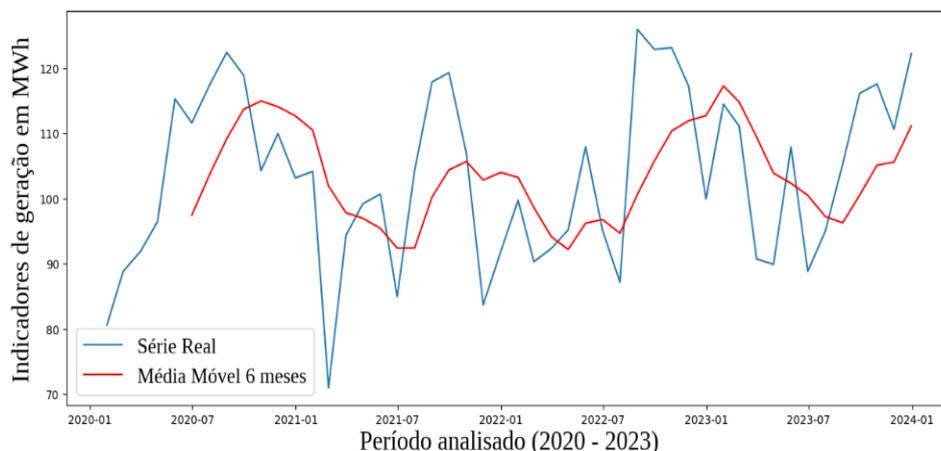
representação visual clara e suave das mudanças nos valores. A análise revela a ausência de crescimento ou decréscimo na geração de energia elétrica durante o período estudado.

Já o segundo gráfico (Tendência) mostra estagnação ou picos na geração da usina (capacidade de 957 kWp), indicando ausência de crescimento. A tendência revela a direção geral dos dados, indicando se a série está aumentando, diminuindo ou permanecendo constante (PYZDEK, 2021). Esse resultado é mais claro nos estudos sobre Média Móvel – vide Gráfico 2.

Dando continuidade à análise, o último gráfico destaca a presença dos resíduos, com valores entre -20 a 10 MWh. Resíduos são as variações não explicadas pelos componentes anteriores, incluindo ruído aleatório ou variações irregulares na série (FERNANDEZ, 1988; ZULKIPLI et al., 2020). Os valores médios encontrados são considerados "resíduos de tamanho moderado", indicando que as estimativas estão próximas dos valores reais. Fernandez, (2018) destaca a relevância da análise de resíduos na estatística, especialmente na ANOVA, para identificar violações nos pressupostos como heterogeneidade de variância, falta de independência e valores atípicos.

A fim de melhor entendermos as tendências de geração de energia elétrica da UF (Usina Fotovoltaica) em estudos, a Figura 3.3 apresenta a técnica de média móvel comparando-a com os dados originais.

Figura 3.3 - Suavização da média móvel - Série Temporal



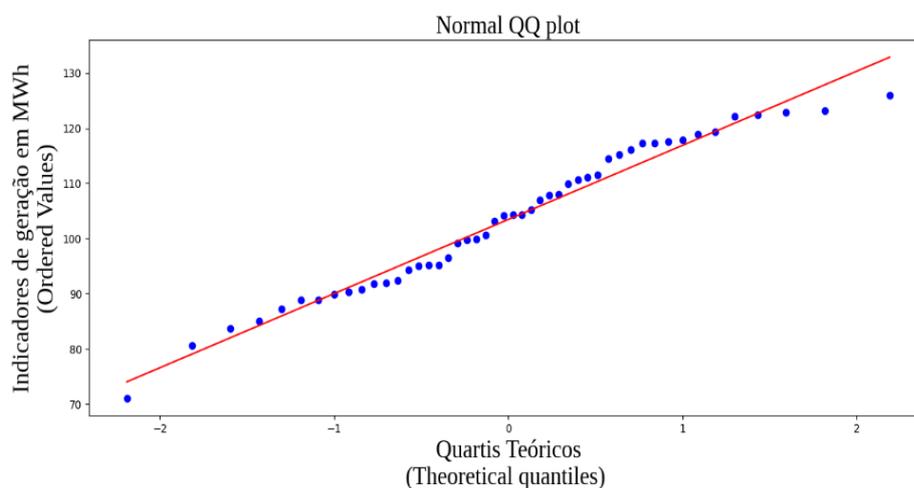
Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

A média móvel é utilizada para identificar a tendência de um conjunto de dados dispostos em uma série temporal. Essa técnica ajuda a compreender a direção dos dados: se seguirão uma tendência de alta, se cairão ou se permanecerão

estacionários Yaxi et al. (2022). Ao analisar a Figura 3.3, comparando o comportamento da média móvel (em vermelho) com os dados da série temporal original (em azul), nota-se uma amplitude menor, confirmando a ausência de uma tendência positiva ou negativa nos indicadores de geração. Também é possível perceber a sazonalidade, com valores menores no início do ano e maiores gerações nos meses finais de cada intervalo anual.

Os gráficos QQ, no contexto estatístico, referem-se à técnica Quantile-Quantile (Quantil-Quantil). Esses gráficos, segundo Subha et al. (2022), avaliam o ajuste dos dados observados a uma distribuição teórica, comparando quantis da amostra com quantis da distribuição, oferecendo *insights* sobre a adequação dos dados ao modelo proposto. A Figura 3.4 apresenta o comportamento da distribuição dos indicadores de geração da UF-Uni em relação à linha de referência.

Figura 3.4 - Normal QQ Plot - Série Temporal



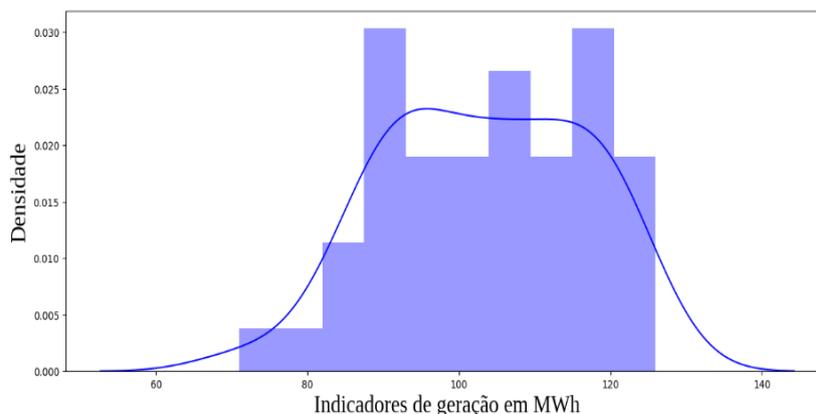
Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Ao analisar a Figura 3.4, observa-se que os pontos em azul estão próximos à linha vermelha no QQ-Plot, sugerindo que a série temporal em estudo segue uma distribuição normal. Contudo, para melhor validar essa conclusão, foram necessários testes de normalidade, Shapiro e Wilk (1965) e Tukey (1993).

Logo, os resultados do teste de Shapiro e Wilk (1965) encontrados são: estatística de teste = 0.96912 e p-valor = 0.23396, com um nível de significância de 5%. Como o p-valor é maior que 0.05, concluímos que não há evidências suficientes para rejeitar a hipótese nula de que os indicadores de geração seguem uma distribuição normal. Caso contrário, seria recomendável aplicar transformações logarítmicas e/ou raiz cúbica para buscar uma distribuição normal. Resultados mais

evidentes são apresentados na Figura 3.5, que mostra detalhes adicionais sobre a distribuição dos indicadores de geração da UF-Uni.

Figura 3.5 - Histograma: Indicadores de geração de energia x Densidade



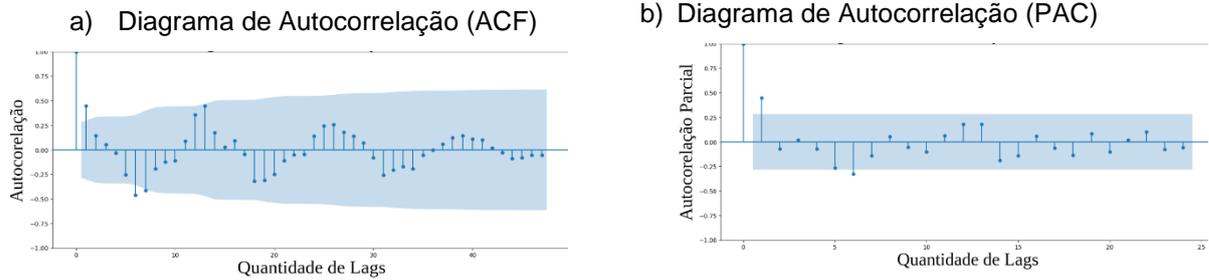
Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Apesar de pequenas discrepâncias, a maioria das representações dos dados está alinhada com a curva de distribuição normal. Essa constatação é evidenciada pela análise direta dos dados e pelo histograma, onde a distribuição simétrica em torno da média reforça o ajuste aos padrões esperados pela teoria estatística. Essa consistência com a distribuição normal fortalece a confiabilidade das inferências e análises realizadas nos dados da geração de energia elétrica.

Outra técnica amplamente utilizada na análise de séries temporais é a estacionaridade, que verifica a consistência das propriedades estatísticas ao longo do tempo. No teste de KPSS - Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (1992), os resultados foram: estatística de teste = 0.1227 com significância de 5%. Como o valor do teste é inferior ao nível crítico de 0.4630, concluímos que os indicadores de geração são estacionários. Conseqüentemente, as medidas estatísticas - média, variância e estrutura de autocorrelação - não mudaram bruscamente durante o intervalo de estudos.

Ainda, para evidenciar melhor a autorrelação, os gráficos mostrados nas Figuras 3.6a e 3.6b apresentam o comportamento dos dados, onde a Análise de Autocorrelação (ACF) e Análise de Autocorrelação Parcial (PAC) fornece *insights* importantes sobre a dependência temporal dos dados.

Figura 3.6 - Quantidade de lags na autocorrelação



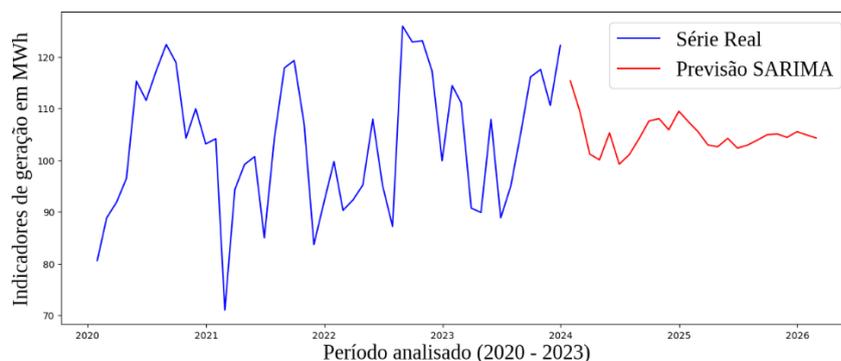
Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Na Figura 3.6a, a maioria dos lags/atrasos (total de 47) está dentro do intervalo de confiança, indicando que não há autocorrelação significativa entre a série em estudo e suas observações passadas, com relevância estatística. Além disso, observa-se a presença de sazonalidade e a ausência de tendência nos indicadores de geração.

De forma semelhante, na Figura 3.6b, a maioria dos lags está também dentro do intervalo de confiança, indicando ausência de autocorrelação parcial espaçada ou intercalada. Também é possível identificar a presença de sazonalidade e a ausência de tendência. A principal diferença é que o PACF destaca a correlação direta em uma defasagem específica, proporcionando uma identificação mais clara de padrões na dependência temporal dos dados. Para o ajuste dos gráficos, foram inseridos apenas 24 lags. O primeiro lag não é considerado devido à redundância na autocorrelação, representando a autocorrelação da série consigo mesma sem defasagem, resultando sempre em 1, o que evita redundâncias na análise.

Com base nas métricas estatísticas descritivas e na análise dos dados por meio da estatística exploratória concluídas, é possível avançar para a projeção da geração futura da UF-Uni por meio da técnica de cálculo em série temporal, como apresentado na Figura 3.7.

Figura 3.7 - Previsão da Série Temporal de gerações futuras de energia elétrica



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Ao analisarmos a Figura 3.7, observamos que a série original (linha azul) destaca a distribuição normal dos dados, a estacionariedade dos indicadores de geração e a ausência de autocorrelação e autocorrelação parcial. A previsão futura de geração de energia elétrica da UF-Uni (linha vermelha) mostra um comportamento semelhante à série original, mas há um achatamento dos valores a partir de março de 2025. Portanto, as melhores projeções das gerações futuras são mais precisas para os próximos 12 a 15 meses.

Não há consenso sobre a quantidade mínima de amostras necessárias para previsões futuras em séries temporais. Estudiosos como Cooksey (2020), Andrade et al. (2021) e Pyzdek (2021) sugerem que os principais fatores que influenciam esses resultados incluem a tendência, variação, padrões cíclicos ou sazonais, outliers e autocorrelação dos dados originais. Logo, conclui-se que a projeção limitada dos valores de geração futura pode estar relacionada ao número de amostras da série original, que apresenta apenas 48 meses de indicadores. Além disso, a substituição de alguns valores por falta de indicadores pode ter afetado os resultados.

A Tabela 3.4 apresenta os resultados da projeção da série temporal para o ano de 2024, assim como os somatórios dos valores das gerações do período analisado (dados originais) juntamente com as previsões futuras.

Tabela 3.4 - Indicadores de projeção futura da geração de energia elétrica em números

Ano/mês	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Média
2020	80,6	88,8	91,9	96,5	115,3	111,6	117,3	122,4	118,9	104,2	109,9	103,1	105
2021	104,1	71	94,3	99,2	100,7	85	104,2	117,9	119,3	106,9	83,7	91,8	98,2
2022	99,7	90,3	92,3	95,2	107,9	95,1	87,2	125,9	122,9	123,1	117,2	99,9	104,7
2023	114,4	111,1	90,7	89,9	107,9	88,8	95	105,3	116,1	117,6	110,6	122,2	105,8
Projeções futuras: Resultados dos estudos - Série Temporal													
2024	115,3	109,5	101,2	100,1	105,3	99,2	101,1	104,2	107,6	108,0	105,9	109,5	105,6
Soma	514,1	470,7	470,4	480,9	537,1	479,7	504,8	575,7	584,8	559,8	527,3	526,5	519,3
Somatório geração entre 2020 - 2023							4.964,9						
Somatório de projeção da geração para 2024							1.266,9						
Somatório da geração (2020-2023) e Projeção para 2024							6.231,8						

Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

A análise da Tabela 3.4 destaca maior estabilidade nos valores previstos para as gerações futuras de energia elétrica. Embora os cálculos do desvio padrão não estejam na tabela, observa-se que o desvio padrão da série temporal futura é significativamente menor (4,75) em comparação com os dados originais (13,25). Logo, essa diferença sugere maior consistência e previsibilidade nos valores projetados.

A maior estabilidade pode ser atribuída à substituição dos valores dos indicadores não monitorados e a um melhor ajuste dos futuros indicadores de geração. Ao compararmos esses resultados com a Figura 3.7, que ilustra a variância dos valores projetados ao longo do tempo, reforça essa observação, mostrando um achatamento na variância dos valores projetados.

A Tabela 3.5 apresenta as projeções de geração futura de energia elétrica em Quilowatt-hora (kWh) e seus benefícios ambientais, fornecendo uma visão abrangente dos impactos positivos da energia fotovoltaica.

Tabela 3.5 - Indicadores da projeção futura da geração de energia elétrica e seus benefícios ambientais.

Período analisado	Geração em MWh	Qtd. de casas	Receita gerada	Ton.CO2/kWh por fonte de geração		Diferença entre Gás Natural e SIN	
				SIN	Gás Natural	Ton.CO2/KWh	Qtd. de árvores
2020-2023	4.965,0	22.568	R\$ 4.901.762	191,2	2.641,4	2.450	875
2024	1.266,8	5.758	R\$ 1.250.665	48,8	673,9	625	223
Total	6.231,8	28.326	R\$ 6.152.428	239,9	3.315,3	3.075	1.098

CO2 - Dióxido de Carbono; SIN = Sistemas Integrado Nacional, composto pelas Hidrelétricas de Itaipu, Belo Monte, Tucuruí, Jirau, Santo Antônio e Xingó.

Fonte: Adaptado de: (EPE, 2022, 2023, 2024; MME, 2023, 2022)

A partir da análise da Tabela 3.5, a projeção de geração futura para 2024 da UF-Uni é de 6.231,8 MWh, correspondendo a R\$ 6.152.427,6 e suficiente para abastecer 28.326 residências de médio padrão entre período em estudos e a projeção da geração futura. Consideramos o preço médio do kWh para a classe "faixa de consumo – comercial" (R\$ 0,984) e a autonomia para abastecimento de casas de médio padrão (220 kWh), conforme orientações da concessionária de energia, Empresa Equatorial Energia (2024).

Em termos de benefícios ambientais e financeiros, comparando essa geração com a fonte de Gás Natural, destaca-se uma economia de 3.075 toneladas de CO2, que podem ser comercializadas no mercado de carbono, impulsionando a lucratividade financeira e o equilíbrio energético. Para os cálculos, consideramos dados do Informativo Técnico nº 011/2022 da Empresa de Pesquisa Energética (2022) com os seguintes fatores de emissão de CO2 por queima de combustível em Ton.CO2/MWh: Gás natural = 0,532; SIN = 0,0385; Carvão Pulverizado = 1,099.

Em termos exclusivamente ambientais, essa economia representa o plantio de 1.098 árvores, considerando o padrão de 20 anos de idade, equivalente a aproximadamente 1.100 m² do Bioma Mata Atlântica (TJPR, 2024).

3.7 CONCLUSÕES

Os resultados desta pesquisa demonstram a eficácia da aplicação de ferramentas estatísticas e da técnica de série temporal na medição, monitoramento e projeção da geração de energia elétrica na Usina Fotovoltaica da Universidade Evangélica de Goiás. Além de evidenciar benefícios ambientais e financeiros significativos, a análise sublinha a importância da governança universitária na gestão eficiente e sustentável de recursos energéticos. Alinhando-se com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), esses achados reforçam o papel da universidade como líder em práticas ecológicas e inovadoras, promovendo a sustentabilidade e a responsabilidade ambiental.

3.8 REFERÊNCIAS

- ABNT, A. B. DE N. T. **NBR ISO14001 DE 10/2015**. Disponível em: <<https://www.normas.com.br/autorizar/visualizacao-nbr/10259/identificar/visitante>>. Acesso em: 19 jul. 2024.
- ANDRADE, F. A. et al. Previsão da Geração de Energia Fotovoltaica Utilizando Inteligência Artificial em Séries Temporais. **Sociedade Brasileira de Automática (SBA)**, p. 441–446, 2021.
- ANTONOV, G. D.; IVANOVA, O. P.; TUMIN, V. M. **Strategic Management Processes of the Organization**. Russia, Moscow: Centro de Publicação Científica INFRA-M" (Moscou), 2020.
- ARIMOTO, A. Reaction to Academic Ranking: Knowledge Production, Faculty Productivity from an International Perspective BT - University Rankings: Theoretical Basis, Methodology and Impacts on Global Higher Education. In: SHIN, J. C.; TOUTKOUSIAN, R. K.; TEICHLER, U. (Eds.). **University Rankings**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2011. p. 229–258.
- BARBOSA, C. E. B. et al. Uso da técnica de vizinhança e rede neural artificial na estimativa de necessidade de calagem. **Brazilian Journal of Development**, p. 54716–54733, 2022.
- COLLABORATORY, G. . **Plataforma de Colaboração para Aprendizado de Máquina**. Mountain View/Califórnia (EUA)Google Colaboratory, , 2024. Disponível em: <<https://colab.research.google.com>>
- CONTRERAS, F. G. et al. **Nuevas experiencias en gobernanza universitaria**. [s.l.: s.n.].
- COOKSEY, R. W. Descriptive Statistics for Summarising Data. In: **Illustrating Statistical Procedures: Finding Meaning in Quantitative**. 3. ed. Singapore/Malaia: Springer Nature, 2020. p. 61–139.
- DILL, D. D.; SOO, M. Transparency and Quality in Higher Education Markets BT - Markets in Higer Education: Rhetoric or Reality? In: TEIXEIRA, P. et al. (Eds.). Dordrecht: Springer Netherlands, 2004. p. 61–85.
- DUTRA E SILVA, S. et al. Métricas de producción científica y calificación de revistas como objetivos de gestión universitaria. In: **Nuevas experiencias en gobernanza universitaria**. Bogotá, Colombia: Universidad Santo Tomás - USTA, 2021.
- EPE. **Informativo Técnico Nº 011/2022. Apresentação da metodologia e dos fatores de emissão utilizados para as estimativas de emissão de GEE nos planos de energia, no BEN e demais produtos da EPE**. Brasília/DF: [s.n.]. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/areas-de-atuacao/estudos-socioambientais/SiteAssets/Paginas/Emissoes-de-Gases-de-Efeito-Estufa/Informativo_Tecnico_11-2022_fatores_de_emissaoSMA.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2024.
- EPE. **Matriz Energética e Elétrica**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em: 24 jan. 2023.

- EPE. **As principais publicações da EPE. 2024.** Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes>>. Acesso em: 13 mar. 2024.
- EQUATORIAL. **Valor de tarifas de serviços.** Disponível em: <<https://go.equatorialenergia.com.br/valor-de-tarifas-e-servicos/#demais-classes>>. Acesso em: 19 jul. 2024.
- ESPÍN, C. G. S. et al. Measurement of Indicators of Industrial Food Processes Through Artificial Intelligence. **Journal of Namibian Studies : History Politics Culture**, v. 33, n. S2, p. 4052–4059, 2023.
- FERNANDES, D. S. et al. Estimativa da Radiação Solar Global com Base em Observações de Temperatura para o Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 3, p. 558–566, 2018.
- FERNANDEZ, G. C. J. **Residual Analysis and Data Transformations : Important Tools in Statistical Analysis Hortciência.** Reno/Nevada - EUA.: Department of Agricultural Economics, University of Nevada-Reno, 1988.
- FIMER, F. DE S. **Ferramentas de Software - Instalador para inversores solares.** Disponível em: <<https://www.fimer.com/pt/ferramentas-de-software/instalador-para-inversores-solares>>. Acesso em: 7 mar. 2024.
- GOPALAN, V.; BAKTHAVATSALAM, A. K.; NARASIMMAN, K. Modelling and Forecasting of 5MW Solar Photovoltaic Plant using Artificial Neural Networks. **Research Square**, p. 1–24, 2022.
- HAMILTON, J. D. Time series analysis. In: **Technometrics**. San Diego/California (EUA): University of California, 1997. p. 101–102.
- HAZELKORN, E. Os rankings e a batalha por excelência de classe mundial: estratégias institucionais e escolhas de políticas. **Revista Ensino Superior Unicamp**, v. 1, p. 43–64, 2010.
- JUNGWIRTH, D.; HALUZA, D. Artificial Intelligence and Public Health: An Exploratory Study. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 20, n. 5, p. 12, 2023.
- KALAY, M. S. et al. IoT-Based Data Acquisition and Remote Monitoring System for Large-Scale Photovoltaic Power Plants. In: **Proceedings of the 3rd International Conference on Electronic Engineering and Renewable Energy Systems**. 954. ed. Singapore: Springer, 2023. p. 631–639.
- KNISS, C. T. et al. **50 anos de Estocolmo'72 e 30 Anos da Rio'92: Reflexões sobre o Brasil Contemporânea e os Desafios para um Futuro Sustentável.** [s.l.: s.n.]. v. 12
- KWIATKOWSKI, D. et al. **Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root. How sure are we that economic time series have a unit root?** **Journal of Econometrics**. Michigan - EUA: [s.n.].
- LAZZARETTI, A. E. et al. A monitoring system for online fault detection and classification in photovoltaic plants. **Sensors (Switzerland)**, v. 20, n. 17, p. 1–30, 2020.
- MASOUD, E. et al. Cloud Computing and IoT Based Intelligent Monitoring System for Photovoltaic Plants Using Machine Learning Techniques. **Energies**, v. 15, p. 25, 2022.
- MEHO, L. I. Highly prestigious international academic awards and their impact on university rankings. **Quantitative Science Studies**, v. 1, n. 2, p. 824–848, 2020.
- MME. **Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional 2023 – Ano base 2022 (BEN 2022).** Brasília/DF: Ministério de Minas e Energia - MME, 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-631/BEN_Síntese_2022_PT.pdf>. Acesso em: 23 jan. 2024.
- MME, E. DE P. E. **Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional 2022 – Ano base 2021 (BEN 2021) Ministério de Minas e Energia.** Brasília/DF: [s.n.]. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2022>>. Acesso em: 23 jan. 2024.
- PÁMANES, A. L. et al. **The World University Rankings Model Validation and a Top 50 Universities Predictive Model.** 2020 3rd International Conference on Computer Applications & Information Security (ICCAIS). **Anais...** Monterrey, Mexico: School of Engineering and Science

Instituto Tecnológico de Monterrey, 2020.

PPGSTMA. **Programa de Pós-graduação em Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente. 2024.** Disponível em: <<https://www4.unievangelica.edu.br/ppg/sociedade-tecnologia-e-meio-ambiente>>. Acesso em: 15 jul. 2024.

PYZDEK, T. Descriptive Statistics - Management for Professionals. **Springer Nature**, v. Part F458, p. 145–149, 2021.

RANI, S. et al. The Potential Application of Artificial Intelligence in Healthcare and Hospitals. **ITM Web of Conferences**, v. 53, p. 01005, 2023.

ROMERO, H. F. M. et al. Applications of Artificial Intelligence to Photovoltaic Systems: A Review. **Applied Sciences (Switzerland)**, v. 12, p. 31, 2022.

SAGALA, N. T. M.; ARYATAMA, F. Y. Exploratory Data Analysis (EDA): A Study of Olympic Medallist. **Sistemas: Jurnal Sistem Informase**, v. 11, n. 3, p. 578–587, 2022.

SALMI, J. **The Challenge of Establishing World-Class Universities States.** World Bank Publications, 2009.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). In: PRESS, O. U. (Ed.). *Biometrika* ed. London-UK: Oxford University Press, 1965. p. 591–611.

SNEDECOR, G. W. **Statistical Methods Applied to Experiments in Agriculture and Biology.** 5^a ed. Iowa, USA.: The Iowa State University Press, 1956.

SPILIOTIS, E. et al. Tracking the performance of photovoltaic systems: a tool for minimising the risk of malfunctions and deterioration. **IET Journals: The Institution of Engineering and Technology**, v. 12, n. 7, p. 815–822, 2018.

SUBHA, C. et al. Environmental Monitoring and Management. In: PUBLISHER, B. S. (Ed.). **Emerging Technologies and Applications for a Smart and Sustainable World.** 1. ed. Netherlands (Online Access): Bentham Science Publisher, 2022. p. 151–174.

TAKAYANAGUI, A. D. La construcción de una agenda de transformación para la universidad en América Latina y el Caribe: Balance y perspectivas de la CRES-2018. **Perfiles Educativos**, v. 41, n. 163, p. 203–218, 2019.

TJPR. **Calculadora de CO2.** Disponível em: <[https://www.tjpr.jus.br/web/sustentabilidade/calculadoraco2#:~:text=Estudos revelam que a cada,danos causados por esta emissão.](https://www.tjpr.jus.br/web/sustentabilidade/calculadoraco2#:~:text=Estudos%20revelam%20que%20a%20cada,danos%20causados%20por%20esta%20emiss%C3%A3o.)>. Acesso em: 15 maio. 2024.

TUKEY, J. W. **Exploratory Data Analysis: Past, Present, and Future** (P. University, Ed.). Washinton - EUA: Defense Technical Information Center, 1993. Disponível em: <https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as_sdt=0,5&qsp=1&q=j.+w.+tukey+exploratory+data+analysis&qst=ib#d=gs_cit&t=1709169682978&u=%2Fscholar%3Fq%3Dinfo%3Ae6D_97Xo1bkJ%3Ascholar.google.com%2F%26output%3Dcite%26scirp%3D1%26hl%3Dpt-BR>.

UNIEVANGÉLICA, U. E. DE G. **UniEVANGÉLICA inaugura maior Estacionamento Solar do país.** Disponível em: <<https://www4.unievangelica.edu.br/noticia/6525-unievangelica-inaugura-maior-estacionamento-solar-do-pais>>. Acesso em: 25 mar. 2024.

YAXI, S.; CHAORAN, C.; HAO, Q. Self-Attentive Moving Average for Time Series Prediction. **Applied Sciences (Switzerland)**, v. 12, p. 12, 2022.

ZULKIPLI, N. S. et al. Descriptive analysis of circular data with outliers using Python programming language. **Data Analytics and Applied Mathematics (DAAM)**, v. 1, n. 1, p. 31–36, 2020.

ZULKIPLI, N. S.; SATARI, S. Z.; WAN YUSOFF, W. N. S. Descriptive analysis of circular data with outliers using Python programming language. **Data Analytics and Applied Mathematics (DAAM)**, v. 1, n. 1, p. 31–36, 2020.

4 CAPÍTULO III

Estudo da performance e qualidade de energia elétrica gerada pela Usina Fotovoltaica da Universidade Evangélica de Goiás – UniEVANGÉLICA

Study on the Performance and Quality of Electrical Energy Generated by the Photovoltaic Plant of Universidade Evangélica de Goiás - UniEVANGÉLICA

4.1 RESUMO

Avaliar a eficiência energética e a conformidade da Usina Fotovoltaica da UniEVANGÉLICA (UF-Uni) com os padrões de qualidade, monitorando indicadores e variáveis operacionais para sugerir otimizações na operação e promover um fornecimento energético sustentável. O estudo foi realizado na usina fotovoltaica no campus da Universidade Evangélica de Goiás, em Anápolis/GO. Analisamos indicadores de geração de energia de 2020 a 2023 e a qualidade da energia de 20 de julho a 8 de agosto de 2022. Durante esse período, os indicadores foram monitorados com Analisadores de Energia e comparados com as normativas do PRODIST, Módulo 8. Este estudo fornece subsídios para otimizar a geração e qualidade da energia em usinas fotovoltaicas, promovendo sustentabilidade energética e informando políticas públicas. Reforça a importância da educação ambiental e tecnologias avançadas para melhorar a eficiência e a qualidade de vida. O estudo revelou *insights* sobre eficiência energética e variabilidade das energias renováveis. Os indicadores de geração de 2020 a 2023 seguiram distribuição normal, sem tendência de crescimento, apresentaram sazonalidades e altos resíduos. Nas análises de *performance*, a UF-Uni enfrentou baixos indicadores de geração, picos de distorção harmônica e eficiência abaixo do ideal, mas demonstrou robustez e conformidade com o PRODIST. Práticas de manutenção adequadas e tecnologias avançadas são essenciais para melhorar a geração e a qualidade da energia.

Palavras-chave: sustentabilidade, eficiência, conformidade, PRODIST, meio ambiente

4.2 ABSTRACT

To evaluate the energy efficiency and compliance of the UniEVANGÉLICA Photovoltaic Plant (UF-Uni) with quality standards by monitoring performance indicators and operational variables to suggest optimizations in operation and promote sustainable energy supply. The study was conducted at the photovoltaic plant located

on the campus of Universidade Evangélica de Goiás, in Anápolis/GO. We analyzed energy generation indicators from 2020 to 2023 and the quality of energy from July 20 to August 8, 2022. During this period, the indicators were monitored using Energy Analyzers and compared with the standards of PRODIST, Module 8. This study provides insights for optimizing energy generation and quality in photovoltaic plants, promoting energy sustainability and informing public policies. It reinforces the importance of environmental education and advanced technologies to improve efficiency and quality of life. The study revealed valuable insights into energy efficiency and the variability of renewable energies. The generation indicators from 2020 to 2023 followed a normal distribution, showed no growth trend, and presented seasonality and high residuals. In performance analyses, UF-Uni faced low generation indicators, isolated peaks of harmonic distortion, and efficiency below ideal levels but demonstrated robustness and compliance with PRODIST. Proper maintenance practices and advanced technologies are essential to improving energy generation and quality.

Keywords: *sustainability, efficiency, compliance, PRODIST, environment*

4.3 INTRODUÇÃO

Recentemente, a comunidade científica celebrou marcos significativos como o cinquentenário da Conferência de Estocolmo, realizada em 1972, e a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente, conhecida como Rio 92. Esses eventos destacaram a importância da sustentabilidade alimentar e energética em face do crescimento populacional global, moldando as agendas de desenvolvimento sustentável mundial.

A preocupação global com desafios ambientais expandiu-se, abrangendo políticas, legislação, sistemas de gestão, inovação científica e tecnológica. Esses elementos foram essenciais para que o desenvolvimento sustentável se tornasse uma prioridade. Kniess et al. (2022), afirmam que, ao refletir sobre os eventos de 1972, é importante considerar um cenário cheio de contradições, vitórias e fracassos, envolvendo todos os segmentos sociais no debate sobre o desenvolvimento sustentável, destacando a necessidade de pensar globalmente e agir localmente.

Fernandes et al. (2021) ressaltam que o desenvolvimento sustentável surgiu como um movimento sociopolítico preocupado com a poluição industrial e a

contaminação ambiental. A partir de 1972, uma agenda internacional propôs sistemas de gestão ambiental, levando países a estabelecerem marcos legais e institucionais.

Dentro do desenvolvimento sustentável, a segurança energética e a busca por fontes alternativas de energia são essenciais. A energia elétrica, gerada a partir de fontes como água, vento, sol, combustíveis fósseis e urânio, é indispensável para o desenvolvimento das sociedades modernas. Sua conversão e utilização desempenham um papel determinante na vida cotidiana, sendo fundamental para o funcionamento das cidades e indústrias.

Este estudo investiga a eficiência energética e a conformidade com padrões de qualidade da Usina Fotovoltaica da UniEVANGÉLICA (UF-Uni), instalada no telhado de um dos estacionamentos do campus universitário. O objetivo é avaliar a eficiência energética e a conformidade da UF-Uni com os padrões de qualidade, monitorando indicadores e variáveis operacionais para sugerir otimizações na operação e promover um fornecimento energético sustentável.

A geração de energia elétrica evolui por meio de uma matriz diversificada de tecnologias, cada uma adaptada a uma fonte específica. As usinas fotovoltaicas se destacam pela capacidade de converter luz solar em eletricidade usando células fotovoltaicas. A integração dessas usinas ao sistema elétrico pode ser feita por meio de arranjos *on-grid* (conectados à rede), que contribuem para o sistema geral, ou sistemas *off-grid* (não conectados à rede), que são independentes e ideais para regiões sem infraestrutura elétrica estabelecida.

A produção de energia fotovoltaica é diretamente influenciada pela irradiação solar, sendo áreas com alta exposição solar mais adequadas para o desenvolvimento de usinas eficientes. Portanto, a avaliação da irradiação solar e sua correlação com a eficácia da produção energética são essenciais para assegurar o retorno sobre o investimento e sustentar operações a longo prazo.

A qualidade da energia gerada, definida pela regularidade e estabilidade de características como frequência e tensão, é de extrema importância. Altos padrões de qualidade energética garantem a eficácia e segurança do abastecimento elétrico, evitando danos a dispositivos conectados. Conforme estipulado no Módulo 8 do PRODIST - Qualidade do Fornecimento de Energia Elétrica, é fundamental que as usinas fotovoltaicas operem dentro de parâmetros que assegurem eficiência e conformidade com os regulamentos de qualidade.

Com este estudo, propomos contribuir com sugestões para um fornecimento energético sustentável e confiável, delineando práticas que otimizem a operação da usina e garantam seu alinhamento com os padrões de qualidade de energia. Ao enfatizar a importância da qualidade energética e eficiência operacional, espera-se não apenas atender aos critérios regulatórios, mas também promover práticas que reforcem a estabilidade e resiliência do sistema energético diante das flutuações de demanda e produção. Nossa análise fornece *insights* sobre a gestão eficaz da produção fotovoltaica, incluindo estratégias de manutenção e harmonização com o sistema de rede, reforçando a importância da energia solar na transição para um futuro energético sustentável.

4.4 REVISÃO DA LITERATURA

4.4.1 Conceitos de energia

A Primeira Lei da Termodinâmica estabelece que a energia em um sistema é constante, podendo apenas mudar de forma, mas não ser criada ou destruída. Este princípio é fundamental para entender as interações entre diferentes formas de energia, como mecânica, térmica, elétrica e magnética, sendo determinantes em áreas como física e engenharia (BORGES; CARVALHO, 2012; DAANE; VOKOS; SCHERR, 2013; HANLON, 2020; MORAN et al., 2018). No contexto da geração fotovoltaica, a energia pode ser injetada na rede como corrente alternada (AC) ou armazenada como corrente contínua (DC) (BOSO; CREMASCO; FILHO, 2015; SUBRAMANIAM et al., 2020).

Já Segunda Lei da Termodinâmica, que trata da entropia e da degradação energética, destaca a importância da eficiência energética e da busca por processos que minimizem a perda de energia útil. Em alinhamento com o princípio de conservação de energia, adotamos as expressões "produção" e "geração" de energia elétrica, reforçando nosso compromisso com a precisão terminológica (BORGES; CARVALHO, 2012; SMITH; VAN NESS; ABBOTT, 2005).

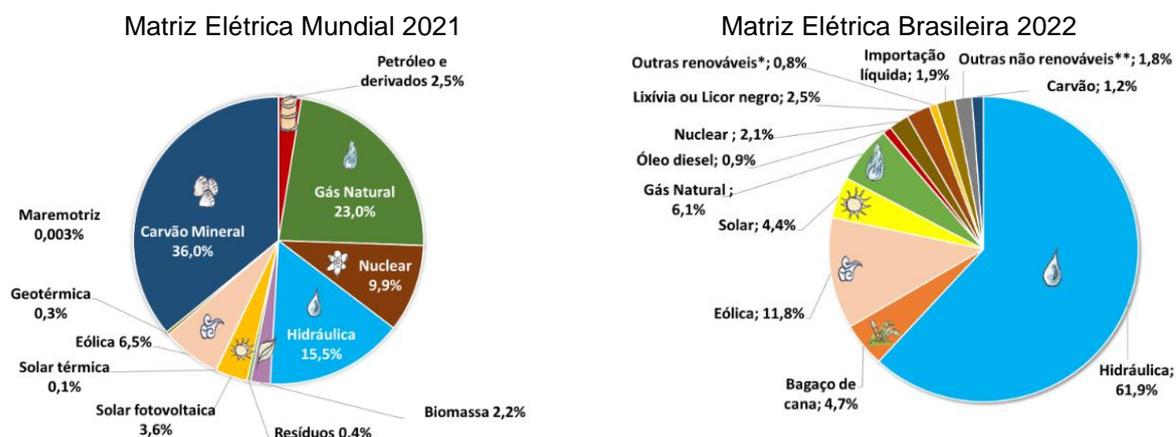
4.4.2 Diversificação da Matriz Energética e o Avanço da Energia Fotovoltaica em Goiás e no Brasil

A diversificação da matriz energética é fundamental para o desenvolvimento sustentável, adaptando-se às dinâmicas econômicas, sociais e culturais da sociedade contemporânea (ABRASOLAR, 2024). Embora a matriz elétrica global dependa de

fontes não renováveis, o Brasil se destaca por sua matriz energética predominantemente renovável, como a geração hidráulica e eólica, que enfrentam desafios socioambientais. Em contraste, a energia fotovoltaica representa uma opção sustentável, com 44% da matriz energética nacional, destacando-se pela geração limpa e facilidade de implementação (ANEEL, 2024; EPE, 2023, 2024a).

Conforme ilustrado na Figura 4.1, a composição das matrizes elétricas mundial e brasileira reflete essas diferenças.

Figura 4.1 - Composição das Matrizes Elétricas Mundial e Brasileira



Fonte: EPE (2024)

O Plano Decenal de Expansão de Energia (PDEE) prevê um aumento no consumo de energia no Brasil, impulsionado pela autoprodução em diversos setores, especialmente após a pandemia da Covid-19 (EPE, 2024a; FMI, 2023; IEA, 2022). O estado de Goiás, com 13 usinas hidrelétricas operando abaixo da capacidade ideal, destaca a necessidade da diversificação energética. Usinas como Furnas/Itumbiara, São Simão e Serra da Mesa apresentaram baixos volumes de reservatório e geração em 2021 (G1, 2021; ONS, 2024).

Há uma escassez de pesquisas sobre a eficiência e o impacto ambiental das usinas fotovoltaicas, especialmente em Goiás. Essas usinas são promissoras para o cenário energético brasileiro, apoiadas por avanços tecnológicos e pela demanda por desenvolvimento sustentável (CASTRO et al., 2020; LOPES, 2020). A transição para uma matriz energética diversificada, enfatizando a energia fotovoltaica, é essencial para o futuro energético sustentável do Brasil. Goiás, especialmente o município de Anápolis, onde está instalada a Usina Fotovoltaica (UF) em estudo, possui uma irradiação solar média de 5,7 kWh/m² e velocidades de vento de até 5,7 m/s, situando-se numa região privilegiada para a geração solar, conhecida como o “Cinturão do Sol” (ALBA, 2022; ANEEL, 2005, 2024; PORTAL SOLAR, 2024).

A história da civilização está intrinsecamente ligada ao desenvolvimento de métodos de conversão de energia, aumentando o controle sobre diversas fontes e elevando o consumo energético. As fontes de geração elétrica se categorizam em Geração Centralizada (GC), dominada por grandes usinas, como hidrelétricas e termoelétricas, e Geração Distribuída (GD), que se aproxima mais dos consumidores e abrange sistemas tanto renováveis quanto não renováveis (PEREIRA, 2019; YOON, 2023).

A transição para um sistema energético sustentável é impulsionada por avanços tecnológicos e pela crescente demanda por fontes renováveis, como a energia solar fotovoltaica, motivada pela abundante irradiação solar no Brasil e pela redução dos custos de implementação. Este tipo de energia se destaca no Brasil, favorecido pela extensa área territorial e alta irradiação solar, propiciando a instalação de sistemas fotovoltaicos (PORTAL SOLAR, 2024). A queda nos preços dos equipamentos fotovoltaicos e o aumento das tarifas elétricas incentivam os investimentos em usinas solares (RIGO et al., 2020).

Logo, a partir dessas métricas, o PDEE previa que a capacidade instalada de energia solar no Brasil atingiria 8.300 MW até 2024, dividida entre 7.000 MW de geração centralizada e 1.300 MW de geração distribuída, refletindo o potencial e a importância crescente da energia solar no mix energético nacional (EPE, 2024b). Esses dados e indicadores representam os planejamentos iniciais, no entanto, pesquisas mais recentes apontam que o Brasil já ultrapassou essa meta, com a capacidade instalada de energia solar superando 40 GW, sendo aproximadamente 27.5 GW provenientes de sistemas de geração distribuída e cerca de 12.5 GW de grandes usinas solares centralizadas, destacando o rápido crescimento e a importância dessa fonte de energia no país (ENERGYTREND, 2024; PV MAGAZINE, 2024).

4.4.3 Geração de Energia Elétrica pelo Processo Fotovoltaico: A distinção da Usina Fotovoltaica da UniEVANGÉLICA em alinhar lucratividade com missão educacional e sustentabilidade

O processo de geração de energia solar fotovoltaica envolve a conversão direta da luz solar em eletricidade através do efeito fotovoltaico, onde fótons (partículas de luz) ao atingirem células fotovoltaicas, normalmente de silício, provocam o deslocamento de elétrons e geram corrente elétrica contínua. As instalações solares

são divididas em *Off-grid* (sistemas autônomos que armazenam energia em baterias) e *On-grid* (sistemas conectados à rede elétrica, permitindo o intercâmbio de energia), devendo ser cuidadosamente localizadas considerando aspectos técnico-econômicos para maximizar a eficiência e rentabilidade (BOSO; CREMASCO; FILHO, 2015; KOHLE et al., 2021; SUBRAMANIAM et al., 2020).

As usinas Fotovoltaicas (UF) comuns são instaladas em telhados e no solo, sendo comumente denominadas parques solares. Elas também podem ser instaladas como usinas solares flutuantes, aproveitando espelhos d'água em lagos e estações de tratamento. Essas instalações visam não apenas a economia e a independência da rede elétrica, mas também são destacadas pelos benefícios ambientais, científicos e sociais (LOPES, 2020; MENDONÇA et al., 2020; PEREIRA, 2019; REDISKE, 2019; SOUZA; OLIVEIRA, 2019). Diferentemente, a Usina Fotovoltaica da UniEVANGÉLICA, Figura 4.2, além de sua função primária de geração de energia, atua como um laboratório para pesquisas em energias renováveis, fomentando a educação e a sustentabilidade.

Figura 4.2 - Usina Fotovoltaica da UniEVANGÉLICA



Fonte: UniEVANGÉLICA (2019)

Inaugurada em 2019, a UF-Uni, também conhecida como “Usina Urbana *Carport*”, foi reconhecida como o maior estacionamento solar do Brasil naquela época, cobrindo uma área de 5.655 m² e com capacidade para cerca de 700 carros. Construída no sistema *on-grid*, equipada com 2900 módulos fotovoltaicos e 29 inversores em 29 arranjos/*strings*, a usina tem uma capacidade nominal de 957 kWp, produzindo em média 3,44 MW por dia, sendo projetada para atender ao menos 40% da demanda energética da instituição (BOGGIAN, 2023; UNIEVANGÉLICA, 2019).

O projeto de construção da usina foi realizado em parceria com Centrais Elétricas de Goiás - Distribuição S.A (CELG D) por meio de participação da Chamada Pública PEE CELG D Nº 002/2016, com a Instituição arcando com aproximadamente

15% do investimento. Algumas das contrapartidas para que o projeto fosse aprovado incluíram: uso consciente de energia elétrica (substituição das lâmpadas e dispositivos elétricos/eletrônicos por modelos modernos e mais eficientes); quesito ambiental (gerar energia elétrica de forma limpa e sustentável); e pedagógico (laboratório a céu aberto de um parque fotovoltaico) (CELG D, 2016).

Assim, esse projeto consolidou e apoiou iniciativas da instituição em educação, sustentabilidade, missão institucional e produção de energia limpa e sustentável. Em 2021, a UniEVANGÉLICA intensificou seus esforços de inovação com a criação do Laboratório de Eficiência Energética Fotovoltaica (LEEFoto), aprovado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG). Este laboratório foca na viabilidade de micro usinas fotovoltaicas e na disseminação do conhecimento sobre energia renovável, destacando a distinção da usina em alinhar lucratividade com missão educacional e sustentabilidade (UNIEVANGÉLICA, 2021, 2024).

Com o apoio da FAPEG e de outros colaboradores, o LEEFoto tornou-se um centro de excelência em tecnologia solar, proporcionando treinamento, incubação de projetos e consultoria em eficiência energética, alinhando-se com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU). Após 2 anos e 20 dias da inauguração da usina, a UniEVANGÉLICA alcançou outro marco em sua jornada de sustentabilidade com a inauguração do LEEFoto em 29/10/2021.

4.4.4 Qualidade de Energia em Sistemas Elétricos

A qualidade da energia elétrica é essencial para o funcionamento eficaz dos sistemas elétricos, influenciando diretamente o desempenho e a eficiência dos equipamentos. Define-se pela estabilidade das tensões de barramento, que devem manter formas senoidais com magnitudes e frequências nos padrões nominais (ALSHAREEF, 2022; BORGES; CARVALHO, 2012).

Distúrbios na qualidade da energia podem ser originados tanto nas instalações de concessionárias quanto nos sistemas dos consumidores. Tais distúrbios afetam a eficiência e a confiabilidade dos dispositivos, aumentando os custos operacionais. Distorções harmônicas, provocadas por cargas não lineares, e transientes de comutação são particularmente prejudiciais. Portanto, é fundamental analisar com precisão a tensão de barramento e a corrente de linha, implementando medidas para reduzir a poluição harmônica e os efeitos dos transientes. Esta análise

é apoiada por estudos e regulamentações específicas, como os definidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) através do PRODIST (ANEEL, 2017).

O módulo 8 do PRODIST delinea procedimentos para a obtenção de uma adequada Qualidade de Energia Elétrica (QEE). Este regulamento não apenas define os padrões que as concessionárias devem seguir, mas também estabelece responsabilidades e assegura a conformidade das infraestruturas elétricas com os critérios de qualidade estabelecidos, fomentando um sistema energético eficiente e sustentável (ANEEL, 2017; CASTRO et al., 2020; INMETRO, 2024).

Além disso, estudos sobre a qualidade de energia em sistemas fotovoltaicos são extensivos na literatura acadêmica, destacando-se as investigações que exploram o impacto das energias renováveis, incluindo a solar fotovoltaica, na qualidade da energia em redes inteligentes. Pesquisas como as de Tsoukalas e Gao (2008), Villalva, Gazoli e Filho (2009) e Woyte et al. (WOYTE et al., 2013) fornecem análises técnicas da geração fotovoltaica e suas questões de qualidade de energia. Estes estudos enfatizam a importância do monitoramento e gestão de sistemas fotovoltaicos para melhorar a qualidade da energia, assim como discutem técnicas de mitigação em sistemas conectados à rede.

4.4.5 Variação e Desequilíbrio de tensão

Variações e desequilíbrios de tensão podem causar danos aos aparelhos, levando a PRODIST a estabelecer níveis aceitáveis de tensão, valores esses apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Pontos de conexão em Tensão Nominal igual ou inferior a 1 kV (220/110)

Status da Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de Variação da Tensão de Leitura em (Volts) - V
Adequada	$(202 \leq TL \leq 231) / (101 \leq TL \leq 116)$
Precária	$(191 \leq TL \leq 202 \text{ ou } 231 \leq TL \leq 233)$ $(96 \leq TL < 101 \text{ ou } 116 < TL \leq 117)$
Crítica	$(TL < 191 \text{ ou } TL > 233) / (TL < 96 \text{ ou } TL > 117)$

Legenda: TL = Tensão de Linha

Fonte: Adaptado de ANEEL (2017)

O desequilíbrio entre tensões também é um fator bastante relevante, visto que valores acentuados podem afetar e diminuir a vida útil de transformadores de

distribuição. Como predito em norma, o fator de desequilíbrio é relacionado na Fórmula 1:

$$FD\% = \frac{-Ve}{+Ve} \times 100 \quad (1)$$

Em que:

FD: Fator de Desequilíbrio (relaciona a magnitude da tensão eficaz de sequência negativa da frequência fundamental)

-Ve = sequência negativa

+Ve = sequência positiva

Distúrbios harmônicos são significativos na avaliação da qualidade da energia elétrica, impactando o desempenho e a eficiência dos equipamentos. As regulamentações da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), conforme apresentado na Tabela 4.2, estabelecem os limites para esses distúrbios, baseando-se em suas características e impactos. A quantificação desses distúrbios harmônicos é feita através de fórmulas específicas, que ajudam a estruturar estratégias de mitigação e gestão da qualidade de energia (ANEEL, 2017; CASTRO et al., 2020).

Tabela 4.2 - Classificação das Variações de Tensão de Curta Duração

Classificação	Denominação	Duração da Variação	Amplitude da tensão (valor eficaz - p.u) em relação à tensão de referência
	Interrupção Momentânea de Tensão	Inferior ou igual a três segundos	Inferior a 0,1 p.u
Variação Momentânea de Tensão	Afundamento Momentâneo de Tensão	Superior ou igual a um ciclo e inferior ou igual a três segundos	Superior ou igual a 0,1 e inferior a 0,9 p.u
	Elevação Momentânea de Tensão	Superior ou igual a um ciclo e inferior ou igual a três segundos	Superior a 1,1 p.u
	Interrupção Temporária de Tensão	Superior a três segundos e inferior a três minutos	Inferior a 0,1 p.u
Variação Temporária de Tensão	Afundamento Temporário de Tensão	Superior a três segundos e inferior a três minutos	Superior ou igual a 0,1 e inferior a 0,9 p.u
	Elevação Temporária de Tensão	Superior a três segundos e inferior a três minutos	Superior a 1,1 p.u

Fonte: Adaptado de ANEEL (2017)

4.4.6 Fator de Potência

O Fator de Potência (FP), que indica a eficiência com que a energia é utilizada, aumenta a demanda de corrente devido às características reativas da carga, impactando a rede elétrica e exigindo maior capacidade de geração. Calcula-se o FP pela Fórmula 2, relacionando Potência Ativa (P) e Reativa (Q), com valores aceitáveis entre 0,92 e 1,00 (ANEEL, 2017).

$$FP = \frac{P}{\sqrt{P^2+Q^2}} \quad (2)$$

FP: Fator de Potência

P = Potência Ativa

Q = Potência Reativa

Logo, os valores do fator de potência são previstos na PRODIST 8 com valores aceitáveis indutivo e capacitivo que variam de 0,92 a 1,00.

4.4.7 Distúrbios harmônicos

Os distúrbios harmônicos, causados por dispositivos eletrônicos que alteram a forma de onda da tensão ou corrente, podem diminuir a vida útil de equipamentos e exigir dimensionamento adicional dos condutores. A ANEEL estabelece limites para esses distúrbios para garantir a eficiência e proteção dos sistemas elétricos. Para quantificá-los, utiliza-se a Distorção Harmônica Individual (DITH%) e a Distorção Harmônica Total (DTT%), calculadas pelas Fórmulas 3 e 4, respectivamente, avaliando a magnitude e frequência das oscilações harmônicas (ANEEL, 2017).

$$DITH\% = \frac{V_h}{V_1} \times 100 \quad (3)$$

$$DTT\% = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{max}} V_h^2}}{V_1} \times 100 \quad (4)$$

Em que:

DIT = Distorção Harmônica Individual

DTT = Distorção Harmônica Total

V_h = Tensão Harmônica de Ordem h

V₁ = Tensão Fundamental Medida

4.5 METODOLOGIA

Este estudo foi desenvolvido a partir da análise da *performance* e da qualidade da energia elétrica gerada pela Usina Fotovoltaica da Universidade Evangélica de Goiás (UF-Uni), instalada no telhado de um dos estacionamentos do campus da Instituição, localizada na Avenida Universitária, Km 3,5, em Anápolis, Goiás, Brasil. O município de Anápolis-Goiás, conforme citado anteriormente, situado a uma altitude de 1017 metros e com coordenadas de 16°17'39.1" de latitude e 48°56'36.1" de longitude, apresenta velocidade de até 5,7 m/s, irradiação solar média de 5,7 kWh/m² - considerado como "Cinturão do Sol" (ALBA, 2022; PORTAL SOLAR, 2024).

As pesquisas teóricas foram realizadas nos laboratórios de informática do Programa de Pós-Graduação em Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente (PPGSTMA) da UniEVANGÉLICA. Os acessos às plataformas especializadas permitiram-nos coletar informações pertinentes, conduzindo-nos a um processo de seleção de documentos acadêmicos. Selecionamos artigos, notas técnicas, dissertações de mestrado e teses de doutorado que estavam em consonância com os objetivos da pesquisa, que englobavam a compreensão das definições e métodos de geração de energia, com foco particular nas UFs e nos fatores influenciadores da geração, como a irradiação. Também abordamos a qualidade da energia, a identificação e análise técnica dos principais problemas na geração e os impactos da injeção de energia na rede.

As pesquisas práticas foram realizadas no Laboratório de Eficiência Energética Fotovoltaica (LEEFoto), focando em dois aspectos importantíssimos da UF-Uni: a Análise dos Indicadores de Geração e os Estudos da *Performance* e Qualidade da energia gerada.

Os estudos relativos aos indicadores de geração da usina fotovoltaica em estudos, no período de 2020 a 2023, foram fundamentados nos dados gerenciados e monitorados pelo *software* Fimer[®] (Plant Viewer - Aurora Vision - versão 3.7). Este software é responsável pela gestão e supervisão da produção energética da usina.

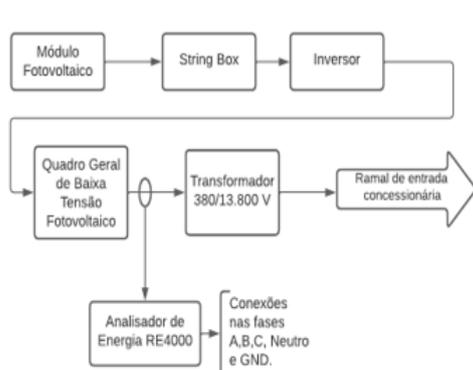
Configuramos o *software* Fimer[®] para monitorar os dados de geração a cada 10 minutos, permitindo a visualização dos relatórios por meio de telas de monitoramento (Sistemas Supervisórios) e disponibilizando a exportação dos dados em formatos como .xls, .csv, .pdf, entre outros. Para a organização e análise dos

dados de geração, esses indicadores foram consolidados e tratados em planilhas de Excel...

Para a análise da *performance* e da qualidade da energia gerada pela usina, utilizamos os analisadores de energia. Especificamente, o analisador RE 4000 mede variáveis elétricas fundamentais, tais como fator de potência, harmônicos, frequência, tensão, corrente, potência ativa, reativa e aparente. Sua parametrização flexível facilita a adequação às normas da ANEEL, garantindo a conformidade das medições com as normativas (ANEEL, 2017).

Entre os dias 20 de julho e 8 de agosto de 2022, realizamos medições, conectando os analisadores de energia ao ponto de derivação entre o Quadro Geral de Baixa Tensão Fotovoltaico (QGBTF) e o Transformador de Média/Baixa Tensão (MT/BT). Esta configuração foi essencial para assegurar a confiabilidade dos dados coletados de todas as *strings* da instalação fotovoltaica. As Figuras 4.3 (a, b e c) detalham as conexões do analisador, incluindo os esquemas de ligação e a coleta de dados em ação. O analisador de energia (Marca: Embrasul, modelo RE 4000) foi cordialmente disponibilizado pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), por meio da Faculdade de Tecnologia SENAI Roberto Mange.

Figura 4.3 - Esquemas das ligações do Analisador de Energia dentro do Circuito da usina em estudos



4.3a – Esquema das ligações



4.3b – Conexões das pontas de prova



4.3c – Coleta de dados pelo analisador.

Fonte: Adaptado de Mendonça et al., (2022)

Para garantir uma análise abrangente, configuramos os equipamentos de análise de energia para operar continuamente de 20 de julho a 8 de agosto de 2022, realizando medições em intervalos de 10 minutos, conforme as diretrizes do módulo 8 do PRODIST (ANEEL, 2017). Essa extensa coleta de dados nos proporcionou um volume significativo de leituras, permitindo uma avaliação robusta de vários parâmetros elétricos. No entanto, focamos com maior ênfase nas seguintes variáveis:

- Valores Eficazes das Tensões (VRMS) das três linhas do sistema trifásico;

- Distorção Harmônica Total de Tensão (VTHD);
- Valor Eficaz da Corrente (IRMS);
- Distorção Harmônica Total de Corrente (ITHD);
- Potência Ativa (P);
- Potência Reativa (Q);
- Fator de Potência Total (TPF);
- Deslocamento do Fator de Potência (DPF);
- Energia gerada.

De acordo com o Módulo 8 do PRODIST, esses parâmetros são essenciais para entender não apenas a eficiência operacional da UF-Uni, mas também para assegurar que a energia produzida atende às normas de qualidade e segurança energética, fundamentais para a integração efetiva com a rede elétrica local (ANEEL, 2017).

Após a coleta dos dados, analisamos detalhadamente as grandezas elétricas, comparando-as com os limites do PRODIST e os valores nominais, para avaliar a qualidade da energia gerada e injetada. Os dados coletados e as análises realizadas formam a base para a próxima seção - Resultados e Discussões, onde detalhamos como essas medidas afetam a *performance* geral da usina e discutimos maneiras de otimizar a geração de energia com base nos padrões observados.

4.6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, são apresentados os resultados e discussões do estudo, estruturados em duas etapas principais: inicialmente, a análise dos indicadores de geração da usina fotovoltaica da UniEVANGÉLICA de 2020 a 2023; posteriormente, a avaliação dos estudos sobre a *performance* e a qualidade da energia elétrica gerada.

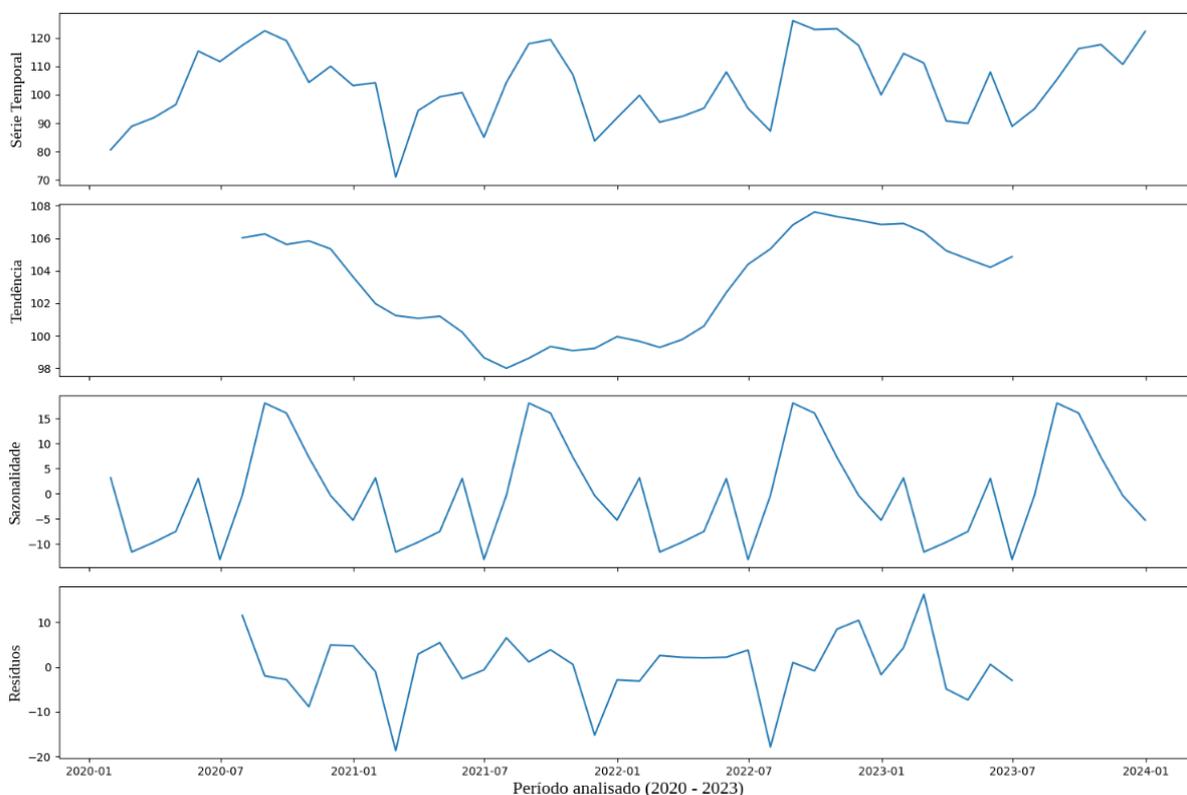
4.6.1 Análise sintetizada dos Indicadores de Geração da UF-Uni entre 2020 a 2023

Os indicadores de geração ao longo do período indicado foram meticulosamente analisados, e os resultados são apresentados nos trabalhos de Dias et al., (2024), submetidos para publicação. No entanto, de forma resumida, apresentamos os resultados na Figura 4.4 e discutimos logo após.

A análise exploratória dos dados foi realizada utilizando técnicas de séries temporais e a linguagem de programação *Python* no *Google Colaboratory*[®] (2024).

Esta parte do estudo permite uma avaliação detalhada das flutuações temporais na geração de energia, oferecendo *insights* sobre padrões sazonais e tendências.

Figura 4.4 - Representação da decomposição da Série Temporal
(Série Temporal, Tendência, Sazonalidade e Resíduos)



Fonte: Elaborado pelos autores com base nos relatórios de geração da UF-Uni (2023)

Ao examinarmos as curvas apresentadas na Figura 4.4, destacamos os seguintes pontos de análise:

- **Série Temporal:** A UF-Uni alcançou sua produção máxima em setembro de 2022, com um valor de 125,9 MWh. A maior média de geração foi alcançada em 2023, resultado de ações gerenciais como monitoramento contínuo, manutenção preventiva e planejamento sazonal. As maiores produções ocorrem de agosto a dezembro, alinhando-se com os estudos de Fernandes et al. (2018).
- **Tendência:** Observam-se variações ao longo do tempo, sem uma tendência de crescimento consistente. Picos de produção de até 108 MWh e vales de 98 MWh sugerem possível variação sazonal na produção de energia.
- **Sazonalidade:** A curva de Sazonalidade indica menor geração nos meses iniciais do ano e maior nos finais, corroborando estudos de Lazzaretti et al.

(2020) e Zamudio et al. (2023) sobre a importância do monitoramento em usinas fotovoltaicas.

- Resíduos: A curva de Resíduos mostra variações de -20 a 10 MWh, indicando flutuações não capturadas pelo modelo de série temporal, sugerindo a necessidade de análises adicionais para entender esses fatores influenciadores.

Dias, Souza, Dutra e Silva (2024), em estudo submetido para publicação (private communications), examinaram o comportamento dos dados e evidenciaram que os números de geração da UF-Uni seguem uma distribuição normal. Essa constatação foi feita por meio do teste de QQ Plot e confirmada pelo teste de Shapiro e Wilk (1965), que resultou em uma estatística de teste de 0.96912 e um p-valor de 0.23396. Como o p-valor foi superior ao nível crítico de 0.05, não rejeitaram a hipótese nula, concluindo que os indicadores de geração podem seguir uma distribuição normal. Além disso, os autores realizaram o teste de Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin KPSS (1992). Com uma estatística de teste de 0.1227 e um nível crítico de 0.4630 a 5% de significância, concluíram que os indicadores de geração são estacionários.

A partir da análise estatística descritiva e exploratória, conclui-se que os dados de geração da UF-Uni seguem uma distribuição normal, estão livres de outliers e não exibem tendências de geração positiva ou negativa. Observou-se uma geração média anual estável de 103,4 MWh, atingindo um pico de 105,8 MWh em 2023. Portanto, os dados de geração demonstram um comportamento previsível e foram gerenciados de forma eficiente ao longo do período analisado.

4.6.2 Estudo da *Performance* e Qualidade da Energia Elétrica Gerada pela Usina Fotovoltaica da Universidade Evangélica de Goiás (UniEVANGÉLICA)

Entre 20 de julho e 8 de agosto de 2022, instalamos os Analisadores de Energia nos circuitos de geração da usina fotovoltaica, conforme ilustrado nas Figuras 4.3 (a, b, c) – item metodologia. Programamos estes dispositivos para registrar leituras em intervalos de dez minutos, resultando em um total de 2.768 registros durante o período especificado. Este intervalo incluiu dias úteis, finais de semana e o recesso escolar, oferecendo uma perspectiva ampla para avaliarmos a eficiência energética sob variadas condições de demanda.

A configuração dos instrumentos foi estrategicamente escolhida para capturar a variabilidade nas condições de geração de energia, tanto durante o dia quanto sob diferentes condições climáticas. Esta abordagem meticulosa é essencial para atender aos requisitos da ANEEL, conforme estipulado pelo Programa de Eficiência da Distribuição - PRODIST (2017). Especificamente, o módulo 8 do PRODIST delinea procedimentos para assegurar uma QEE adequada, ressaltando a importância de um fornecimento que não só cumpra os padrões técnicos, mas que também esteja em conformidade com as normativas vigentes, promovendo um sistema energético eficiente e sustentável.

A partir do extenso conjunto de 2.768 registros coletados durante o período de estudos, utilizamos os filtros disponíveis no Excel[®]. Nosso foco foi exclusivamente nos períodos de geração diurna, excluindo as horas noturnas para assegurar a relevância dos dados analisados. Esta filtragem limitou nossa análise ao período das 06:03 às 18:03, resultando na seleção de 1.418 registros que representam as horas de plena operação da usina. Esse enfoque permitiu-nos detalhar os indicadores cruciais, apresentados na Tabela 4.1, que demonstram efetivamente a *performance* e a qualidade da energia produzida pela UF-Uni, evidenciando a eficiência e a estabilidade do sistema em funcionamento.

Tabela 4.3 - Resumo descritivo das principais variáveis em estudos.

Variáveis	Unidade de Medida	Média	Mediana	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
VRMS - L1	V - (Volts)	223,70	223,70	2,98	134,50	228,90
VRMS - L2	V - (Volts)	224,24	224,24	2,99	134,60	229,52
VRMS - L3	V - (Volts)	225,12	225,09	2,99	135,39	230,20
VRMS - Média	V - (Volts)	224,36	224,35	2,98	134,83	229,54
VTHD	**	2,44	2,42	0,15	2,13	4,63
IRMS	A - (Amperes)	441,36	486,63	293,13	2,35	907,08
ITHD	**	10,79	2,09	19,84	1,18	89,76
P	kW - (Kilowatts)	296,35	326,64	198,69	-2,42	614,23
Q	kvar - (Kilovar)	9,18	11,26	6,39	-8,82	17,37
TPF	**	0,86	1,00	0,42	-0,83	1,00
DPF	Graus (°) ou radianos	0,87	1,00	0,44	-0,90	1,00
Energy	kWh - Kilowatt-hora	32.523,23	32.506,45	19.021,90	6,45	66.037,20

Legenda: **VRMS** – Valor Eficaz da Tensão; **L1, L2, L3** – (Fases do sistema elétrico trifásico); **VTHD** - Distorção Harmônica Total de Tensão; **IRMS** - Valor Eficaz da Corrente; **ITHD** - Distorção Harmônica Total de Corrente; **P** – Potência Ativa; **Q** – Potência Reativa; **TPF** - Fator de Potência Total; **DPF** - Deslocamento do Fator de Potência; **Energy** – Energia gerada.

Fonte: Elaborado pelos autores com base nos relatórios de geração da UF-Uni (2023)

A análise da Tabela 4.1 evidencia que, no período em estudo, a usina registrou uma produção energética média de 32.523,23 kWh, com valores mínimos e máximos de 6,45 kWh e 66.037,20 kWh, respectivamente. A comparação desses

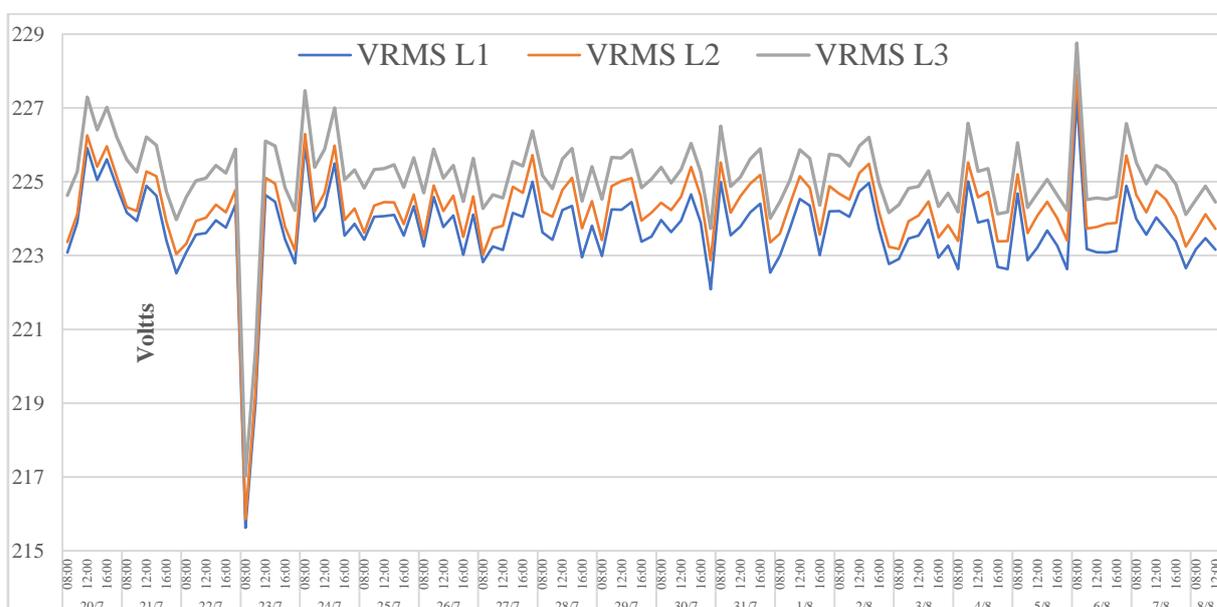
resultados com os comportamentos dos indicadores da Figura 4.4 (gráfico 1 - Série Temporal e gráfico 3 - Sazonalidade) permite observar que, nos meses de outubro a novembro, temos as maiores produções – período que corresponde à estação primavera.

A UF-Uni, instalada em área localizada no hemisfério sul, beneficia-se do alongamento dos dias na primavera e do subsequente aumento da luminosidade, elementos que amplificam a produção de energia solar. Tais características geográficas e sazonais otimizam a eficiência na captação de energia solar, tornando a região um ponto estratégico para o progresso de projetos sustentáveis. De acordo com os datasheets dos principais fabricantes de inversores e painéis solares, esses fatores podem elevar a eficiência dos projetos em até 25% (ALBA, 2022; PEB, 2024).

No inverno (março a junho), caracterizado pelo período de dias mais curtos e mais seco do ano, a geração energética esteve alinhada com temperaturas médias variando entre 15°C e 28°C e com uma irradiação solar inferior à observada na primavera e verão. Esta estação também se distingue por apresentar uma umidade relativa do ar reduzida e ventos mais amenos, embora não esteja isenta da ocorrência de frentes frias que podem provocar rajadas intensas e notáveis quedas de temperatura.

Adicionalmente, observa-se que as Tensões Eficazes das Fases (VRMS) das três fases do sistema elétrico trifásico em análise permaneceram consistentes, evidenciando um equilíbrio conforme demonstrado na Figura 4.5.

Figura 4.5 - Comportamento das Tensões Eficazes (VRMS)



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

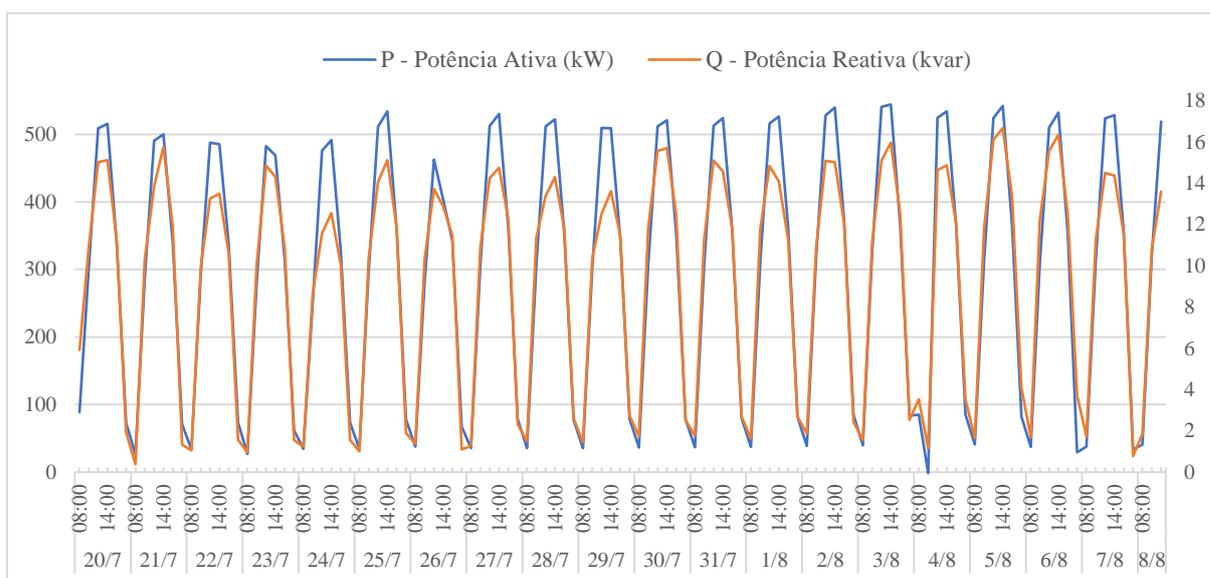
Examinando a Figura 4.5, evidencia-se um equilíbrio notável nas tensões eficazes das fases L1, L2 e L3, ilustrando uma operação homogênea e estável do sistema trifásico da usina. Registram-se apenas dois picos de tensão, provavelmente relacionados a incidentes pontuais como flutuações na irradiação solar, discrepâncias nos equipamentos ou intercorrências na rede elétrica externa. Quando avaliados em relação ao volume total de medições, estes revelam-se como ocorrências esporádicas e isoladas.

De modo geral, as tensões eficazes mantiveram-se em torno da média de 224,36 V, dentro dos limites estabelecidos pelo PRODIST, Quadro 4.1 ($202 \leq TL \leq 231$), refletindo um *status* de tensão 'adequado' e atestando a confiabilidade do sistema elétrico da usina. A constância das tensões durante as férias escolares (20/07 a 01/08) e no final de semana (06 e 07/08) salienta a capacidade do sistema em manter a *performance* diante das oscilações de demanda. Este fenômeno corrobora a estabilidade e eficácia do sistema fotovoltaico da UF-Uni, consonante com a literatura especializada. Devido à coerência entre as fases e outras variáveis elétricas monitoradas, decidimos proceder com uma análise agregada a partir das médias dos valores, visando simplificar o processamento e a interpretação dos resultados obtidos.

Ainda, ao analisar as tensões eficazes, observa-se que os picos inferiores de tensão (*undervoltage*), mais prevalentes ao redor das 18:00 h, coincidem com o horário do pôr do sol. Este padrão pode ser explicado pelo baixo índice de irradiação solar, bem como pela implementação de um sistema de geração paralelo na UniEVANGÉLICA, utilizando geradores a diesel para melhorar a eficiência energética nos períodos de pico de demanda do campus. Além disso, essas flutuações de tensão podem estar relacionadas à redução de cargas capacitivas durante este período, o que afeta a tensão no lado secundário do transformador da usina.

De modo geral, as variações de tensão ao longo do período analisado indicam uma resposta eficiente do sistema a diferentes condições operacionais e ambientais. A estabilidade das tensões eficazes, mesmo diante de flutuações, destaca a robustez do sistema fotovoltaico em fornecer energia de qualidade consistentemente. Tal fenômeno é mais claramente ilustrado na Figura 4.6.

Figura 4.6 - Variações da Potência Ativa e Reativa.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

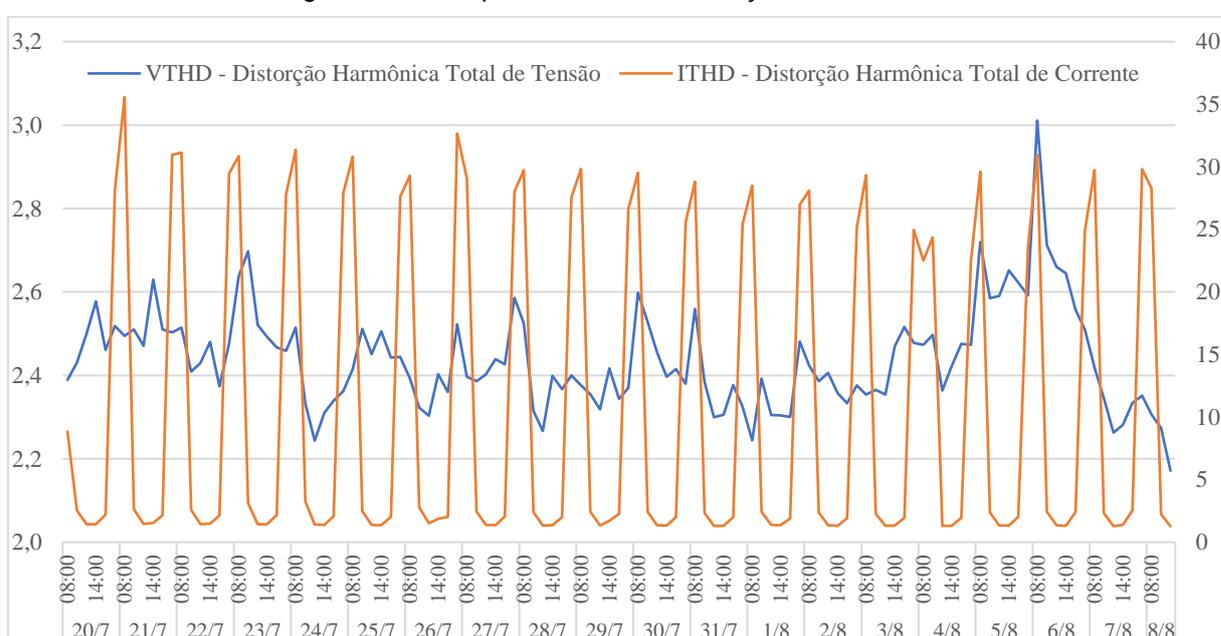
No estudo refletido pela Figura 4.6, identificamos um ciclo diário na Potência Ativa (P) e Potência Reativa (Q) geradas pela usina. Observa-se picos de Potência Ativa alinhados com o máximo de irradiação solar ao meio-dia, quando a irradiação solar é máxima. Isso demonstra a dependência direta da usina fotovoltaica da luz solar para a geração de energia. A Potência Ativa diminui ao entardecer e cessa completamente durante a noite, conforme esperado para sistemas fotovoltaicos que não possuem armazenamento de energia. A Potência Reativa manteve-se constante e em níveis baixos, sinalizando a eficiência do sistema.

Ao comparar os comportamentos desses indicadores com os dados da Tabela 4.1, evidenciamos que os valores de Potência Ativa ficaram abaixo do potencial projetado de 957 kWp da usina. A média registrada foi de 326,64 kW, com um pico de 614,23 kW. Resultados semelhantes foram reportados por Mendonça et al., (2022), que aplicaram metodologias análogas na avaliação da mesma Usina Fotovoltaica entre os dias 20 e 28 de outubro de 2022. Durante esse intervalo de sete dias, onde foram realizadas 1008 leituras válidas, observou-se que, apesar de ser primavera - uma estação de temperaturas amenas - a geração máxima não ultrapassou 750 kW e, em alguns casos, foi apenas de 300 kW. Contudo, a qualidade da energia permaneceu alta, garantida pelo equilíbrio do sistema elétrico e pelo eficiente gerenciamento das distorções harmônicas, conforme pode ser detalhado na Figura 4.7.

Ainda, observa-se um pequeno número de anomalias, como uma leve queda no dia 4/8. Essas variações podem ser atribuídas a condições climáticas adversas, manutenção do sistema, ou outros fatores externos.

Essas observações confirmam a eficiência do sistema em condições normais de operação e destacam a importância de monitoramento contínuo para identificar e corrigir quaisquer anomalias rapidamente. Além disso, a consistência nos ciclos diários demonstra que o sistema está operando conforme projetado, otimizando a captação de energia solar durante os períodos de alta irradiação.

Figura 4.7 - Comportamento das Distorções Harmônicas



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

A Figura 4.7 ilustra as variações da Distorção Harmônica Total de Tensão (VTHD) e de Corrente (ITHD), evidenciando o ciclo de energia gerada ao longo dos dias. Observamos que o VTHD se manteve consistentemente abaixo do limite de 3%, o que indica uma tensão estável e uma operação eficiente do sistema, em conformidade com os padrões de qualidade. As reduções nos dias 06 e 08/08 refletem o dimensionamento adequado da usina, que contempla todos os parâmetros críticos para manter a tensão dentro dos parâmetros ideais.

Por outro lado, a ITHD demonstrou maior volatilidade, com picos ocasionais superando 30%. Esses picos, que exigem atenção especial, podem resultar de cargas não lineares integradas ao sistema ou variações na geração de energia. Estas distorções harmônicas, conforme observado por Castro et al., (2020), podem ser exacerbadas por condições inadequadas de operação, como sombreamento ou clima

adverso, que levam a um desempenho inferior do inversor. Os picos elevados de ITHD podem comprometer a eficiência e a segurança do sistema, resultando em perdas e sobrecargas desnecessárias.

A análise dos dados de VTHD mostra uma consistência diária com picos ligeiramente superiores nos horários de maior geração de energia solar. Isso pode ser atribuído à maior quantidade de energia sendo processada pelos inversores durante esses períodos. Em contrapartida, a ITHD apresenta uma volatilidade significativa, com variações mais pronunciadas ao longo do dia. Essa instabilidade pode indicar a presença de cargas não lineares que impactam a qualidade da corrente.

A manutenção regular e a otimização do sistema fotovoltaico, incluindo a limpeza dos painéis solares e a recalibração dos inversores, são cruciais para manter baixos os níveis de ITHD e assegurar a entrega de energia de alta qualidade. Estratégias como a implementação de filtros de harmônicas e dispositivos de correção do fator de potência são eficazes para mitigar o impacto das harmônicas e reforçar a estabilidade operacional. Além disso, a instalação de sistemas de monitoramento em tempo real pode ajudar a identificar rapidamente quaisquer anomalias e permitir intervenções imediatas para corrigir problemas.

Portanto, no que tange a análise detalhada dos dados harmônicos, sublinha-se a importância do gerenciamento técnico diligente, que envolve um regime de monitoramento contínuo e manutenção programada, visando não apenas atender aos padrões normativos, mas também aprimorar a eficiência e a sustentabilidade do fornecimento de energia. A adaptabilidade e a revisão periódica das práticas operacionais são fundamentais para a manutenção de um fornecimento energético sustentável e eficiente.

4.7 CONCLUSÃO

Este estudo proporcionou *insights* valiosos sobre a eficiência energética e a qualidade da energia gerada pela Usina Fotovoltaica da UniEVANGÉLICA, destacando não apenas o potencial das energias renováveis em contribuir significativamente para a matriz energética sustentável, mas também os desafios inerentes à gestão da variabilidade e da intermitência das fontes renováveis. Os resultados obtidos demonstram que, apesar de alguns picos de distorção harmônica e desafios de eficiência abaixo do potencial máximo projetado, a usina mantém um

desempenho robusto e confiável, com uma qualidade de energia que atende às normativas do PRODIST.

Identificamos que práticas de manutenção adequadas e a integração de tecnologias avançadas de monitoramento são essenciais para otimizar a operação e aumentar a eficiência da usina. A instalação de sistemas de monitoramento em tempo real pode ajudar a identificar rapidamente quaisquer anomalias e permitir intervenções imediatas para corrigir problemas. A comparação com *benchmarks* de desempenho de outras regiões e a adaptação das melhores práticas internacionais podem servir como diretrizes para futuras melhorias. Além disso, a elaboração de políticas públicas que incentivem a qualidade e eficiência energética pode acelerar a adoção de soluções fotovoltaicas em larga escala.

Em conclusão, os resultados deste estudo reforçam a importância da energia solar no cenário energético atual, oferecendo um caminho viável para a redução da dependência de combustíveis fósseis e para o alcance de uma sustentabilidade energética ampla. As práticas de gestão e os resultados obtidos estão alinhados com os ODS e da ONU, promovendo não apenas a sustentabilidade ambiental, mas também o desenvolvimento social e econômico. Espera-se que as descobertas e metodologias aplicadas aqui inspirem pesquisas futuras e informem decisões estratégicas tanto em nível local quanto global, fortalecendo a infraestrutura energética para enfrentar os desafios do século XXI.

4.8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRASOLAR. **Modelo de negócio**. Disponível em:

<<https://www.abrasolar.com.br/saiba-mais>>. Acesso em: 21 abr. 2024.

ALBA. **Cinturão Solar e o potencial para geração de energia. 2022**. Disponível em: <<https://albaenergia.com.br/cinturao-solar-e-o-potencial-para-geracao-de-energia/>>. Acesso em: 21 abr. 2024.

ALSHAREEF, S. M. Analyzing and Mitigating the Impacts of Integrating Fast-Charging Stations on the Power Quality in Electric Power Distribution Systems. **Sustainability (Switzerland)**, v. 14, n. 9, 2022.

ANEEL. Atlas Brasileiro de Energia Solar. **Agência Nacional Energia Elétrica.**, p. 0–80, 2005.

ANEEL. **Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica** Agência Nacional Energia Elétrica.

[s.l.: s.n.]. Disponível em:

<https://antigo.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/Módulo8_Revisao_8/9c78cfab-a7d7-4066-b6ba-cfbda3058d19>.

ANEEL. **Primeiro trimestre de 2024 tem expansão de 2,6 GW na matriz elétrica.** Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2024/primeiro-trimestre-de-2024-tem-expansao-de-2-6-gw-na-matriz-eletrica>>. Acesso em: 24 abr. 2024.

BOGGIAN, L. C. C. **Governança e Meio Ambiente: Energia Fotovoltaica e a contribuição para a Agenda 2030 por meio dos objetivos de desenvolvimento sustentável na UniEVANGÉLICA.** 2023. 199p. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Programa de Pós-Graduação em Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente (PPGSTMA), Universidade Evangélica de Goiás (UniEVANGÉLICA) – Anápolis, 2023.

BORGES, M. R. N.; CARVALHO, P. **Geração de energia elétrica: fundamentos.** 1ª ed. São Paulo, Brasil: Saraiva SA / Editora Érica, 2012.

BOSO, A. C. M. R.; CREMASCO, C. P.; FILHO, L. R. G. F. Análise de custos dos sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid no Brasil. **Revista Científica - ANAP Brasil**, v. 8, n. 12, 2015.

CASTRO, M. S. DE et al. Análise do Impacto da Geração Fotovoltaica na Universidade Federal de Goiás/ Analysis of the Impact of Photovoltaic Generation at the Federal University of Goiás. **Brazilian Applied Science Review**, v. 4, n. 5, p. 3023–3042, 2020.

CELG D. **Resultados da Chamada Pública - Programa de Eficiência Energética (PEE) N° 002/2016, CELG Distribuição.** Goiânia: Centrais Elétricas de Goiás - Distribuição S.A (CELG D), 2016.

COLABORATY, G. **Google Colaboraty.** Disponível em: <<https://colab.research.google.com/>>. Acesso em: 22 abr. 2024.

DAANE, A. R.; VOKOS, S.; SCHERR, R. E. Conserving energy in physics and society: Creating an integrated model of energy and the second law of thermodynamics. **AIP Conference Proceedings**, v. 1513, p. 114–117, 2013.

DIAS, M. J. et al. Aplicação da estatística e da série temporal como ferramenta de gestão na geração de energia elétrica: Estudo de caso na usina fotovoltaica da UniEVANGÉLICA (2020-2023). **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade (GeAS)**, n. Artigo submetido para publicação, 2024.

ENERGYTREND. **Brazil's new photovoltaic installed capacity exceeds 6GW from January to May 2024.** Disponível em: <<https://www.energytrend.com/news/20240530-47250.html>>. Acesso em: 20 jul. 2024.

EPE. **Matriz Energética e Elétrica.** Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em: 24 jan. 2023.

EPE. **As principais publicações da EPE. 2024.** Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes>>. Acesso em: 13 mar. 2024a.

EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2024.** Disponível em: <[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-45/topico-79/Relatório Final do PDE 2024.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-45/topico-79/Relatório%20Final%20do%20PDE%202024.pdf)>. Acesso em: 24 abr. 2024b.

FERNANDES, D. S. et al. Estimativa da Radiação Solar Global com Base em Observações de Temperatura para o Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 3, p. 558–566, 2018.

FERNANDES, V. et al. **History and evolution of the environmental management system in Brazil**. [s.l: s.n.]. v. 11

FMI. **Relatório Anual do FMI**. Disponível em:

<[G1. **Maior hidrelétrica de Goiás está gerando menos energia atualmente do que em agosto de 2001, durante apagão**. Disponível em:](https://www.imf.org/pt/Publications/AREB#:~:text=O%20Relat%C3%B3rio%20Anual%20do%20FMI,Internacional%20e%20do%20Banco%20Mundial.>. Acesso em: 24 abr. 2024.</p></div><div data-bbox=)

<<https://g1.globo.com/go/goias/noticia/2021/09/08/maior-hidreletrica-de-goias-esta-gerando-menos-energia-atualmente-do-que-em-agosto-de-2001-durante-apagao.ghtml>>. Acesso em: 21 abr. 2024.

HANLON, R. T. “The 1st Law of Thermodynamics”. In: **Block by Block: The Historical and Theoretical Foundations of Thermodynamics**. Oxford/EUA: Oxford University Press, 2020. p. 261–269.

IEA. **Government clean energy investment support enacted since the start of the Covid-19 crisis, by sector, Q2-2023**. Disponível em: <<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/government-clean-energy-investment-support-enacted-since-the-start-of-the-covid-19-crisis-by-sector-q2-2023>>. Acesso em: 24 abr. 2024.

INMETRO. **Energia Elétrica**. Disponível em: <<https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/metrologia-cientifica/laboratorios/eletricidade-e-magnetismo/energia-eletrica>>. Acesso em: 22 abr. 2024.

KNISS, C. T. et al. **50 anos de Estocolmo’72 e 30 Anos da Rio’92: Reflexões sobre o Brasil Contemporânea e os Desafios para um Futuro Sustentável**. [s.l: s.n.]. v. 12

KOHLE, T. E. G. F. et al. Estudo do Potencial de Geração de Energia Eólica no Estado de Goiás. **Revista Processos Químicos**, v. 14, n. 28, p. 49–60, 23 abr. 2021.

KWIATKOWSKI, D. et al. Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root. How sure are we that economic time series have a unit root? **Journal of Econometrics**, v. 54, n. 1–3, p. 159–178, 1992.

LAZZARETTI, A. E. et al. A monitoring system for online fault detection and classification in photovoltaic plants. **Sensors (Switzerland)**, v. 20, n. 17, p. 1–30, 2020.

LOPES, M. P. C. **USINAS FOTOVOLTAICAS FLUTUANTES COMO ALTERNATIVA PARA A GERAÇÃO DE ENERGIA E REDUÇÃO DA EVAPORAÇÃO EM AÇUDES DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**. [s.l: s.n.].

MENDONÇA, F. C. et al. Estudo da performance e qualidade de energia solar fotovoltaica gerada na Universidade Evangélica de Goiás. **Repositório Institucional - Universidade Evangélica de Goiás - UniEVANGÉLICA**, p. 22, 2022.

MENDONÇA, M. et al. **ANÁLISE DE MOTIVAÇÃO E SATISFAÇÃO NA INSTALAÇÃO DE PAINÉIS SOLARES FOTOVOLTAICOS POR MEIO DE MAPAS COGNITIVOS FUZZY**. [s.l: s.n.].

MORAN, M. J. N. . et al. **Princípios de termodinâmica para engenharia**. 8ª ed. São Paulo/SP: Grupo Gen-LTC, 2018.

ONS. **Boletins da Operação**. Disponível em: <<https://www.ons.org.br/paginas/resultados-da-operacao/boletins-da-operacao>>. Acesso em: 21 abr. 2024.

PEB. **Quais são os incentivos governamentais para o uso de energia solar no Brasil. 2024**. Disponível em: <<https://portalenergiabrasil.com.br/energia-solar-7-icentivos-no-brasil/>>. Acesso em: 23 jan. 2024.

PEREIRA, N. X. **DESAFIOS E PERSPECTIVAS DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL: GERAÇÃO DISTRIBUÍDA VS GERAÇÃO CENTRALIZADA**. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais)—Sorocaba/SP: Universidade Estadual Paulista - UNESP, 2019.

PORTAL SOLAR. **Energia solar em Goiânia – GO**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-em-goiania-go>>. Acesso em: 21 abr. 2024.

PV MAGAZINE. **Brazil hits 40 GW milestone. 2024**. Disponível em: <<https://www.pv-magazine.com/2024/03/11/brazil-hits-40-gw-milestone/>>. Acesso em: 20 jul. 2024.

REDISKE, G. **MODELAGEM PARA AVALIAÇÃO DE LOCAIS ADEQUADOS PARA A INSTALAÇÃO DE USINAS FOTOVOLTAICAS**. UFSM – Universidade Federal de Santa Maria., 2019.

RIGO, P. D. et al. Renewable energy problems: Exploring the methods to support the decision-making process. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 23, p. 1–27, 2020.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). In: PRESS, O. U. (Ed.). *Biometrika* ed. London-UK: Oxford University Press, 1965. p. 591–611.

SMITH, J. M.; VAN NESS, H. C.; ABBOTT, M. M. **Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics**. 7ª ed. New York, New York, U.S.: McGraw-Hill Education, 2005.

SOUZA, A. B. DE; OLIVEIRA, A. L. Benefícios Ambientais Da Energia Fotovoltaica. **Revista Interface Tecnológica**, v. 16, n. 2, p. 287–298, 2019.

SUBRAMANIAM, U. et al. A hybrid PV-battery system for ON-grid and off-grid applications-controller-in-loop simulation validation. **Energies**, v. 13, n. 3, 2020.

TSOUKALAS, L. H.; GAO, R. From smart grids to an energy internet: Assumptions, architectures and requirements. **3rd International Conference on Deregulation and Restructuring and Power Technologies, DRPT 2008**, n. April, p. 94–98, 2008.

UNIEVANGÉLICA. **UniEVANGÉLICA inaugura maior Estacionamento Solar do país (07/10/2029)**. Disponível em: <<https://www4.unievangelica.edu.br/noticia/6525-unievangelica-inaugura-maior-estacionamento-solar-do-pais>>. Acesso em: 1 mar. 2024.

UNIEVANGÉLICA. **UniEVANGÉLICA inaugura Laboratório de Eficiência Energética Fotovoltaica (LEEFOTO)**. Disponível em: <<https://portalcontexto.com/unievangelica-inaugura-laboratorio-eficiencia-energetica-fotovoltaica/>>. Acesso em: 25 mar. 2024.

UNIEVANGÉLICA. **Quem Somos. 2024**. Disponível em: <<https://www4.unievangelica.edu.br/pagina/quem-somos#:~:text=Missão,social e o desenvolvimento sustentável.>>. Acesso em: 16 jul. 2024.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R.; FILHO, E. R. Comprehensive approach to modeling and simulation of photovoltaic arrays. **IEEE Transactions on Power Electronics**, v. 24, n. 5, p. 1198–1208, 2009.

WOYTE, A. et al. Monitoring of Photovoltaic Systems: Good Practices and Systematic Analysis. **Journal of Chemical Information and Modeling**, v. 53, n. 9, p. 1689–1699, 2013.

YOON, S. Willingness-to-Pay of Converting a Centralized Power Generation to a Distributed Power Generation: Estimating the Avoidance Benefits from Electric Power Transmission. **Sustainability (Switzerland)**, v. 15, n. 6, 2023.

ZAMUDIO, M. A. et al. Development of a low-cost monitoring system for the measurement of DC and AC electrical parameters in grid-connected photovoltaic systems based on IEC standards. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 2538, n. 1, 2023.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo desta tese era avaliar a eficiência energética e a sustentabilidade da Usina Fotovoltaica da UniEVANGÉLICA em Anápolis, Goiás, entre 2020 e 2023, analisando os indicadores de geração e qualidade da energia, assim como as práticas de gestão ambiental. Além disso, correlacionar esses aspectos com os impactos ambientais positivos decorrentes da produção de energia elétrica limpa, renovável e sustentável.

Para alcançar esse objetivo, foram realizados estudos sobre a evolução histórica da questão energética da AEE, compreendendo os propósitos institucionais da UniEVANGÉLICA na busca pela eficiência energética. Uma revisão sistemática dos propósitos mundiais para a implantação de usinas fotovoltaicas foi conduzida, com foco em artigos científicos e outros trabalhos de pesquisa que investigaram os benefícios e impactos ambientais dessas implantações, bem como a qualidade da energia gerada por essas usinas. Adicionalmente, analisou-se a aplicação de ferramentas estatísticas e o uso da técnica de série temporal para medir, monitorar e projetar gerações futuras da energia elétrica produzida na UF-Uni, e sua adesão à governança universitária e aos padrões globais de desenvolvimento sustentável. Por fim, avaliou-se a eficiência energética e a conformidade da Usina Fotovoltaica da UniEVANGÉLICA com os padrões de qualidade, monitorando indicadores e variáveis operacionais para sugerir otimizações na operação e promover um fornecimento energético sustentável.

A partir de estudos em manuscritos, sites institucionais, livros e outras fontes documentais, conclui-se que a AEE, após 72 anos de sua fundação, caminha para a sustentabilidade energética e ambiental. Trabalhos iniciados em 2011 na UniEVANGÉLICA, uma de suas mantidas, com a adoção de novas tecnologias para o uso racional da energia elétrica, como lâmpadas e equipamentos eletroeletrônicos modernos, bem como uso de geradores a diesel nos horários de pico. No entanto, somente em 2016, com participação e vitória na Chamada Pública PEE CELG D Nº 002/2016, foi que o projeto de sustentabilidade foi alcançado com a construção de sua própria usina fotovoltaica. Projetada para gerar 957 kWp, com 2.900 painéis solares divididos em 29 *strings*, instalada em um dos estacionamentos cobertos do campus. Inaugurada em 2019 e capaz de gerar até 40% de sua demanda energética, a UF-Uni foi reconhecida como o maior estacionamento fotovoltaico do país naquela época. Outro destaque é o LEEFoto, construído em parceria com a FAPEG e inaugurado em

2021, que promove pesquisa, treinamento e consultoria em eficiência energética. Esses achados podem contribuir para pesquisas institucionais que buscam a evolução histórica da questão energética da AEE.

A revisão sistemática destacou que a matriz elétrica mundial é predominantemente sustentada por fontes não renováveis, especialmente por meio do uso de combustíveis fósseis, como carvão e gás natural. Já a composição da matriz elétrica brasileira é majoritariamente composta por fontes renováveis, divergindo da matriz elétrica mundial, porém com mais de 60% de fontes hidráulicas. A pesquisa revela que as Usinas Fotovoltaicas (UFs) podem ser a solução para a composição das matrizes energéticas, especialmente no Brasil devido ao alto índice de radiação solar. Essa revisão aponta que, apesar das UFs terem importância na matriz energética mundial devido à sua relevância para o desenvolvimento sustentável, os propósitos globais para as implantações se concentram em indicadores financeiros e de *performance*, enquanto os ambientais são frequentemente secundarizados, destacando a necessidade de maior equilíbrio. Assim, esta seção contribui para pesquisas que buscam o entendimento dos propósitos globais para a implantação das UFs.

A aplicação de ferramentas estatísticas, através de séries temporais, demonstrou eficácia no monitoramento e projeção da geração de energia, reforçando a importância da governança universitária e o uso de inteligência artificial para otimização. Os resultados deste estudo podem ser utilizados para relatar, de forma sintetizada, o avanço histórico da Instituição na busca pela questão energética, bem como o uso de ferramentas estatísticas para melhor gerir a geração de energia elétrica de sua usina fotovoltaica, permitindo até mesmo prever gerações futuras com maior precisão. Além disso, outras usinas fotovoltaicas vinculadas a Instituições de Ensino Superior (IES) ou empresas podem utilizar este modelo de gestão como referência para desenvolver e implementar práticas sustentáveis e eficientes em suas próprias operações, promovendo a sustentabilidade e a eficiência energética em diversos contextos.

A avaliação da eficiência energética e a conformidade da UF-Uni, foi realizada utilizando os indicadores de geração referente às produções de 2020 a 2023. Esses indicadores foram confrontados com as Regras e Procedimentos de Distribuição (PRODIST), Módulo 8, da ANEEL. Os resultados práticos indicam que a energia gerada pela UF-Uni está adequada aos padrões brasileiros exigidos pelos

procedimentos da ANEEL, embora a produtividade esteja abaixo do projetado. Portanto, sugere-se a necessidade de manutenção regular e adoção de tecnologias avançadas para assegurar eficiência energética. Os resultados dessa pesquisa podem ser utilizados para o entendimento da qualidade da energia gerada pela UF-Uni, e os modelos e procedimentos metodológicos podem ser utilizados em pesquisas futuras para analisar a manutenção da qualidade da energia gerada e o monitoramento de melhorias nos indicadores de geração.

De forma geral, pode-se concluir que o projeto institucional resultante está focado no alinhamento da Responsabilidade Institucional aos ODS da Agenda 2030, alinhado com os princípios de ESG e as diretrizes da ONU.

Limitações e aspectos não abordados: Algumas áreas não puderam ser abordadas devido a limitações de tempo e recursos. Não foi possível realizar um estudo longitudinal mais extenso que cobrisse um período além dos anos de 2020 a 2023. A análise de impacto social das iniciativas de sustentabilidade da UniEVANGÉLICA sobre a comunidade local e a economia regional não foi explorada em profundidade. A integração de tecnologias emergentes, como baterias de armazenamento de energia e *smart grids*, não foi abordada. Finalmente, a colaboração com outras instituições acadêmicas e organizações governamentais para uma análise comparativa com outras usinas fotovoltaicas em diferentes contextos geográficos e climáticos seria benéfica para validar e expandir os achados deste estudo.

Trabalhos futuros:

- Estudo longitudinal de longo prazo
- Impacto social e econômico
- Integração de tecnologias emergentes
- Comparação com outras usinas fotovoltaicas
- Colaborações interinstitucionais
- Análise de custo-benefício
- Modelagem e simulação

6 REFERÊNCIAS

Referências bibliográficas estruturais da Tese: Seção I - Abordagem Introdutória; Seção V - Compêndio Conclusivo.

AEE. **Projeto de Eficiência Energética - PEE. Acompanhamento e Execução por meio de Projeto de Extensão Universitária.** Anápolis: Diretoria Administrativa da Associação Educativa Evangélica - AEE, 2016.

AGÊNCIA SENADO. **Sancionado marco legal para quem gera a própria energia. 2022.** Disponível em: <<https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2022/01/07/sancionado-marco-legal-para-quem-gera-a-propria-energia>>. Acesso em: 15 jul. 2024.

ALBA. **Cinturão Solar e o potencial para geração de energia. 2022.** Disponível em: <<https://albaenergia.com.br/cinturao-solar-e-o-potencial-para-geracao-de-energia/>>. Acesso em: 21 abr. 2024.

ALVES, M. O. L. **Energia Solar: Estudo da Geração de Energia Elétrica através dos Sistemas Fotovoltaicos On-Grid e Off-Grid.** 2019. 76p. Monografia (Engenharia Elétrica) - Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) - João Monlevade/MG, 2019.

ANEEL. **Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica Agência Nacional Energia Elétrica.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://antigo.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/Módulo8_Revisao_8/9c78cfab-a7d7-4066-b6ba-cfbda3058d19>.

BOGGIAN, L. C. C. **Governança e Meio Ambiente: Energia Fotovoltaica e a contribuição para a Agenda 2030 por meio dos objetivos de desenvolvimento sustentável na UniEVANGÉLICA.** 2023. 199p. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Programa de Pós-Graduação em Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente (PPGSTMA), Universidade Evangélica de Goiás (UniEVANGÉLICA) – Anápolis, 2023.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Art. 207 - “...princípio de indissociabilidade entre ensino, pesquisa e extensão”.** Diário Oficial da União, Brasília/DF – Brasil, 5 out., , 1988. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso em: 15 jul. 2024

BRASIL. **LEI Nº 14.300, DE 6 DE JANEIRO DE 2022. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS).** Diário Oficial da União, Brasília/DF - Brasil, 2022. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/L14300.htm>. Acesso em: 16 jul. 2024

CASTRO, M. S. DE et al. Análise do Impacto da Geração Fotovoltaica na Universidade Federal de Goiás/ Analysis of the Impact of Photovoltaic Generation at the Federal University of Goiás. **Brazilian Applied Science Review**, v. 4, n. 5, p. 3023–3042, 2020.

CELG D. **Resultados da Chamada Pública - Programa de Eficiência Energética (PEE) N° 002/2016, CELG Distribuição.** Goiânia: Centrais Elétricas de Goiás - Distribuição S.A (CELG D), 2016.

CONTEXTO. **Anápolis é a terceira cidade em Goiás com mais geração de energia solar. 2022.** Disponível em: <<https://portalcontexto.com/anapolis-e-a-terceira-cidade-em-goias-com-mais-geracao-de-energia-solar/>>. Acesso em: 26 jul. 2024.

COUTO MAGALHÃES. **Alunos do Colégio Couto Magalhães Visitam Usina Fotovoltaica na Unievangélica. 2024.** Disponível em: <<https://anapolis.colegiocoutomagalhaes.com.br/noticias/alunos-do-colegio-couto-magalhaes-visitam-usina-fotovoltaica-na-unievangelica>>. Acesso em: 26 jul. 2024.

DIAS, M. J. et al. Aplicação da estatística e da série temporal como ferramenta de gestão na geração de energia elétrica: Estudo de caso na usina fotovoltaica da UniEVANGÉLICA (2020-2023). **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade (GeAS)**, n. Artigo submetido para publicação, 2024.

EPE. **Informativo Técnico N° 011/2022. Apresentação da metodologia e dos fatores de emissão utilizados para as estimativas de emissão de GEE nos planos de energia, no BEN e demais produtos da EPE.** Brasília/DF: [s.n.]. Disponível em: <[https://www.epe.gov.br/sites-pt/areas-de-atuacao/estudos-socioambientais/SiteAssets/Paginas/Emissoes-de-Gases-de-Efeito-Estufa/Informativo_Tecnico_11-2022_fatores de emissãoSMA.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/areas-de-atuacao/estudos-socioambientais/SiteAssets/Paginas/Emissoes-de-Gases-de-Efeito-Estufa/Informativo_Tecnico_11-2022_fatores%20de%20emiss%C3%A3oSMA.pdf)>. Acesso em: 11 jul. 2024.

EPE. **Matriz Energética e Elétrica.** Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em: 24 jan. 2023.

EPE. **As principais publicações da EPE. 2024.** Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes>>. Acesso em: 13 mar. 2024.

FERREIRA SOBRINHO, O. **Meio Século Formando Gerações.** 1. ed. Anápolis: Associação Educativa Evangélica, 1997.

FERREIRA SOBRINHO, O. **Sob as Luzes do Milênio.** 1. ed. Anápolis/GO: Associação Educativa Evangélica, 2002.

FERREIRA SOBRINHO, O. **A um passo da Universidade.** 1. ed. Anápolis: Associação Educativa Evangélica, 2004.

FERREIRA SOBRINHO, O. **Um Novo Tempo Sempre.** 1. ed. Anápolis: Associação Educativa Evangélica, 2007.

FRAGA, A.; LAGO, M.; ROCHA, R. **Despite Troubles, Brazil's SUS Health System Can Be a Model for Latin America. 2020.** Disponível em: <<https://www.americasquarterly.org/article/5-big-ideas-universal-health/>>. Acesso em: 26 jul. 2024.

INPE, I. N. DE P. E. **Novo sistema facilita consulta sobre potencial de energia solar.** Disponível em: <http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=5087>. Acesso em: 1 fev. 2024.

MENDONÇA, F. C. et al. Estudo da performance e qualidade de energia solar fotovoltaica gerada na Universidade Evangélica de Goiás. **Repositório Institucional**

- **Universidade Evangélica de Goiás - UniEVANGÉLICA**, p. 22, 2022.

MME. **Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional 2023 – Ano base 2022 (BEN 2022)**. Brasília/DF: Ministério de Minas e Energia - MME, 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-631/BEN_Síntese_2022_PT.pdf>. Acesso em: 23 jan. 2024.

MME, E. DE P. E. **Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional 2022 – Ano base 2021 (BEN 2021)Ministério de Minas e Energia**. Brasília/DF: [s.n.]. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2022>>. Acesso em: 23 jan. 2024.

OPINIÃO, J. **ENEL instala em Anápolis maior estacionamento solar do Brasil. 2019**. Disponível em: <<https://www.opiniaonet.com.br/ultimas-noticias/4677-enel-instala-em-anapolis-maior-estacionamento-solar-do-brasil>>. Acesso em: 25 mar. 2024.

PAIVA, L. H.; COTTA, T. C.; BARRIENTOS, A. Brazil's Bolsa Família Programme. **Great Policy Successes**, p. 21–41, 2019.

PEB. **Quais são os incentivos governamentais para o uso de energia solar no Brasil. 2024**. Disponível em: <<https://portalenergiabrasil.com.br/energia-solar-7-icentivos-no-brasil/>>. Acesso em: 23 jan. 2024.

PEREIRA, N. X. **Desafios e Perspectivas da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil: Geração Distribuída VS Geração Centralizada**. 2019. 86p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Instituto de Ciência e Tecnologia, “Júlio de Mesquita Filho”, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Sorocaba/SP, 2019.

PORTAL 6. **Anápolis ganha o maior estacionamento solar do Brasil. 2019**. Disponível em: <<https://portal6.com.br/2019/10/04/anapolis-ganha-o-maior-estacionamento-solar-do-brasil/>>. Acesso em: 25 mar. 2024.

PORTAL SOLAR. **ENEL instala maior estacionamento solar do Brasil em Anápolis. 2019**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/noticias/negocios/empresas/enel-instala-maior-estacionamento-solar-do-brasil-em-anapolis>>. Acesso em: 25 mar. 2024.

PPGS. **Pós-Graduações: Mestados e Doutorados. 2024**. Disponível em: <<https://www4.unievangelica.edu.br/pagina/coordenacao-stricto-sensu>>. Acesso em: 15 jul. 2024.

PPGSTMA. **Programa de Pós-graduação em Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente. 2024**. Disponível em: <<https://www4.unievangelica.edu.br/ppg/sociedade-tecnologia-e-meio-ambiente>>. Acesso em: 15 jul. 2024.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ANÁPOLIS. **Site Institucional. 2024**. Disponível em: <<https://www.anapolis.go.gov.br/>>. Acesso em: 26 jul. 2024.

PROPPE. **Inovação, Desenvolvimento e Sustentabilidade: Estreitamento entre Universidade e Setor Produtivo no Estado de Goiás**. Anápolis/GO: Pró-Reitoria de Pós-Graduação, Pesquisa, Extensão e Ação Comunitária - PROPPE, 2019.

PV MAGAZINE. **Inaugurado o maior estacionamento solar do Brasil. 2019**. Disponível em: <<https://www.pv-magazine-latam.com/brasil-noticias/inaugurado-o-maior-estacionamento-solar-do-brasil/>>. Acesso em: 25 mar. 2024.

PV MAGAZINE. **Brazil hits 40 GW milestone. 2024.** Disponível em: <<https://www.pv-magazine.com/2024/03/11/brazil-hits-40-gw-milestone/>>. Acesso em: 20 jul. 2024.

RODRIGUES, M. **Will Brazil's President Lula keep his climate promises?. 2023.** Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/d41586-023-00011-6>>. Acesso em: 26 jul. 2024.

SATO, K. C. F.; CAMPOS, A. J. C. S. Análise da cobertura vacinal do Programa Nacional de Imunização entre os anos de 2019 a 2022, do Município de Anápolis, Goiás, Brasil. **Brazilian Journal of Health Review (BJHR)**, v. 6, n. 6, p. 32536–32547, 2023.

SENIWATI, S.; RANTI, M. A. Brazil's Diplomacy Strategy in Responding to International Pressure on The Problem of Deforestation. **Hasanuddin Journal of International Affairs**, v. 4, n. 01, p. 57–66, 2024.

UNIEVANGÉLICA. **UniEVANGÉLICA terá maior Usina Fotovoltaica Urbana do Brasil. 2018.** Disponível em: <<https://www4.unievangelica.edu.br/noticia/6214-unievangelica-tera-maior-usina-fotovoltaica-urbana-do-brasil>>. Acesso em: 16 jul. 2024a.

UNIEVANGÉLICA. **Assinado contrato para construção da maior Usina Fotovoltaica Urbana do Brasil. 2018.** Disponível em: <<https://www4.unievangelica.edu.br/noticia/6216-assinado-contrato-para-construcao-da-maior-usina-fotovoltaica-urbana-do-brasil>>. Acesso em: 29 jul. 2024b.

UNIEVANGÉLICA. **ATA de Reunião para definição da alteração da planta da UF-Uni.** Anápolis/GO: Univsersidade Evangélica de Goiás, 2018c.

UNIEVANGÉLICA. **UniEVANGÉLICA inaugura maior Estacionamento Solar do país. 2019.** Disponível em: <<https://www4.unievangelica.edu.br/noticia/6525-unievangelica-inaugura-maior-estacionamento-solar-do-pais>>. Acesso em: 25 mar. 2024a.

UNIEVANGÉLICA. **UniEVANGÉLICA inaugura maior Estacionamento Solar do país (07/10/2029).** Disponível em: <<https://www4.unievangelica.edu.br/noticia/6525-unievangelica-inaugura-maior-estacionamento-solar-do-pais>>. Acesso em: 1 mar. 2024b.

UNIEVANGÉLICA. **UniEVANGÉLICA inaugura Laboratório de Eficiência Energética Fotovoltaica. 2021.** Disponível em: <<https://portalcontexto.com/unievangelica-inaugura-laboratorio-eficiencia-energetica-fotovoltaic/>>. Acesso em: 25 mar. 2024.

UNIEVANGÉLICA. **Usina Fotovoltaica da UniEVANGÉLICA completa três anos de contribuição para o meio ambiente e geração de energia limpa. 2022.** Disponível em: <<https://www4.unievangelica.edu.br/noticia/usina-fotovoltaica-da-unievangelica-completa-tres-anos-de-contribuicao-para-o-meio-ambiente-e-geracao-de-energia-limpa>>. Acesso em: 1 mar. 2024.

UNIEVANGÉLICA. **Plano de Desenvolvimento Institucional (PDI) 2019-2023.** Anápolis: Universidade Evangélica de Goiás - UniEVANGÉLICA, 2023. Disponível em: <<https://www4.unievangelica.edu.br/storage/9971/UniEVANGÉLICA---PDI-2019-2023-Rev-28.6.2023-compactado.pdf>>. Acesso em: 25 jul. 2024.

UNIEVANGÉLICA. **História da AEE - Livros. 2024.** Disponível em:

<<https://www4.unievangelica.edu.br/pagina/historia-da-ae-livros>>. Acesso em: 15 jul. 2024a.

UNIEVANGÉLICA. **Responsabilidade Social. 2024**. Disponível em: <<https://www4.unievangelica.edu.br/pagina/responsabilidade-social>>. Acesso em: 26 jul. 2024b.

UNIEVANGÉLICA. **Quem Somos. 2024**. Disponível em: <<https://www4.unievangelica.edu.br/pagina/quem-somos#:~:text=Missão,social e o desenvolvimento sustentável.>>. Acesso em: 16 jul. 2024c.

UNIEVANGÉLICA. **UniEVANGÉLICA planeja ações de pesquisa e extensão em reunião estratégica na PROPPE. 2024**. Disponível em: <<https://www4.unievangelica.edu.br/noticia/unievangelica-planeja-acoes-de-pesquisa-e-extensao-em-reuniao-estrategica-na-proppe>>. Acesso em: 15 jul. 2024d.

VITALUX-ECOATIVA. **Vitalux-Ecoativa Projetos Sustentáveis. 2024**. Disponível em: <<https://vitalux-eco.com.br/pt/institucional>>. Acesso em: 16 jul. 2024.

VITALUX. **PEE - Programa de Eficiência Energética - Sumário executivo. 2016 Chamada Pública das Concessionárias de Energia**. Anápolis: Vitalux Projetos Sustentáveis, 2016.

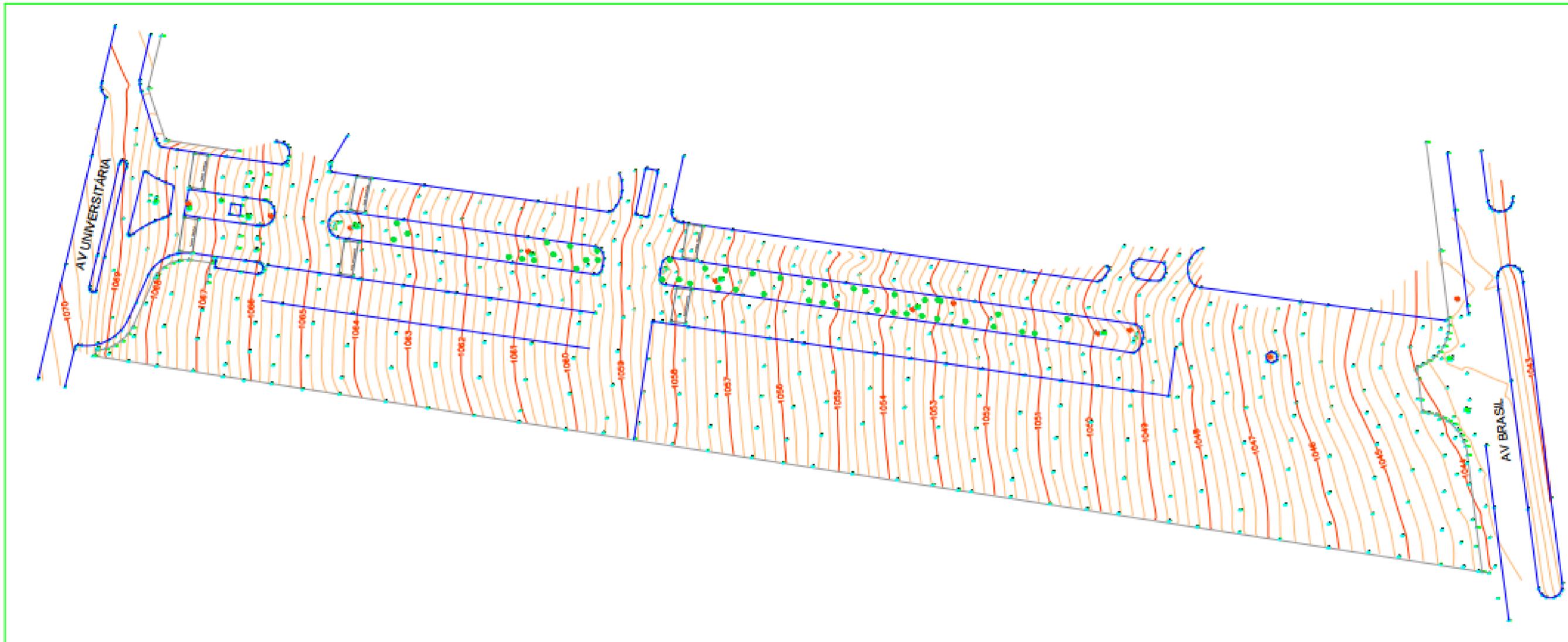
VITALUX. **Vitalux-Ecoativa - Proposta, Projeto e Manutenção da Usina Fotovoltaica da UniEVANGÉLICA**. Anápolis: Vitalux-Ecoativa, 2019.

WORDCLOUDS. **Nuvem de Palavras**. Disponível em: <<https://www.wordclouds.com/>>. Acesso em: 1 fev. 2024.

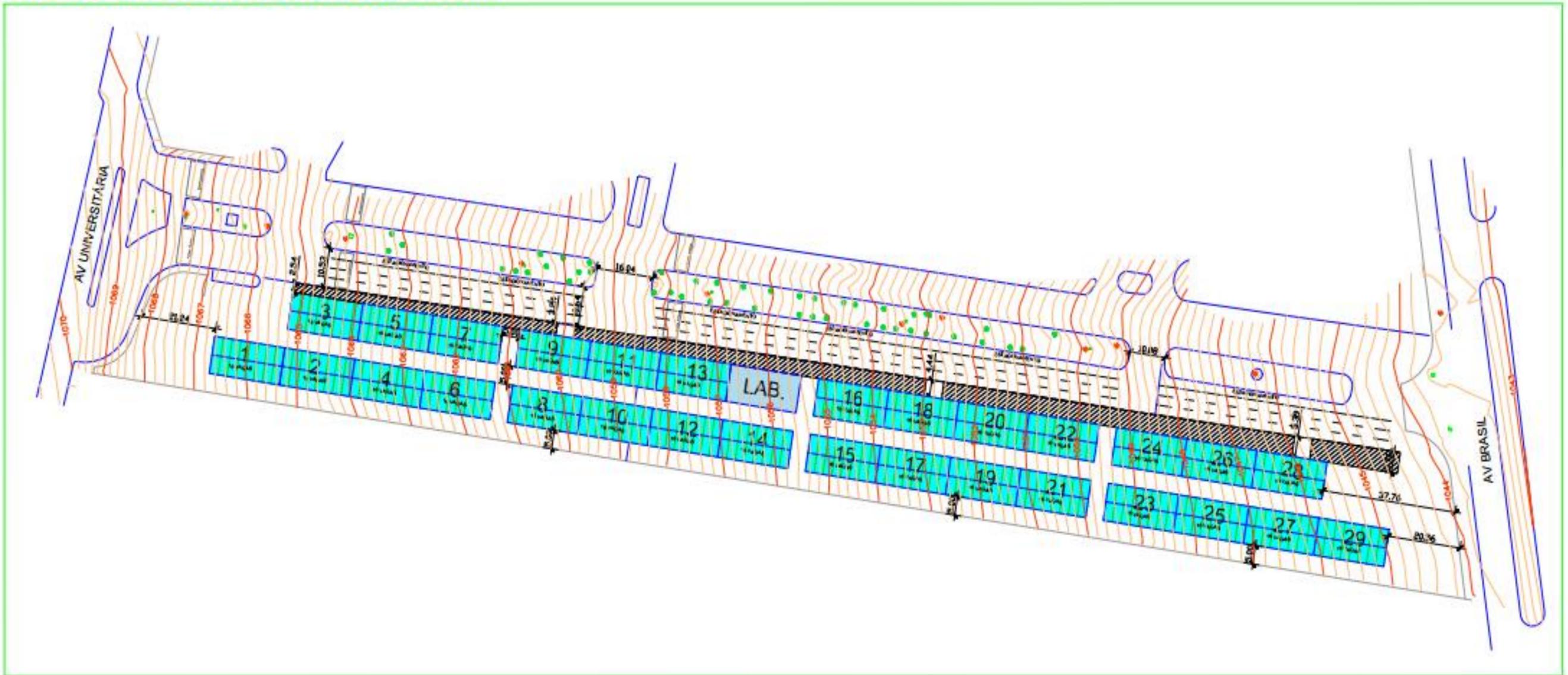
7 ANEXOS

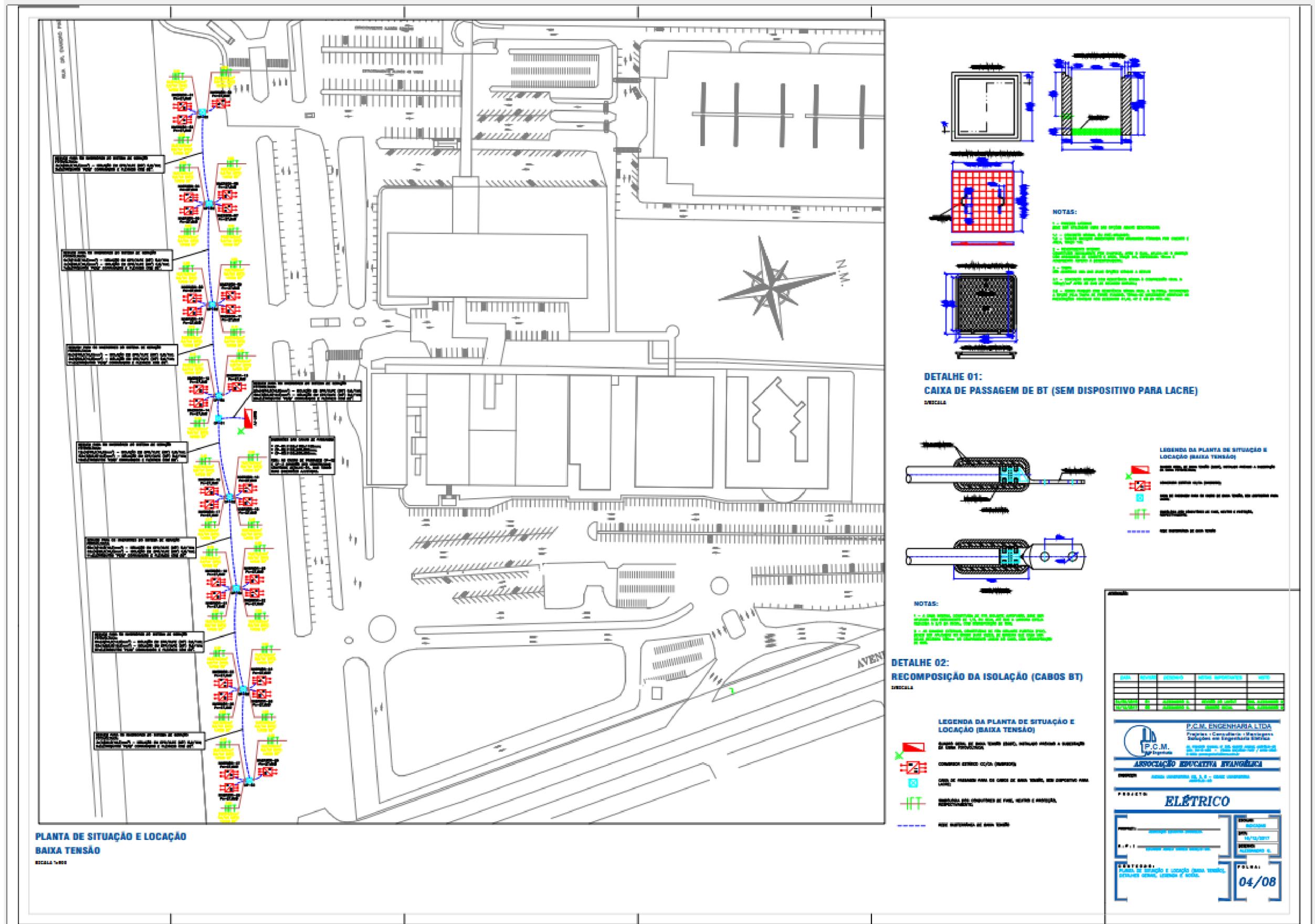
7.1 Levantamento do Layout do Estacionamento para a Construção da UF-Uni

LEVANTAMENTO ESTACIONAMENTO UNI - 13-06-18



LEVANTAMENTO ESTACIONAMENTO UNI - 13-06-18



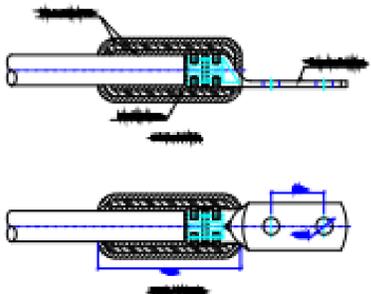


PLANTA DE SITUAÇÃO E LOCAÇÃO
BAIXA TENSÃO

ESCALA 1:500

DETALHE 01:
CAIXA DE PASSAGEM DE BT (SEM DISPOSITIVO PARA LACRE)

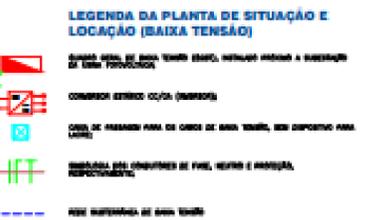
ESCALA



- NOTAS:
- 1 - A caixa deve ser feita com material resistente à corrosão e à umidade.
 - 2 - A caixa deve ser feita com material resistente à corrosão e à umidade.
 - 3 - A caixa deve ser feita com material resistente à corrosão e à umidade.

DETALHE 02:
RECOMPOSIÇÃO DA ISOLAÇÃO (CABOS BT)

ESCALA



- NOTAS:
- 1 - A caixa deve ser feita com material resistente à corrosão e à umidade.
 - 2 - A caixa deve ser feita com material resistente à corrosão e à umidade.
 - 3 - A caixa deve ser feita com material resistente à corrosão e à umidade.

- LEGENDA DA PLANTA DE SITUAÇÃO E LOCAÇÃO (BAIXA TENSÃO)
- CABOS DE BAIXA TENSÃO, SEM DISPOSITIVO PARA LACRE
 - CABOS DE BAIXA TENSÃO, COM DISPOSITIVO PARA LACRE
 - CABOS DE BAIXA TENSÃO, COM DISPOSITIVO PARA LACRE
 - CABOS DE BAIXA TENSÃO, COM DISPOSITIVO PARA LACRE
 - CABOS DE BAIXA TENSÃO, COM DISPOSITIVO PARA LACRE

QUAD.	CONTÉÚDO	DATA	ELABORADO	REVISADO
01	PLANTA DE SITUAÇÃO E LOCAÇÃO	04/08		

P.C.M. ENGENHARIA LTDA
 Projetos e Consultoria em Engenharia Elétrica
 Soluções em Engenharia Elétrica

ASSOCIAÇÃO EDUCATIVA EVANGÉLICA
 Associação Evangélica de Engenharia Elétrica

PROJETO: **ELÉTRICO**

FECHA: 04/08

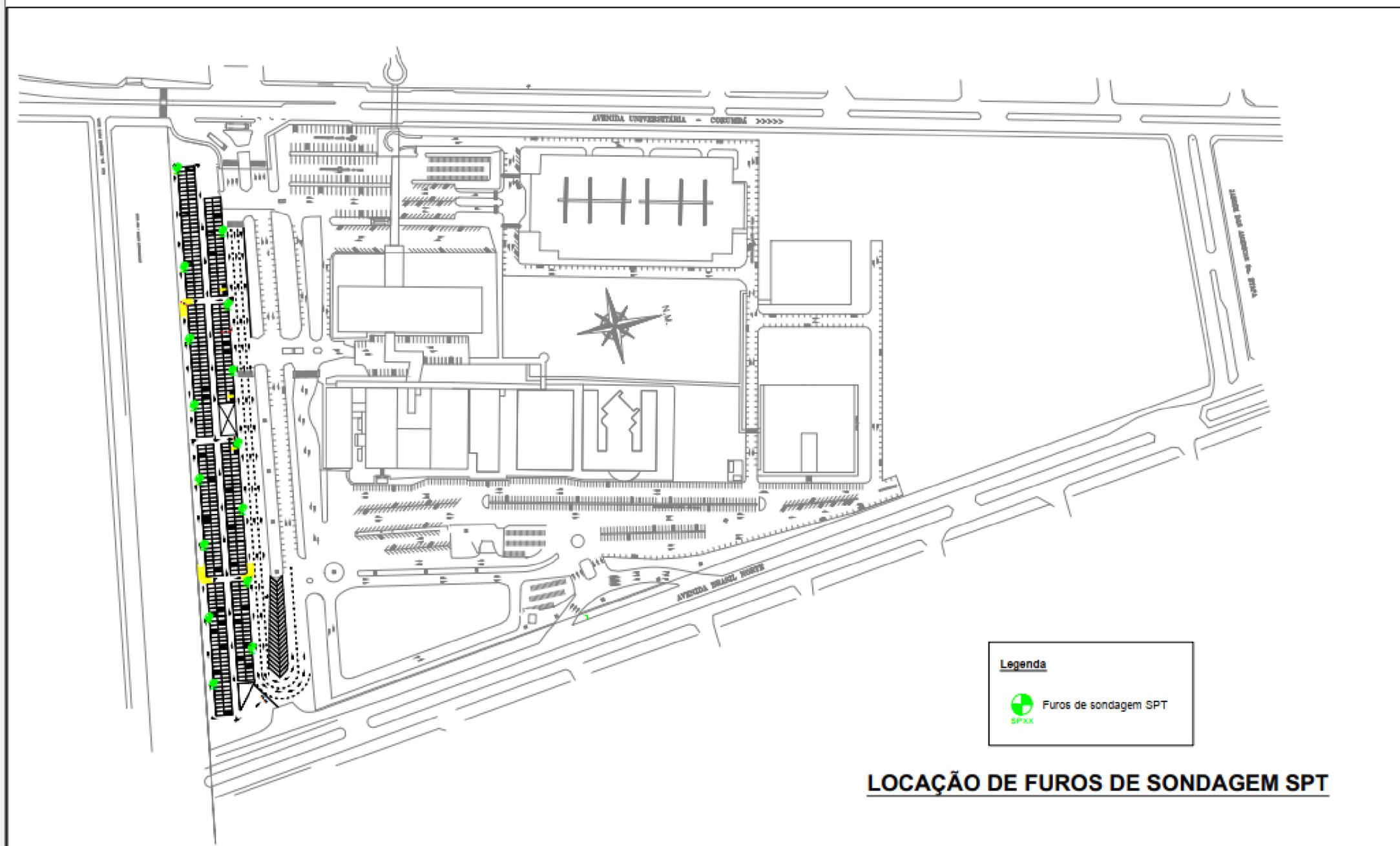
PROJETADE: [Nome]

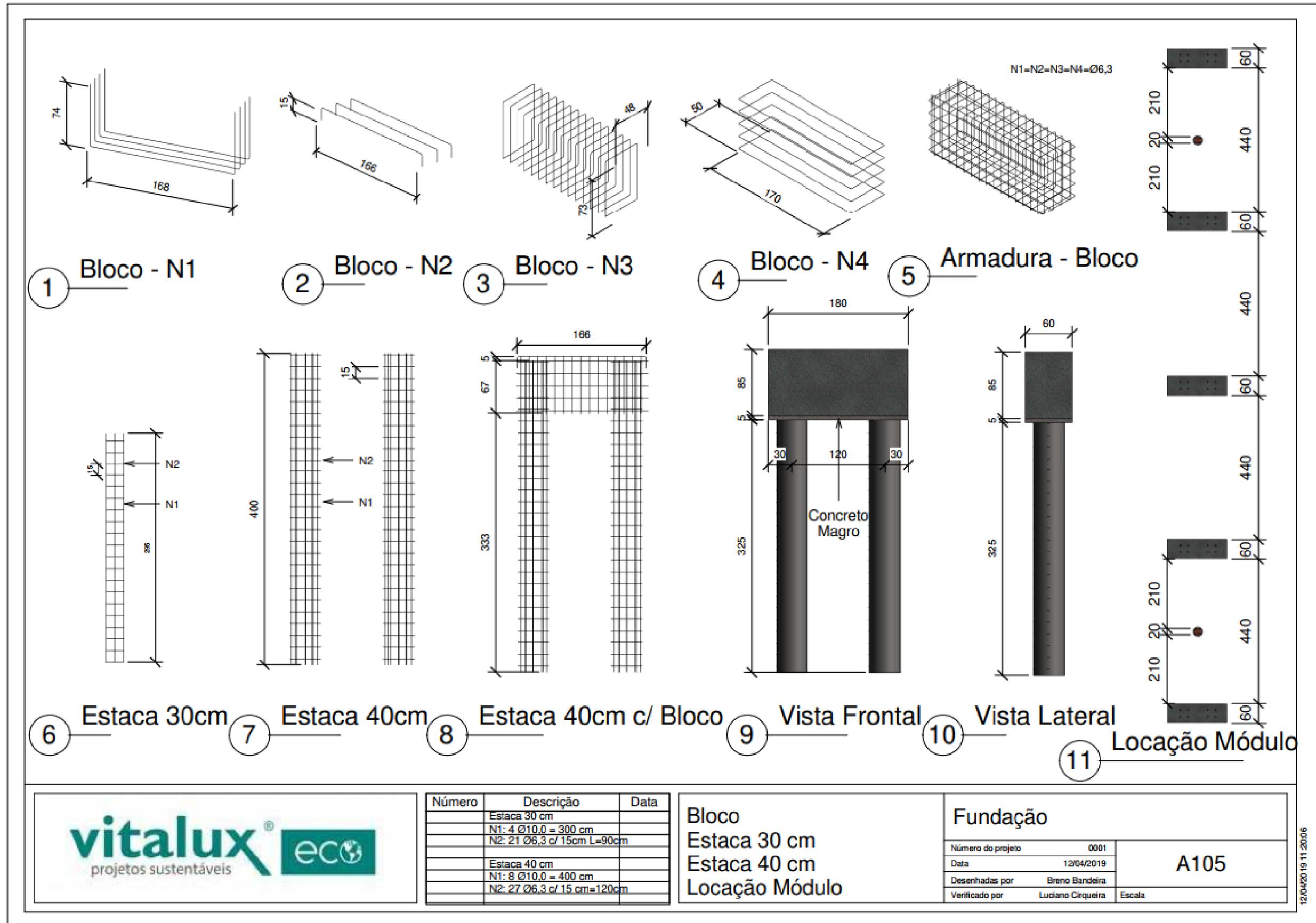
REVISADO: [Nome]

PROJETO Nº: [Número]

FOLHA Nº: **04/08**

7.4 Localização dos Pontos para Realização da sondagem do Solo





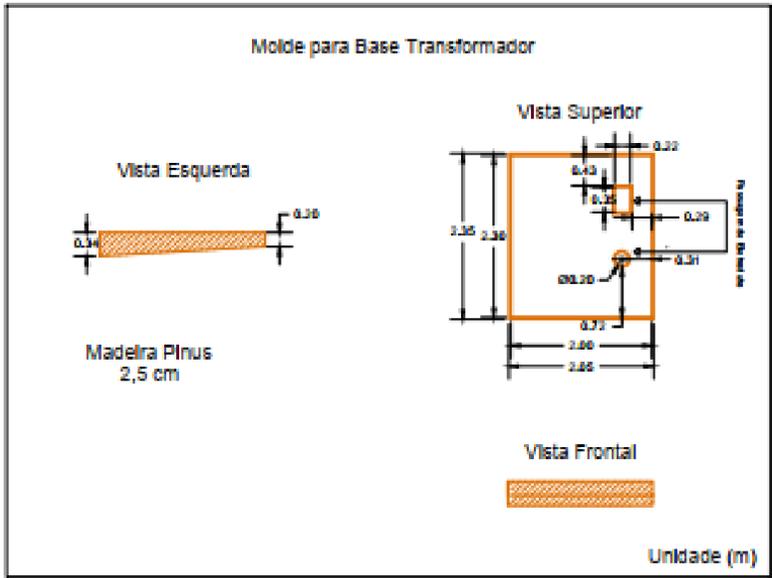
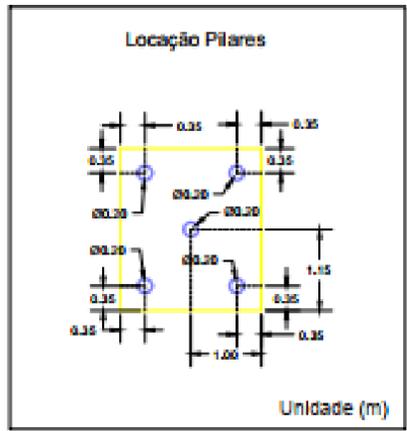
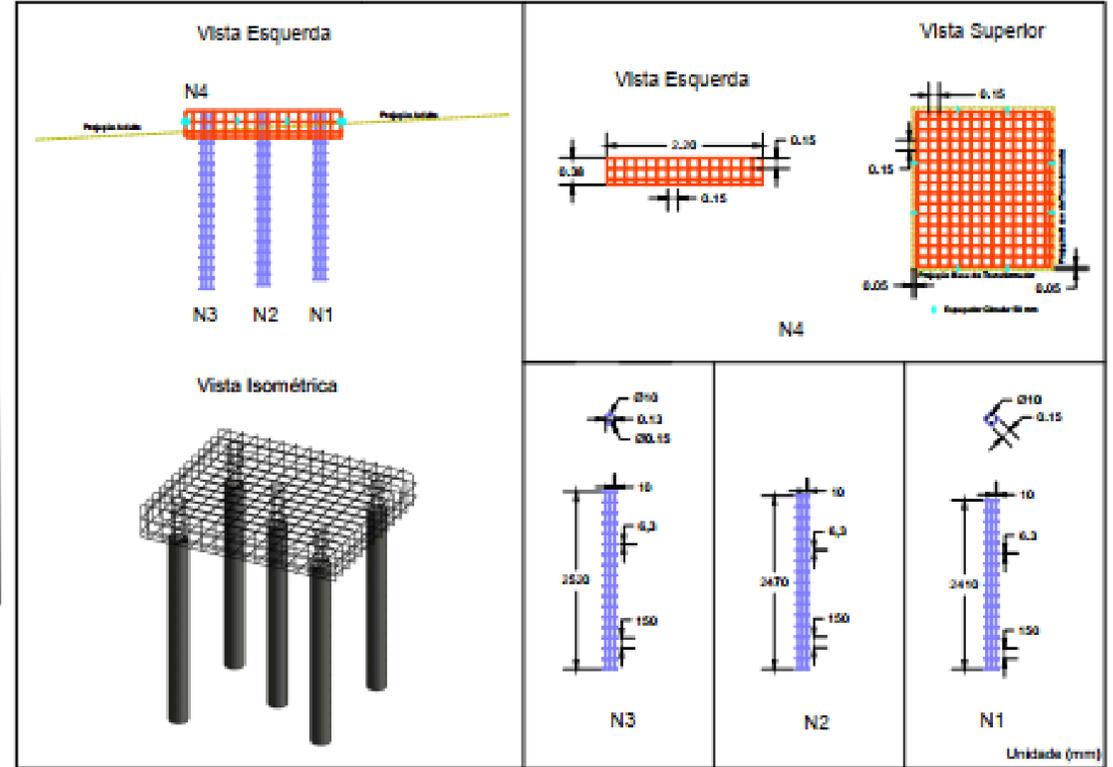
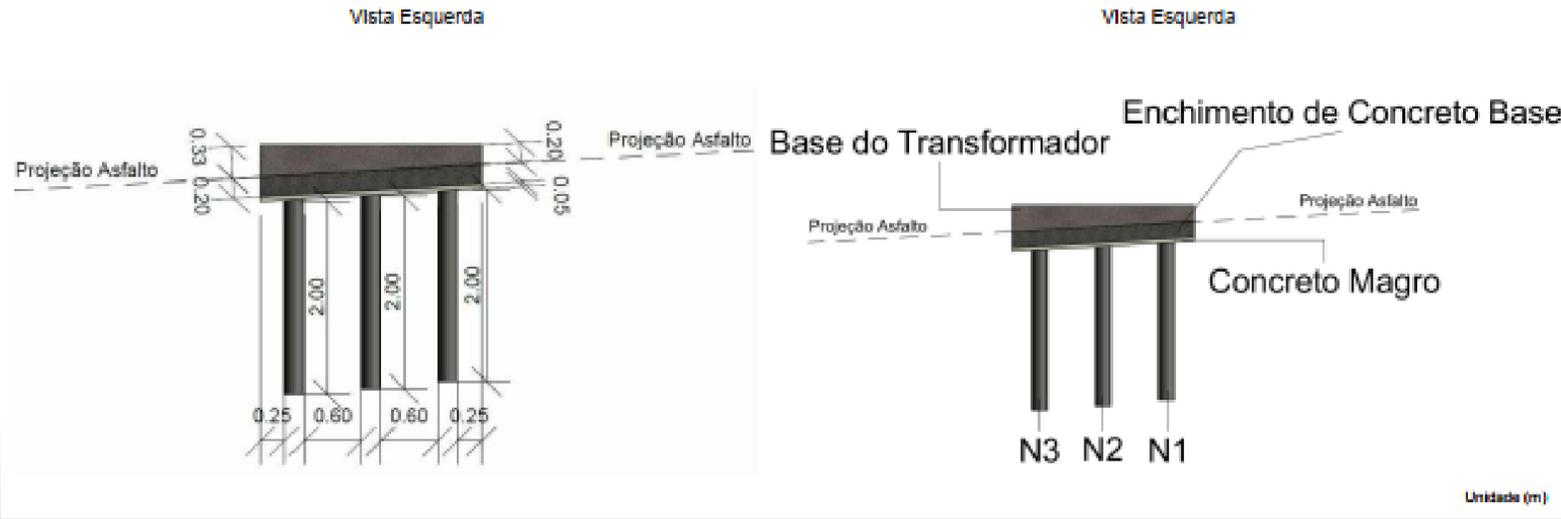
Número	Descrição	Data
	Estaca 30 cm	
	N1: 4 $\varnothing 10,0 = 300$ cm	
	N2: 21 $\varnothing 6,3$ c/ 15cm L=90cm	
	Estaca 40 cm	
	N1: 8 $\varnothing 10,0 = 400$ cm	
	N2: 27 $\varnothing 6,3$ c/ 15 cm=120cm	

Bloco
Estaca 30 cm
Estaca 40 cm
Locação Módulo

Fundação	
Número do projeto	0001
Data	12/04/2019
Desenhadas por	Breno Bandeira
Verificado por	Luciano Cirqueira
A105	
Escala	

12/04/2019 11:20:06

Cotas Auxiliares



- N1: (2 unidades) 4 x Ø10mm, comprimento 2410mm, cada, c/ 17 estribos Ø6.3mm.
- N2: (1 unidade) 4 x Ø10mm, comprimento 2470mm, cada, c/ 17 estribos Ø6.3mm.
- N3: (2 unidades) 4 x Ø10mm, comprimento 2520mm, cada, c/ 18 estribos Ø6.3mm.
- N4: (1 unidade) 14 x Ø10mm, comprimento 4490mm, cada. 13 x Ø10mm, comprimento 5113mm, cada. 2 x Ø10mm, comprimento 8120mm, cada.

RESUMO (2 N1)	
Ø 6.3 mm	3.93 kg
Ø10mm	11.90 kg

RESUMO (1 N2)	
Ø 6.3 mm	1.97 kg
Ø10mm	6.10 kg

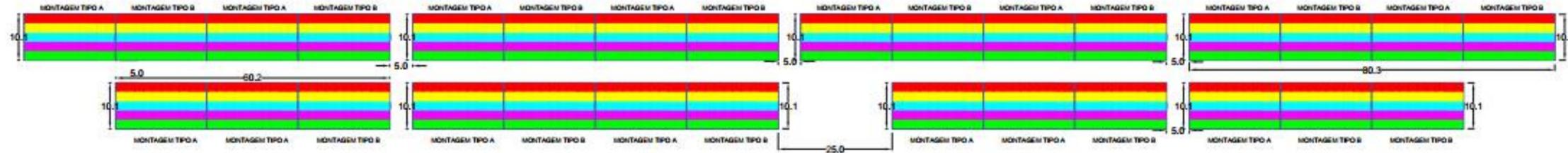
RESUMO (2 N3)	
Ø 6.3 mm	4.16 kg
Ø10mm	12.44 kg

RESUMO (1 N4)	
Ø10mm	89.81 kg

TOTAL	
Ø 6.3 mm	10.06 kg
Ø10mm	120.25 kg

EXECUTADO POR: vitalux eco	PROJETO BASE DO TRANSFORMADOR	REV.: 1
PROJETISTA: BRUNO BANDERA	DATA: 27/11/2018	ESCALA: 1/1 ESCALA
	DETALHAMENTO MOLDE	FL.: 01/01
	DETALHAMENTO ESTRUTURAL	

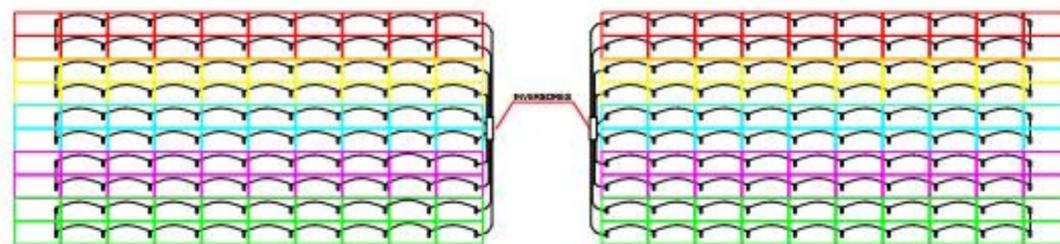
LAYOUT DO SISTEMA



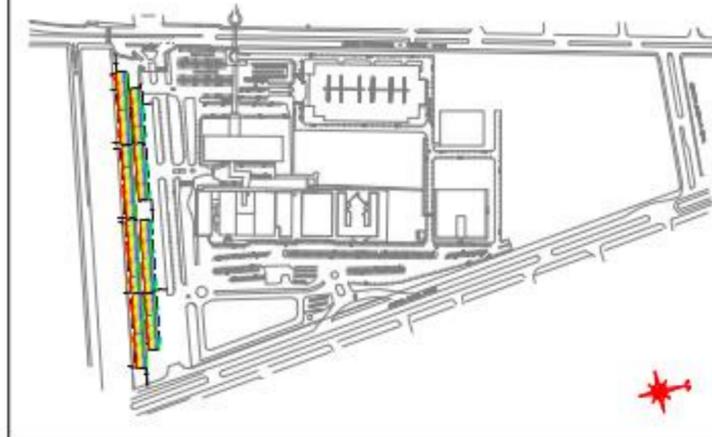
VISTA PLANO COM OS PAINÉIS

MONTAGEM TIPO A

MONTAGEM TIPO B



PLANTA DE LOCALIZAÇÃO



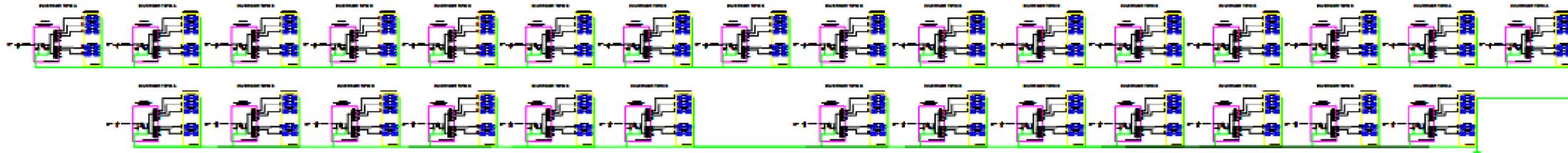
A1

N.	DATA	REVISÃO	DEVIDO POR	APROVADO POR	UNIVERSIDADE		DESENHO DE REFERÊNCIA	NÚMERO	NOTAS	APROVADO POR:	DEVIDO POR:	Projeto Sistema Fotovoltaico UniEvangélica 971,5 kWp	N.
					ACEITO	DATA							
00	05/2018	PARA APROVAÇÃO	VITALUX	ERIC SALLES						UniEVANGÉLICA CENTRO UNIVERSITÁRIO	vitalux energia sustentável		REV: 2
01	07/2018	PARA APROVAÇÃO	VITALUX	ERIC SALLES									FL: 02/03
02	07/2018	PARA APROVAÇÃO	VITALUX	ERIC SALLES									N. COMPANHIA ENRE-01_E
													ESCALA: Indicada

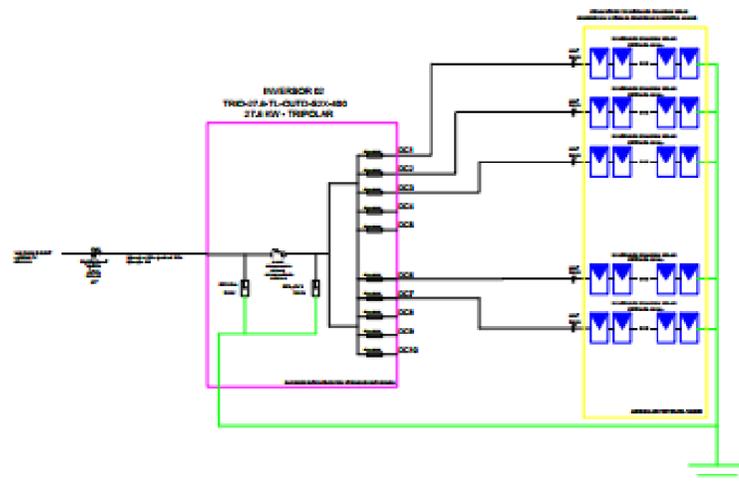
AMPLIADO: // PROJETO: ESTACIONAMENTO SOLAR UNIEVANGÉLICA
 ACERTO: // DATA: 17/07/2018
 VISÃO: // ASS: JONAS

Sistema Fotovoltaico conectado à Rede
 Layout do Sistema

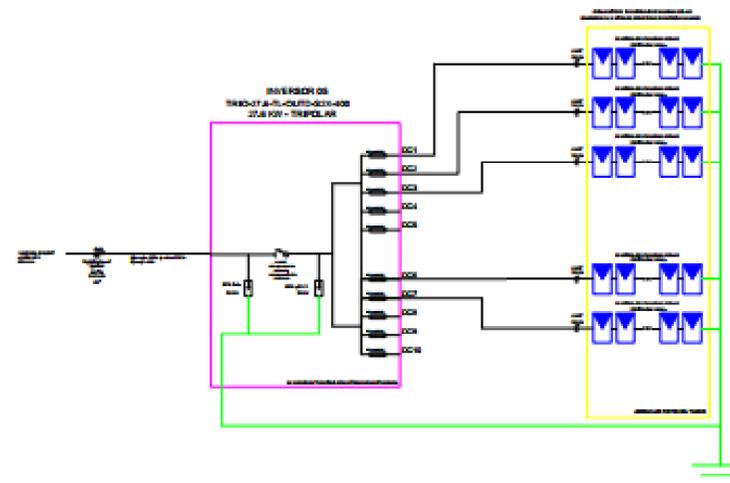
DIAGRAMA UNIFILAR DO SISTEMA C.C.



INVERSOR TIPO A

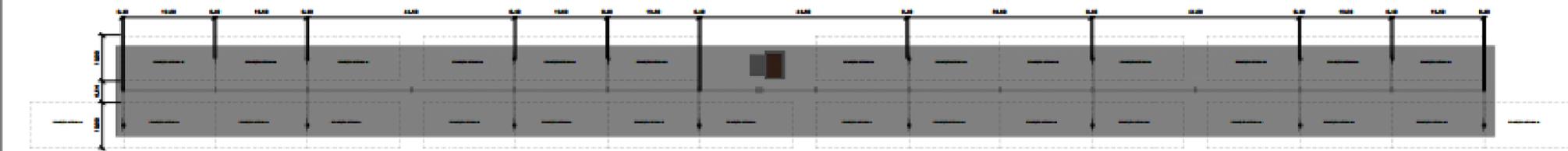


INVERSOR TIPO B

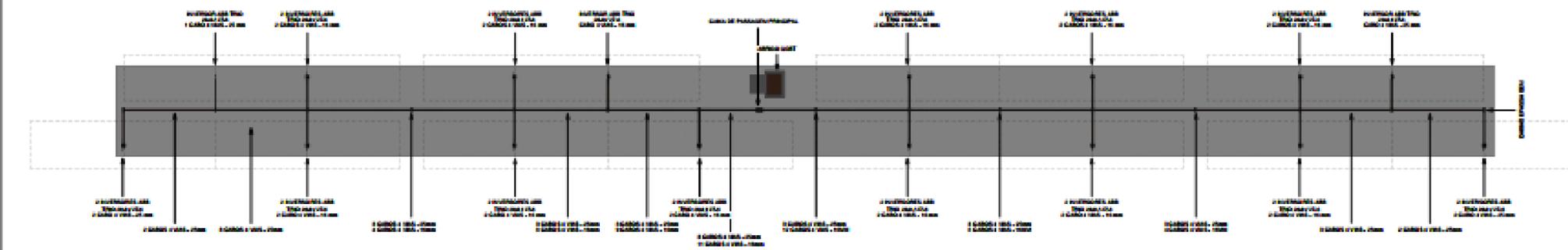


LEGENDA	
	Módulo Fotovoltaico
	Inversor
	Dispositivo de Proteção Contra Surtos
	Fusível de Proteção
	Chave Seccionadora Bipolar
	Condutor fase, neutro, retorno e terra, respectivamente

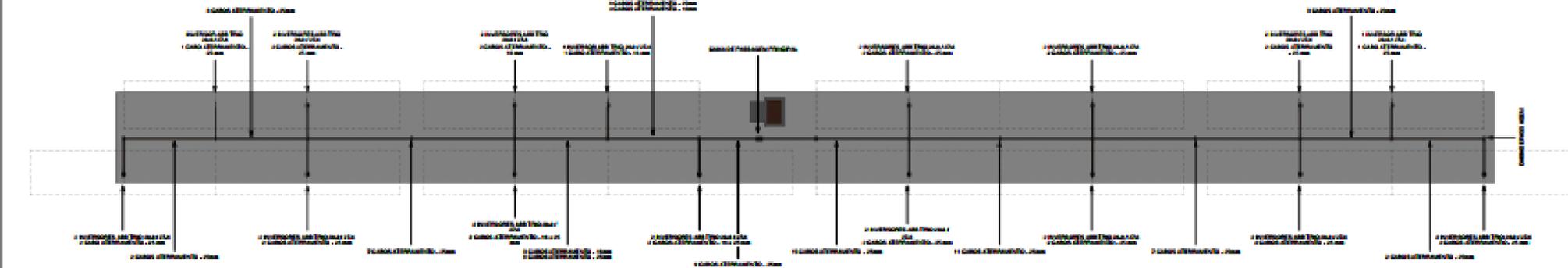
N.	DATA	REVISÃO	EXECUTADO POR	APROVADO POR	UNI-EVANGÉLICA	DESENHOS DE REFERÊNCIA	NÚMERO	NOTAS	APROVADO POR:	DESENHADO POR:	Projeto Sistema Fotovoltaico	N.
00	05/2018	PBA APROVAÇÃO	VITALUX	ERIC SALLES					UniEVANGÉLICA	vitalux ecv	UniEvangélica 971,5 kWp	01
01	07/2018	PBA APROVAÇÃO	VITALUX	ERIC SALLES							Sistema Fotovoltaico conectado à Rede	02
02	07/2018	PBA APROVAÇÃO	VITALUX	ERIC SALLES							Diagrama Unifilar	03



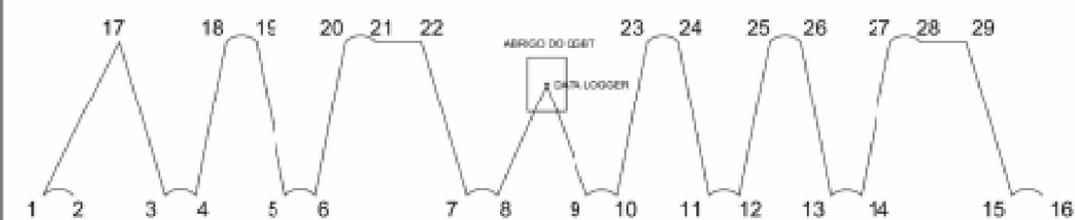
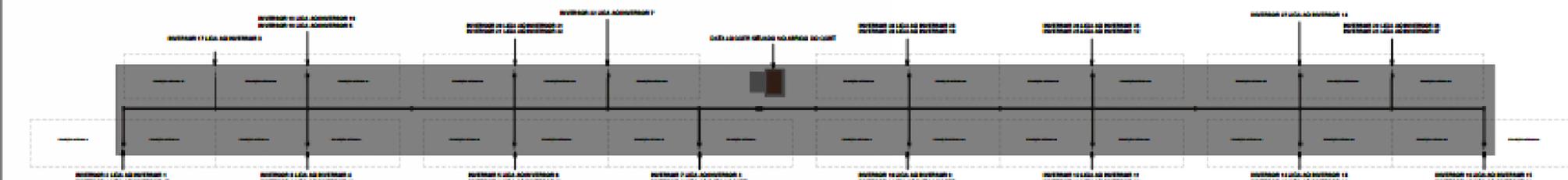
1 Locação - Geral



2 Locação - Cabos CA



3 Locação - Cabo de Aterramento



4 Locação - Cabos Comunicação

INV. nº	SERIAL NUMBER
01	1802 120996
02	1804 125327
03	1804 125304
04	1804 125310
05	1802 139145
06	1804 125311
07	1804 122965
08	1804 125302
09	1804 125299
10	1802 120994

INV. nº	SERIAL NUMBER
11	1804 125324
12	1804 125308
13	1804 122970
14	1804 122975
15	1804 125300
16	1804 125313
17	1804 125323
18	1802 139141
19	1801 116222
20	1804 125312

INV. nº	SERIAL NUMBER
21	1804 125315
22	1750 121290
23	1804 125325
24	1804 125305
25	1804 125309
26	1804 125298
27	1802 120979
28	1801 107405
29	1804 125301

Tabela - Número de Série dos Inversores.

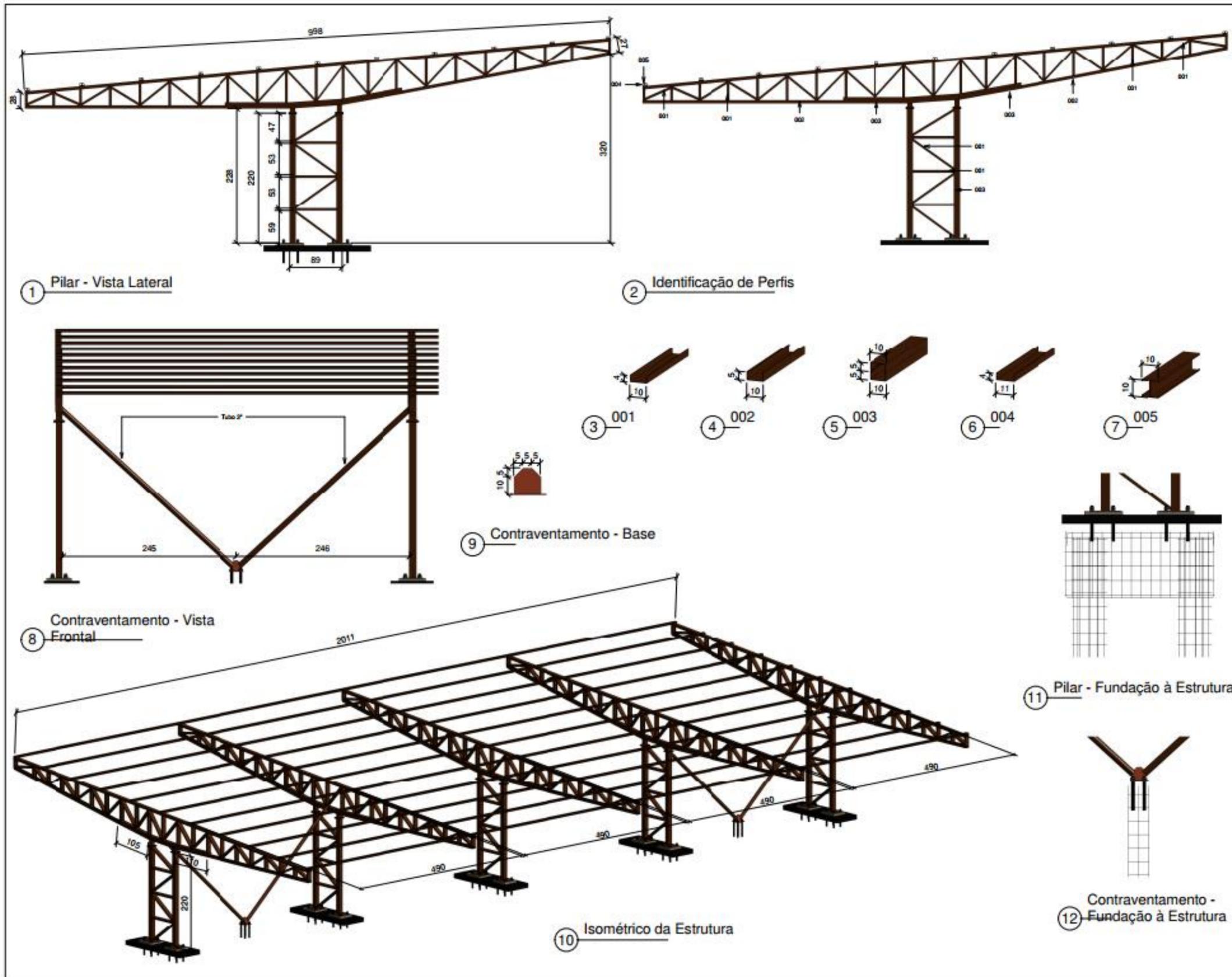
Observações

Todos os cabos, sendo CA #16 ou 25 mm², Aterramento #16 ou 25 mm², e Comunicação, estão isolados por Eletroduto Corrugado 2", distribuídos nas Valetas. Cabos CA e de Aterramento são destinados para o QGBT. Cabo de Comunicação é destinado ao Data Logger. Ambos localizado no Abrigo.

Locação: Geral - Cabos CA - Aterramento - Comunicação.
Tabela - Número de Série dos Inversores.

As Built - Lançamento de Cabos

Nome de página	0001
Data	10/05/2019
Desenhado por	Breno Bandeira
Validado por	Luciano Cirqueira
A01	1/3
Escala	



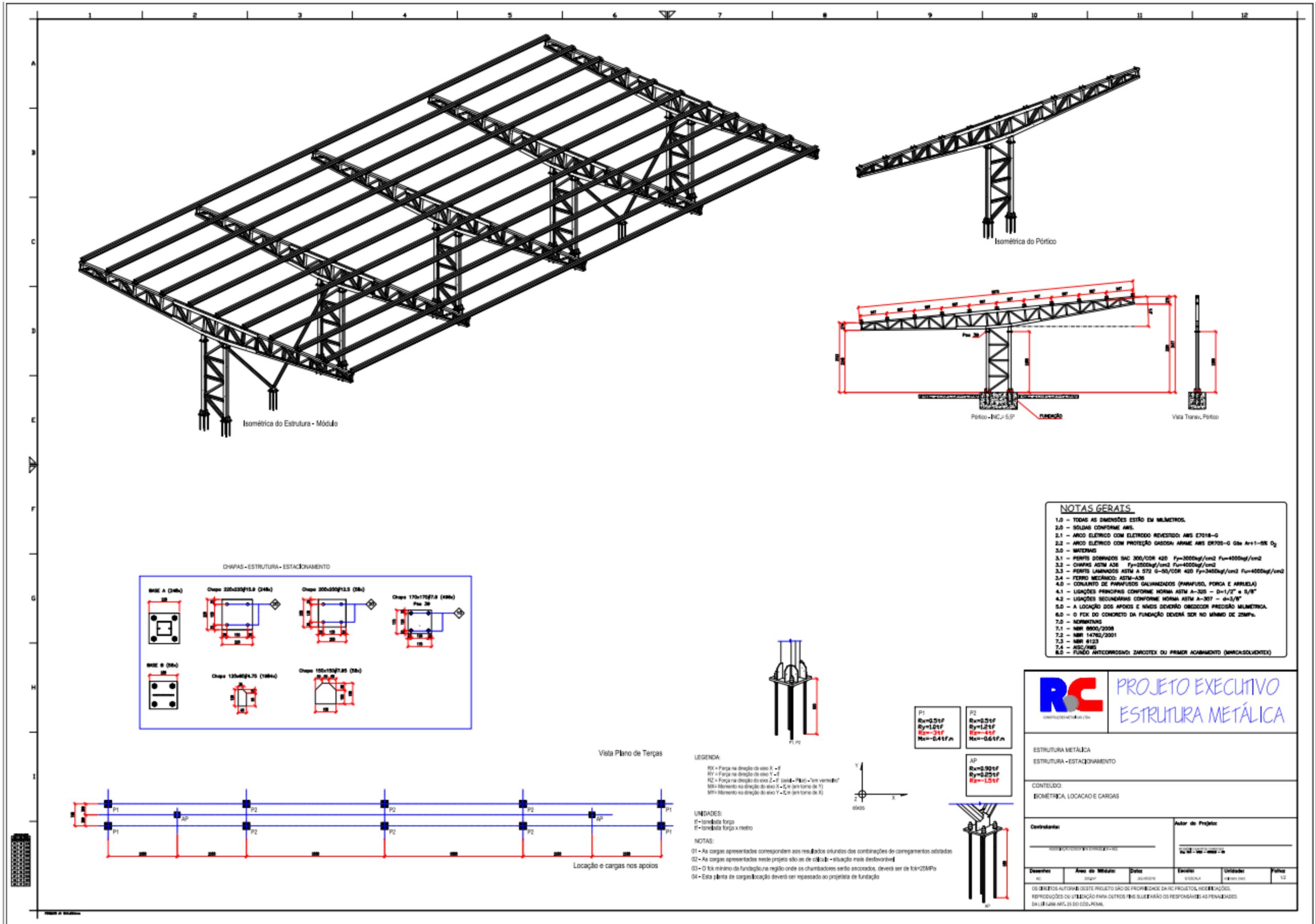
Observações:

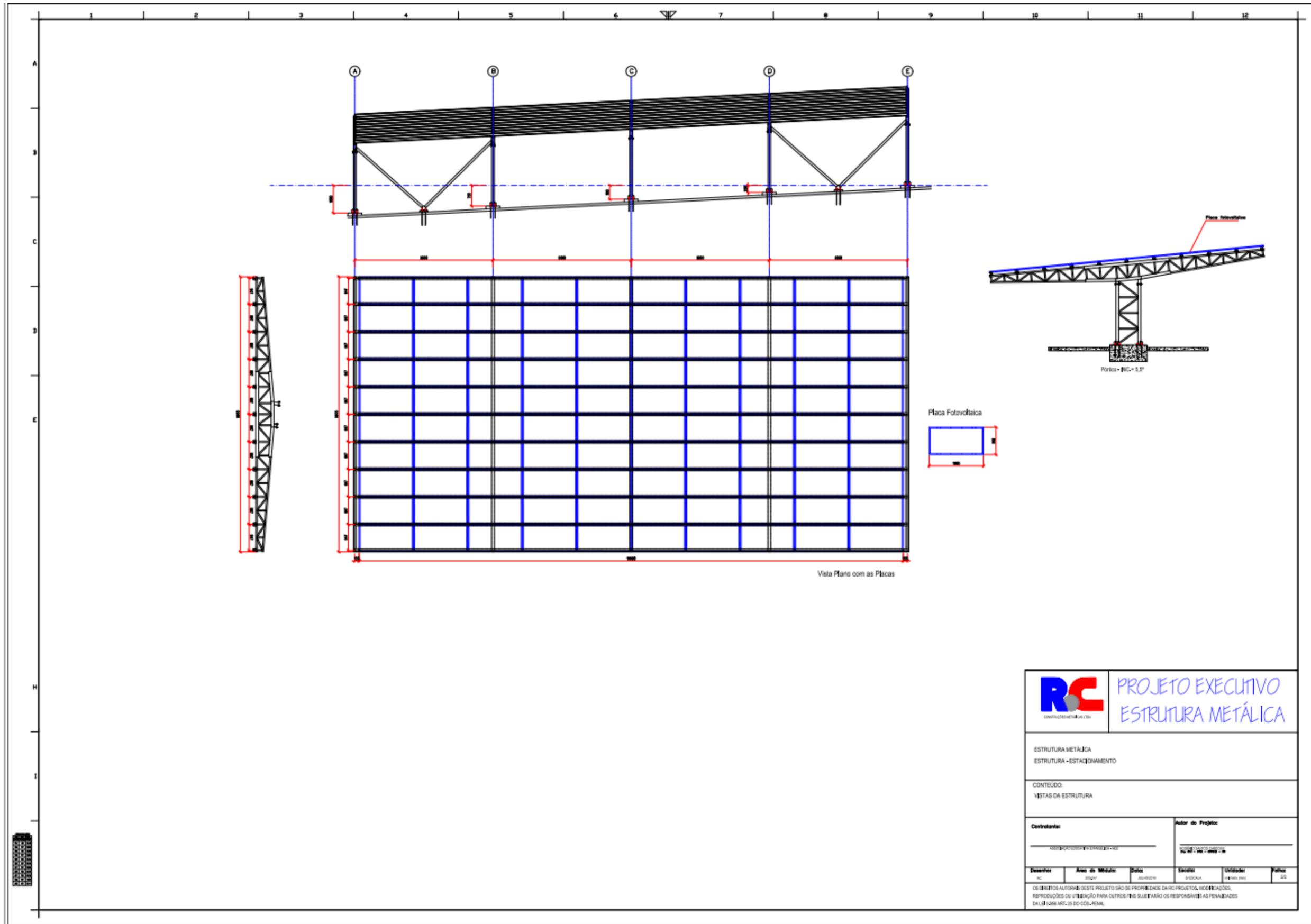
Pilar: Cotas - Identificação de Perfis - Fundação.
 Contraventamento: Cotas - Detalhamento - Fundação

Estrutura Metálica

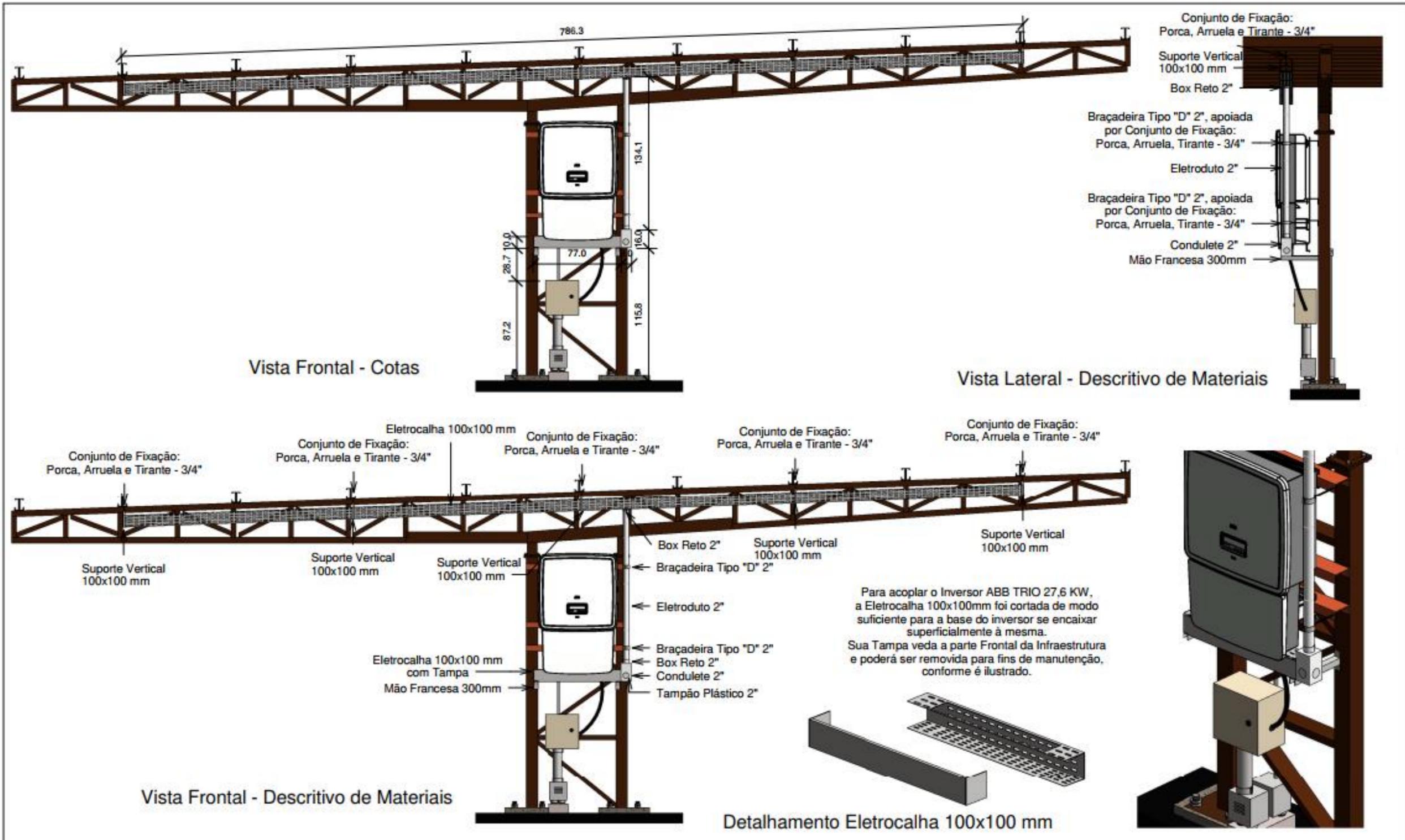
Número do projeto	0001
Data	15/04/2019
Desenhada por	Breno Bandeira
Verificada por	Luciano Cirqueira
A107	
Escala	

150-40019-113-207





		PROJETO EXECUTIVO ESTRUTURA METÁLICA	
ESTRUTURA METÁLICA ESTRUTURA - ESTACIONAMENTO			
CONTEUDO: VISTAS DA ESTRUTURA			
Coordenador: _____ _____		Autor do Projeto: _____ _____	
Desenho:	Área de Trabalho:	Data:	Escala:
1/1	1/1	10/2024	1/1
OS DEBENTOS AUTORES DESTE PROJETO SÃO DE PROPRIEDADE DA RC PROJETOS, REGISTRAÇÃO: REPRODUÇÕES DE QUALQUER NATUREZA SEM A AUTORIZAÇÃO DOS RESPONSÁVEIS AS PENALIDADES DA LEI Nº 9.610 DE 1998.			

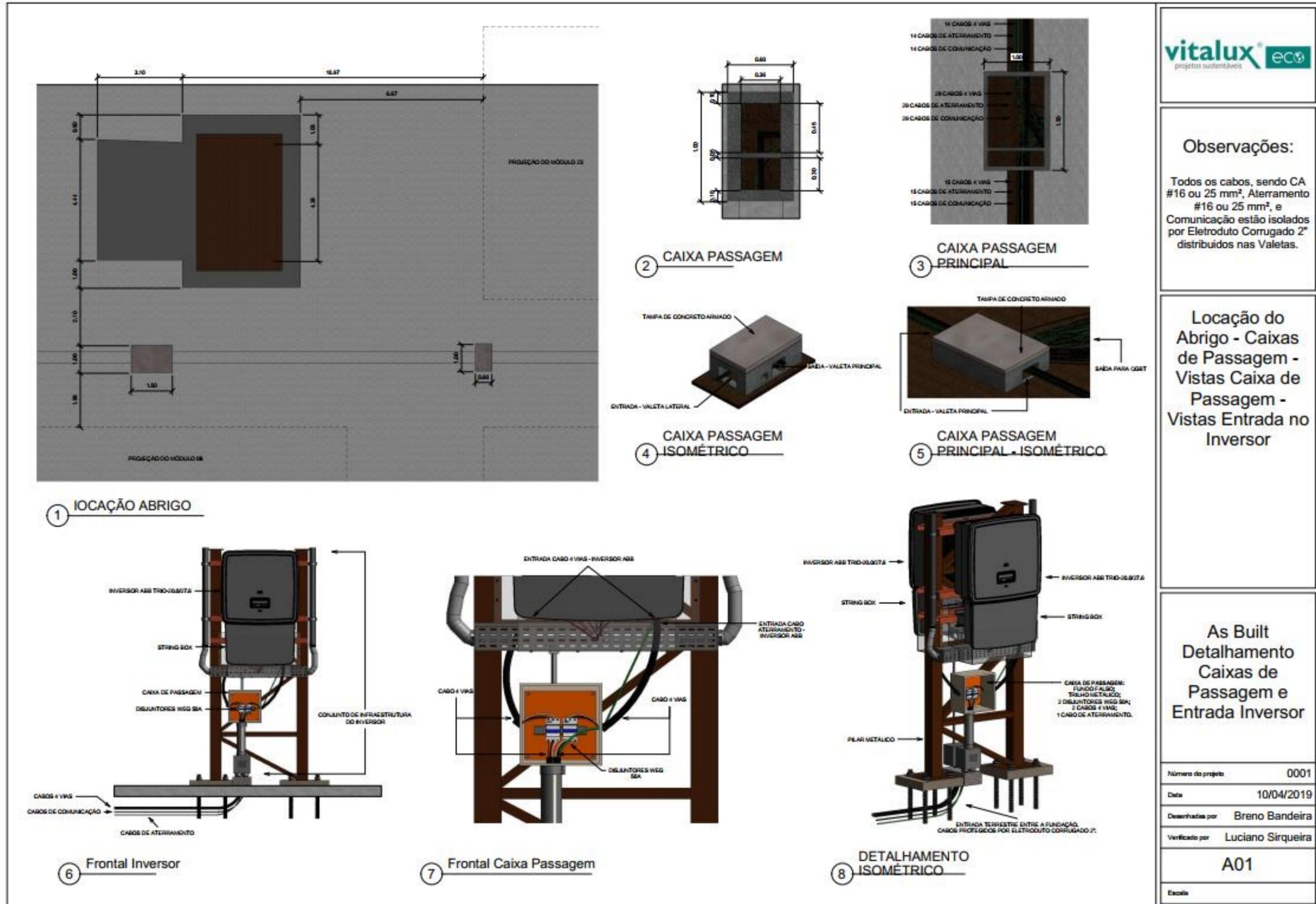


Número	Descrição	Data

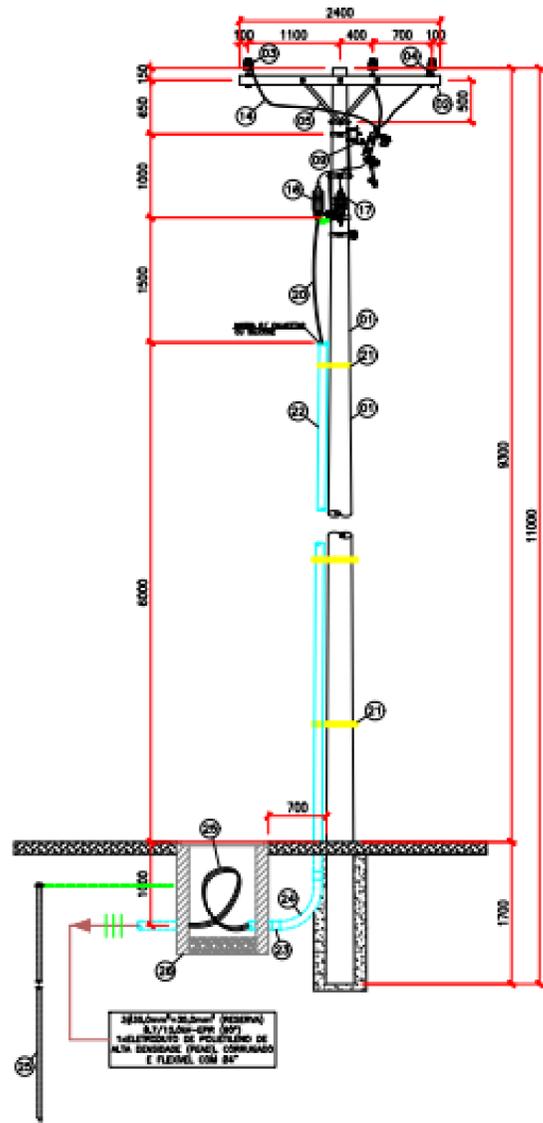
Observações:
 Todos os Cortes nos materiais devem ser feitos in loco.

Infraestrutura - String Box		
Número do projeto	0001	A103
Data	26/06/2019	
Desenhadas por	Breno Bandeira	
Verificado por	Luciano Cirqueira	
		Escala

26/06/2019 09:44:45

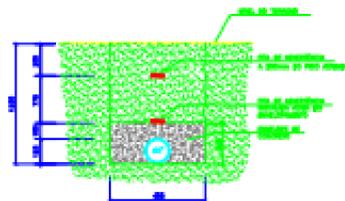


1004.001.01.154.053



DETALHE DO RAMAL DE DERIVAÇÃO EM MÉDIA TENSÃO

ESCALA: 1/20

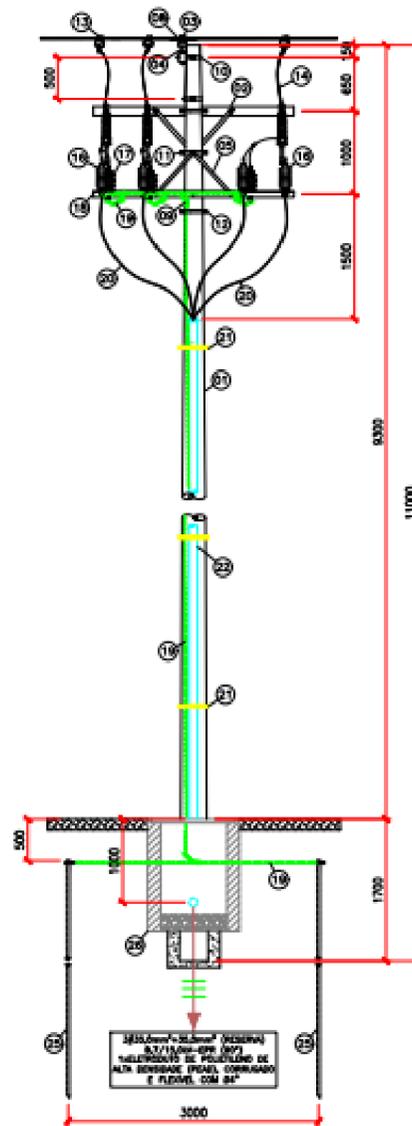


NOTAS:

- 1 - OBRAS PARA TUBAGEM DE TAP DO BLOCO DEBEM SER EM BLOCO COM O TUBO.
- 2 - OBRAS DE REVESTIMENTO E ACABAMENTO DE BARRAS DE ALUMÍNIO DEVEM SER EM BLOCO COM O TUBO.
- 3 - O TUBO DE ALUMÍNIO DEVE SER EM BLOCO COM O TUBO DE CONCRETO.
- 4 - O REVESTIMENTO DEVE SER EM BLOCO COM O TUBO DE CONCRETO.
- 5 - O TUBO DE ALUMÍNIO DEVE SER EM BLOCO COM O TUBO DE CONCRETO.

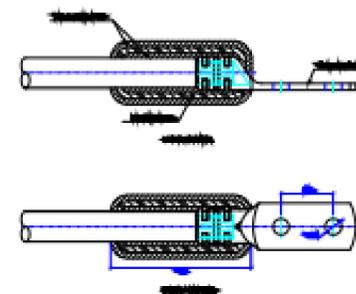
DETALHE 03: ENVOLPIMENTO DE CONCRETO

ESCALA:



NOTAS:

- 1 - O ELEMENTO QUE CONTA O CARGO DE BOM TUBO (120 HO) DEVE SER ENVELOPADO COM CONCRETO ARMADO, SENDO NECESSÁRIA A COLOCAÇÃO DE DUAS FOLHAS PLÁSTICAS DE ISOLAMENTO, UMA SOBRE O OUTRA, COM A DISTÂNCIA ENTRE AS SUPERFÍCIES DE 100 MM E A QUINA COM A MESMA DISTÂNCIA, PARA AÇÃO DO AMORTECIMENTO, CONFORME O ESTABELECIDO NBR-16, NBR 5, PAR. 21.
- 2 - A BARRAGEM DEBEM SER COBERTA POR TUBO DE ALUMÍNIO, EM FORMA DE FUNDO, DEFORME RECOMENDAÇÃO DO FABRICANTE, COM 1000000, NBR 1600-16, NBR 5, PAR. 21.
- 3 - VARIAR FUTURA SUBSTITUIÇÃO DE CONCRETO, DEVE SER FEITA PARA O CONCRETO EM REPOZICIONAMENTO COM COMPACTADO EM 200 MM, NO MÍNIMO EM CASO DE FURTO, CONFORME O ESTABELECIDO NBR-16, NBR 5, PAR. 21.
- 4 - O REVESTIMENTO DEVE SER EFETUADO PERMANENTEMENTE, ASSIM COMO O ACABAMENTO DEVE SER EM BLOCO COM O TUBO.
- 5 - DEVE SER EFETUADO O REVESTIMENTO DEVE SER EFETUADO EM RELAÇÃO À CENTRA DE BARRAS, DEFORME O ESTABELECIDO NBR 1600-16, NBR 5, PAR. 21.
- 6 - A BARRAGEM DEVE TER LARGURA PARA UTILIZAR, PERMANENTE E COM O CARGO ELÉTRICO.

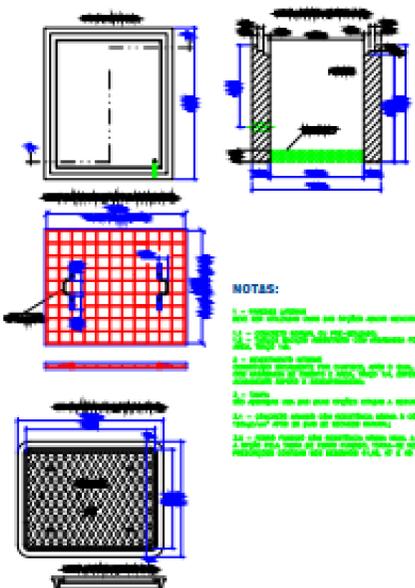


NOTAS:

- 1 - O TUBO DE ALUMÍNIO DEVE SER EM BLOCO COM O TUBO DE CONCRETO.
- 2 - O TUBO DE ALUMÍNIO DEVE SER EM BLOCO COM O TUBO DE CONCRETO.
- 3 - O TUBO DE ALUMÍNIO DEVE SER EM BLOCO COM O TUBO DE CONCRETO.

DETALHE 01: RECOMPOSIÇÃO DA ISOLAÇÃO

ESCALA:



NOTAS:

- 1 - O TUBO DE ALUMÍNIO DEVE SER EM BLOCO COM O TUBO DE CONCRETO.
- 2 - O TUBO DE ALUMÍNIO DEVE SER EM BLOCO COM O TUBO DE CONCRETO.
- 3 - O TUBO DE ALUMÍNIO DEVE SER EM BLOCO COM O TUBO DE CONCRETO.

DETALHE 02: CAIXA DE PASSAGEM DE MT (SEM DISPOSITIVO PARA LACRE)

ESCALA:

LEGENDA RAMAL DE ENTRADA

- 01 - PÓRTEO DE CONCRETO ARMADO SEÇÃO CIRCULAR COM ALTURA DE 1000 E RESISTÊNCIA MÍNIMA NOMINAL DE 20MPa.
- 02 - CRUZETA POLIMÉRICA COM DIÂMETROS DE 1000.
- 03 - ISOLADOR TIPO PISO POLIMÉRICO COM CLASSE DE TENÇÃO 10kV E RESISTÊNCIA MÍNIMA NOMINAL DE 20MPa.
- 04 - PISO DE ISOLADOR COM RESISTÊNCIA MÍNIMA NOMINAL DE 20MPa.
- 05 - BLOCO DE ALUMÍNIO TIPO CA, CONCRETO EM BLOCO (CPT) - 1000, RESISTÊNCIA MÍNIMA NOMINAL DE 20MPa E ENDURECIMENTO CLASSE 2.
- 06 - PAVIMENTO DE CIMENTO QUADRO 150x150 E COMPRIMENTO DE 1200mm.
- 07 - ANELA CIRCULAR COM DIÂMETROS DE 1000mm E PISO COM 20MPa.
- 08 - LATA PRE-FORMADA DE 1000.
- 09 - CONECTOR DE COMPRESSÃO, TIPO 10/10.
- 10 - CABA DE AÇO GALVANIZADO COMPLETO, DIÂMETRO 100mm.
- 11 - CABA DE AÇO GALVANIZADO COMPLETO, DIÂMETRO 100mm.
- 12 - CABA DE AÇO GALVANIZADO COMPLETO, DIÂMETRO 100mm.
- 13 - CABA DE AÇO GALVANIZADO COMPLETO, DIÂMETRO 100mm.
- 14 - CABA DE ALUMÍNIO TIPO CA, CONCRETO EM BLOCO (CPT) - 1000, RESISTÊNCIA MÍNIMA NOMINAL DE 20MPa E ENDURECIMENTO CLASSE 2.
- 15 - SUPORTE T3 COMPLETO.
- 16 - TERMINAL UNIPOLAR POLIMÉRICO, CLASSE 10kV E USO EXTERNO.
- 17 - PARA BARRA DE INTERMEDIÁRIO DE CARGA DE 2000 (200) COM ISOLADOR POLIMÉRICO, SEM CONTATOS COM ISOLADOR AUTOMÁTICO, CLASSE DE TENÇÃO 10 kV E CONCRETO NOMINAL DE RESISTÊNCIA MÍNIMA DE 20MPa.
- 18 - CRUZETA EM 1000 DE AÇO GALVANIZADO, DIA. 1000/1000/1000mm.
- 19 - CABA DE CIMENTO 1000/1000.
- 20 - CABA DE CIMENTO BARRADO COM ISOLAÇÃO EM EPDM (EP) 10/10/10 E RESISTÊNCIA MÍNIMA NOMINAL DE 20MPa E ENDURECIMENTO CLASSE 2.
- 21 - ANELA DE AÇO GALVANIZADO TIPO CA (CPT) COM 1000 E RESISTÊNCIA MÍNIMA NOMINAL DE 20MPa.
- 22 - ELEMENTO DE AÇO CARBONO ZINCOADO PARA MONTAR A QUINA DE CIMENTO, COM 1000.
- 23 - LATA PARA ELEMENTO DE AÇO CARBONO ZINCOADO PARA MONTAR A QUINA DE CIMENTO, COM 1000.
- 24 - QUINA DE 90° PARA ELEMENTO DE AÇO CARBONO ZINCOADO PARA MONTAR A QUINA DE CIMENTO, COM 1000.
- 25 - MANTA DE ARMAMENTO DE AÇO CARBONO 200x10/1000 COM REVESTIMENTO DE CIMENTO ELÉTRICO EM BLOCO COM ESPESURA DE 200 mm E COM ENDURECIMENTO CLASSE 2.
- 26 - CASO DE PASSAGEM COM ESPORTE PARA LACRE E DIÂMETROS DE 1000/1000/1000 mm.

DATA	REVISÃO	DESCRIÇÃO	REVISÃO	PROJETO

P.C.M. ENGENHARIA LTDA
 Projetos e Consultoria em Engenharia Elétrica
 Rua: ...

ASSOCIAÇÃO EDUCATIVA EVANGÉLICA

PROJETO: **ELÉTRICO**

DETALHE DO RAMAL DE ENTRADA, DETALHE 01/08

8 APÊNDICES

Cópias dos artigos com suas formatações
originais, conforme submetidos às revistas
selecionadas

8.1 Cópia original do artigo - Estudos sobre os motivos das implantações das usinas solares no mundo, submetido à Revista *FRONTEIRAS: Journal of Social, Technological and Environmental Science*.

Revisão Sistemática sobre os Propósitos Globais para o Desenvolvimento de Usinas Fotovoltaicas: Enfoque nas Consequências Ambientais e Performance de Geração

Systematic Review of Global Objectives for the Development of Photovoltaic Plants: Focus on Environmental Consequences and Generation Performance

Márcio José Dias

Lucas Figueiredo Ribeiro

Sonimar Ribeiro Mendonça Dias

Davi Bernhard de Souza

Sandro Dutra e Silva

RESUMO:

A proposta ideal para a implantação de uma usina fotovoltaica deve ser cuidadosamente planejada, considerando diversos fatores técnicos, econômicos, ambientais e sociais. Este estudo apresenta uma revisão sistemática e cienciométrica dos propósitos globais para a implantação de usinas fotovoltaicas, com foco nas consequências ambientais e na performance de geração. Foram analisados 3960 artigos científicos da plataforma Scopus, dos quais 31 foram selecionados com base em critérios rigorosos de inclusão. A análise revelou que a maioria dos estudos (77,4%) se concentra na performance de geração, enquanto apenas 19,4% foca nas consequências ambientais. Discutimos a importância de equilibrar a eficiência operacional com considerações ambientais para garantir um avanço sustentável na energia fotovoltaica. Observamos também uma predominância de publicações dos Estados Unidos, Suíça e Reino Unido, destacando a relevância econômica e científica dessas nações. O estudo conclui que, apesar do foco na otimização da performance, há uma necessidade crítica de maior atenção aos impactos ambientais para promover um futuro energético sustentável. Apesar de não serem tratadas com evidência as questões ambientais das implantações das usinas, uma vez que implantadas, esses indicadores são indiretamente alcançados.

Palavras-Chave: UF; Avaliação de Sustentabilidade; Eficiência energética; benefícios e impactos ambientais.

ABSTRACT:

The ideal proposal for the implementation of a photovoltaic power plant must be carefully planned, considering various technical, economic, environmental, and social factors. This study presents a systematic and scientometric review of the global purposes for the implementation of photovoltaic power plants, focusing on environmental consequences and generation performance. A total of 3960 scientific articles from the Scopus platform were analyzed, of which 31 were selected based on strict inclusion criteria. The analysis revealed that the majority of the studies (77.4%) focus on generation performance, while only 19.4% focus on environmental consequences. We discuss the importance of balancing operational efficiency with environmental considerations to ensure sustainable advancement in photovoltaic energy. We also observed a predominance of publications from the United States, Switzerland, and the United Kingdom, highlighting the economic and scientific relevance of these nations. The study concludes that, despite the focus on performance optimization, there is a critical need for greater attention to environmental impacts to promote a sustainable energy future. Although environmental issues related to the implementation of the plants are not prominently addressed, once implemented, these indicators are indirectly achieved.

KEYWORDS: UF; Sustainability Assessment; Energy Efficiency; Environmental Benefits and Impacts.

Doutorando em Ciências Ambientais pela Universidade Evangélica de Goiás – UniEVANGÉLICA. Docente da Faculdade de Tecnologia SENAI Roberto Mange (Anápolis/Goiás - Brasil), prof.eng.marciodias@gmail.com ORCID: 0009-0006-4046-176X.

Mestre em Ciências Ambientais pela Universidade Evangélica de Goiás – UniEVANGÉLICA. Técnico de Laboratório da UniEVANGÉLICA (Anápolis/Goiás - Brasil), lucfigrib@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3136-8345>.

Pós-graduada em Auditoria em Serviços de Saúde pelo Instituto Brasileiro de Extensão Educacional (IBBED), Assistente Social pela Universidade Católica de Goiás (PUC/GO). Assistente Social da Universidade Evangélica de Goiás – UniEVANGÉLICA (Anápolis/Goiás - Brasil), sonimar.dias@unievangolica.edu.br. ORCID <https://orcid.org/0009-0002-4945-1446>

Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal Fluminense (UFF), e pós-doc pela UFF e Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Docente da Universidade Evangélica de Goiás – UniEVANGÉLICA (Anápolis/Goiás - Brasil), davi.souza@unievangolica.edu.br ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0362-8157>.

Doutor em História Social pela Universidade de Brasília (UnB), e pós-doc pela University of California, Los Angeles (EUA). Docente da Universidade Evangélica de Goiás – UniEVANGÉLICA (Anápolis/Goiás - Brasil), sandroutra@unievangolica.edu.br ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0001-5726>.

1 INTRODUÇÃO

A busca por formas alternativas de energia no Brasil está associada a um conjunto amplo de variedades históricas em que a busca pelo desenvolvimento favoreceu modelos baseados em estruturas de engenharia e construção de barragens hidrelétricas (Peguim 2018). Mesmo parecendo ser modelos ecologicamente sustentáveis, principalmente como alternativa aos combustíveis fósseis, as hidrelétricas trazem também passivos socioambientais pesados (Johnson 2021).

A adoção de usinas fotovoltaicas reflete uma mudança significativa na maneira como as sociedades geram e consomem energia. Esta transição busca soluções energéticas econômicas e viáveis para grandes corporações e consumidores individuais. No entanto, a função principal dessas instalações, a geração de energia limpa e sustentável, muitas vezes fica em segundo plano. A energia solar fotovoltaica, que converte luz solar em eletricidade, destaca-se como opção atraente, especialmente onde os custos da energia tradicional estão aumentando (Arimoto 2011; De Luna Pámanes et al. 2020; Meho 2020).

Empresas e instituições estão mais inclinadas a instalar usinas fotovoltaicas de grande porte, como complexos ou parques solares, enquanto telhados de residências são aproveitados para instalações de pequeno porte. Este movimento é evidenciado pela rápida expansão do número de instalações fotovoltaicas, vistas como um investimento em sustentabilidade e economia. A redução dos custos de instalação e manutenção, aliada ao aumento da eficiência das tecnologias fotovoltaicas, tem motivado diversos setores a adotar esta fonte de energia.

Embora as vantagens ambientais das usinas fotovoltaicas—geração de energia renovável sem emissões diretas de gases de efeito estufa—sejam reconhecidas, frequentemente ocupam um lugar secundário nas motivações para adoção dessa tecnologia. Para muitos investidores e consumidores, os benefícios ambientais são vistos como um bônus adicional aos benefícios econômicos imediatos. Esse fenômeno é notável especialmente em regiões onde as políticas ambientais e incentivos para energias renováveis são menos robustos, levando as considerações financeiras a predominarem na adoção de energia solar.

A governança universitária é fundamental para a sustentabilidade das instituições de ensino superior, influenciada por ranqueamentos que destacam a produção científica e a sustentabilidade além da governança financeira. Instituições globais ajustam suas políticas para atender aos critérios internacionais de excelência,

focando em metas de desempenho baseadas na produtividade científica e responsabilidade social (Dutra e Silva et al. 2021).

Contudo, essa orientação econômica não diminui a importância estratégica das usinas fotovoltaicas na matriz energética global. À medida que mais entidades reconhecem a energia solar como solução econômica, há um aumento nos investimentos em capacidade de produção e inovação tecnológica, beneficiando o ambiente pela redução da dependência de combustíveis fósseis. Esta evolução está alinhada com uma visão de desenvolvimento sustentável, onde metas econômicas e ambientais começam a convergir, mesmo que inicialmente motivadas por razões econômicas (EPE 2023; MME 2023).

Portanto, a expansão das usinas fotovoltaicas representa uma tendência global crescente, onde o imperativo econômico pavimenta o caminho para uma revolução energética mais ampla, apoiando os objetivos de sustentabilidade de longo prazo. À medida que a tecnologia evolui e os custos diminuem, espera-se que os benefícios ambientais das usinas fotovoltaicas ganhem destaque, promovendo um futuro energético mais limpo e sustentável (Barbosa Filho et al. 2015; ECOM 2020).

Assim, este artigo tem como objetivo realizar uma revisão sistemática dos propósitos mundiais para a implantação de usinas fotovoltaicas, com foco em estudos de artigos científicos e outros trabalhos de pesquisa que investigaram os benefícios e/ou impactos ambientais dessas implantações, bem como a qualidade da energia gerada por essas usinas.

2 - REFERENCIAL TEÓRICO

A Revisão Sistemática é um método de pesquisa que identifica, avalia e sintetiza as evidências relacionadas a uma pergunta de pesquisa específica. Envolve uma abordagem estruturada para reunir, analisar e interpretar a literatura sobre um tópico. Paralelamente, a Cienciometria quantifica atividades científicas e tecnológicas e foca em aspectos como o número de citações, países de origem, afiliações dos autores, e revistas de publicação (Galvão e Ricarte 2019; Kugley et al. 2017; Macias-Chapula 1998; UNESP 2012).

2.1 Conceitos de Energia

Para alinhar os conteúdos do texto deste trabalho científico com o princípio da conservação de energia, conhecido como a Primeira Lei da Termodinâmica, que estabelece que a energia não pode ser criada nem destruída, apenas transformada, serão adotadas as expressões "produção" e "geração" de energia elétrica (Moran et al. 2018).

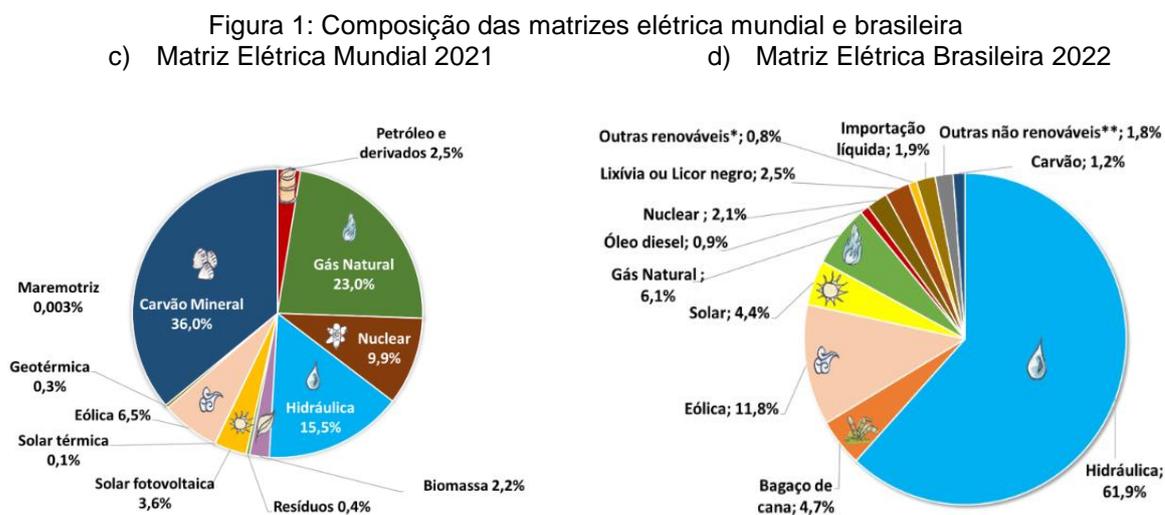
Com base nas informações da Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2023), percebe-se uma confusão de entendimento sobre os conceitos entre matriz energética e matriz elétrica. A matriz energética inclui fontes para veículos, fogões e eletricidade, enquanto a matriz elétrica se restringe à geração elétrica, sendo parte da matriz energética. A matriz energética engloba fontes renováveis e não renováveis. A energia renovável, de acordo com os conceitos de Bozio (2018), é aquela obtida a partir de

fontes naturais que são praticamente inesgotáveis e capazes de se regenerar ao longo do tempo. Diferentemente dos combustíveis fósseis, cujas reservas são limitadas e não renováveis, as fontes de energia renovável são sustentáveis a longo prazo.

A energia elétrica é de fundamental importância para o desenvolvimento das sociedades atuais, pode gerar luz, calor, som e força mecânica. Amplamente usada, ela é gerada principalmente em usinas hidrelétricas, aproveitando o potencial da água, mas também em usinas eólicas, termelétricas, solares e nucleares (EPE 2023; MME 2022; 2023).

2.2 Composição das matrizes elétricas mundial e brasileira

Com base nos indicadores do Ministério de Minas e Energia (2022; 2023) e emitido pela Empresa de Pesquisa Energética (2023; 2024) a matriz elétrica mundial é predominantemente sustentada por fontes não renováveis, especialmente por meio do uso de combustíveis fósseis, como carvão e gás natural, em termelétricas, conforme ilustrado na Figura 1a. No entanto, essa pesquisa também revela que o levantamento atualizado da composição da matriz elétrica brasileira é majoritariamente composta por fontes renováveis, divergindo, assim, da matriz elétrica mundial. Tais indicadores de composição são apresentados na Figura 1b.



Fonte: EPE (2023)

Ao analisar os indicadores, pode-se verificar que as fontes renováveis, como solar e eólica, compõem apenas 10,1% da matriz elétrica global. Incorporando a contribuição da energia hidráulica, a participação total das fontes renováveis atinge 25,6%. A composição da matriz elétrica brasileira difere significativamente da média mundial, revelando uma utilização mais expressiva de fontes renováveis hidráulicas. A combinação das fontes geradoras solar, eólica e hidráulica, alcança notáveis 78,1%, representando mais da metade da matriz elétrica nacional. Notavelmente, 61,9% desse total provém da geração por meio do processo hidráulico.

2.3 Importância e impactos das usinas hidrelétricas e eólicas

Bermann (2012) conceitua que as usinas hidrelétricas exploram a energia potencial da água em movimento, utilizando barragens para criar reservatórios e estabelecer diferenças de altura. A água liberada dessa altura é direcionada às turbinas, acionando geradores elétricos e convertendo energia cinética em eletricidade, sendo considerado um método de geração limpo e renovável, pois não envolve a queima de combustíveis fósseis.

No entanto, para os pesquisadores e seus colaboradores Albuquerque Filho et al., (2010); Molle et al., (2012) e Pereira et al., (2023), as usinas hidrelétricas, apesar de sua importância na matriz elétrica global e brasileira, podem acarretar impactos ambientais, como mudanças no regime hidrológico, deslocamento de comunidades e problemas nos reservatórios, como sedimentação e impactos na fauna e flora. A decomposição orgânica nos reservatórios também pode liberar gases de efeito estufa. Ainda, de acordo com Zhouri e Oliveira (2007) os impactos socioeconômicos, além do deslocamento inicial, incluem mudanças nos meios de subsistência e práticas culturais locais

Por outro lado, a geração de energia eólica apresenta-se como uma alternativa promissora na busca por fontes limpas e renováveis. Nesse método, a energia cinética do vento é convertida em eletricidade por aerogeradores. Quando o vento atinge as pás, transfere sua energia cinética para um gerador, produzindo eletricidade. Parques eólicos otimizam eficiência na produção. Além de diversificar a matriz energética, a geração eólica reduz emissões de gases estufa, promovendo um sistema sustentável (Freitas 2023; Kohler et al. 2021; Martins et al. 2008).

O processo eólico, apesar de ser fonte limpa e renovável, não está isento de gerar impactos ambientais, como risco de colisões para aves e morcegos, ocupação de áreas agrícolas, preocupações com ruído e paisagem alterada. Produção e descarte de turbinas são desafios, e turbinas offshore impactam ecossistemas marinhos. Muitos impactos podem ser mitigados com práticas adequadas e inovações na indústria eólica. Busca por soluções sustentáveis é crucial (Carvalho et al. 2023; Mahela et al. 2020; Vital et al. 2023).

Reexaminando a matriz elétrica brasileira (Figura 1b), destaca-se a predominância da energia hidráulica, representando 61,9% do total disponível. Apesar de sua importância, os impactos ambientais e a construção complexa geram desafios, levando a tarifas elevadas, especialmente em períodos secos. Na geração eólica, são necessários altos investimentos e os impactos ambientais, como na fauna e no uso de terras, também são relevantes. Ao reavaliar esses indicadores, reforçamos o foco na geração sustentável de energia via fotovoltaica, alternativa para a solução energética global, aproveitando a alta irradiação solar do Brasil, principalmente em sistemas residenciais (Bühler et al. 2015; EPE 2023; Güntzel 2018; MME 2023; Molle et al. 2012).

2.2.4 Geração de energia solar - fotovoltaica

De acordo com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2019), o Brasil ainda não apresenta os índices de radiação mais elevados do globo; entretanto, por ser um país tropical, retém um potencial médio de 2000 kWh/m²/ano, o que já é suficiente para uma boa utilização de tal matriz energética. Ainda de acordo com estudos levantados na segunda edição do Atlas brasileiro de energia solar do próprio

INPE, mesmo na região sul, onde se tem os menores índices de radiação solar, há uma certa vantagem do uso de sistemas fotovoltaicos (Barbosa Filho et al. 2015; ECOM 2020).

A energia solar fotovoltaica é gerada por sistemas que convertem luz solar diretamente em eletricidade. Células fotovoltaicas, geralmente compostas de silício, absorvem a luz solar e a transformam em corrente elétrica. Agrupadas em módulos ou painéis solares, formam a base dos sistemas solares. A corrente contínua (CC) gerada é convertida em corrente alternada (CA) por um inversor. A eletricidade pode ser usada localmente, integrada à rede elétrica ou armazenada em baterias. Essa geração elétrica é considerada limpa e renovável, contribuindo para a sustentabilidade e redução das emissões de gases de efeito estufa (Alves 2019; Kuramoto e Appoloni 2002; Soares 2018; Zhou e Oliveira 2007).

O potencial solar brasileiro, associado ao risco de escassez de energia elétrica devido a usinas hidrelétricas e termoeletricas, impulsiona a busca por alternativas renováveis. A geração fotovoltaica se destaca ao explorar uma fonte renovável com impactos ambientais menores que formas convencionais. É importante reconhecer e mitigar os impactos ambientais de usinas solares, pois sistemas fotovoltaicos, centralizados ou descentralizados, crescem globalmente, impulsionados por demandas e restrições de recursos, agravadas pela degradação ambiental (ANEEL 2022; Barbosa Filho et al. 2015; Lima, Mariano et al. 2022).

Usinas fotovoltaicas podem ser implantadas em dois sistemas, ambos utilizando painéis solares: *On-grid*, conectadas à rede de distribuição (geração centralizada), e *Off-grid*, não conectadas à rede (geração descentralizada). Ambos contribuem para a transição a fontes de energia mais limpas, reduzindo emissões de gases e a dependência de combustíveis fósseis. Os benefícios incluem a diminuição da pegada de carbono, preservação de recursos e mitigação de impactos climáticos. No entanto, a implantação de usinas fotovoltaicas apresenta desafios, como consumo de recursos na produção de painéis, necessidade de gestão eficaz de resíduos e, em alguns casos, modificação do uso do solo. Essencial abordar esses aspectos para garantir uma transição sustentável (Oliveira 2023; Boggian 2023; Soares 2018).

Nos sistemas *off-grid*, o excedente de produção é armazenado em baterias, desempenhando um papel crucial em locais remotos. Contudo, para garantir a eficácia e confiabilidade, desafios como dimensionamento, gestão eficiente do armazenamento (baterias) e manutenção são essenciais. O custo inicial pode ser elevado, a produção e o descarte de baterias podem ter impactos ambientais significativos, destacando a necessidade de abordagens sustentáveis. A capacidade de armazenamento influencia diretamente a autonomia do sistema (Subramaniam et al. 2020; Narasimhulu et al. 2023).

Sistemas fotovoltaicos *on-grid* integram-se à rede elétrica convencional, permitindo a injeção direta da eletricidade gerada. Essa integração abastece o consumo local e devolve excedentes, gerando créditos. Contudo, há desafios e impactos ambientais, especialmente na qualidade da energia injetada. Variações na geração solar devido às condições climáticas podem causar instabilidades na voltagem e frequência, afetando o fornecimento elétrico e potencialmente danificando equipamentos sensíveis (Benavente et al. 2018; Dantas e Pompermayer 2018; Freitas 2023; Mahela et al. 2020; Narasimhulu et al. 2023; Urbanetz junior 2010).

Retornando à análise das Figuras 1a e 1b, notamos que a matriz elétrica global, majoritariamente não renovável, contrasta com a realidade brasileira, destacando-se por uma transição bem-sucedida para fontes mais limpas e sustentáveis, com ênfase na hidrelétrica. A ascensão da geração fotovoltaica, aproveitando o vasto potencial solar nacional, surge como promissora. Contudo, desafios ambientais, tecnológicos e regulatórios demandam abordagem cuidadosa para uma transição eficiente e equilibrada. Soluções inovadoras, investimento em pesquisas de ponta, desenvolvimento e cooperação internacional são cruciais (EPE 2023; 2024; 2022; MME 2023; 2022; PEB 2024; FMI 2024).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo foi conduzido aproveitando os recursos avançados dos laboratórios de informática da Universidade Evangélica de Goiás, especificamente utilizando a plataforma Scopus da Elsevier. Esta plataforma foi escolhida devido à sua reconhecida excelência no acesso a uma ampla gama de artigos científicos e revisões acadêmicas, essencial para a profundidade de análise requerida neste estudo.

3.1 Seleção de Artigos

Iniciamos a revisão sistemática focada nos propósitos globais para a implantação de usinas fotovoltaicas e suas implicações ambientais e de desempenho. A pesquisa foi realizada no Scopus, utilizando uma combinação de termos chave como "*solar energy*", "*photovoltaic*", "*performance*", "*power quality*" e "*environmental impact*". Limitamos nossa busca a artigos publicados nos últimos cinco anos, selecionando aqueles com um número significativo de citações para assegurar a relevância e a atualidade dos dados analisados.

3.2 Critérios de Inclusão e Exclusão

Os critérios de inclusão foram estrategicamente definidos para selecionar estudos que abordassem especificamente os propósitos das usinas fotovoltaicas, assim como os benefícios e impactos ambientais associados.

Foram excluídos:

- Artigos publicados entre 2018 e 2022 com menos de 50 citações. Entretanto, para os artigos publicados em 2023, não foi aplicado o critério de quantidade de citações.
- Publicações sem acesso aberto.
- Artigos de revisão e artigos científicos publicados nas línguas diferentes da portuguesa, inglesa, chinesa e alemã.
- Artigos não publicados nas áreas de engenharia, energia, ciências dos materiais e ciências ambientais.

3.3 Processo de Triagem e Seleção

O processo de triagem e seleção iniciou com uma análise rigorosa dos títulos, palavras-chave e resumos. Isso foi seguido por uma revisão detalhada dos textos

completos para garantir a conformidade com os critérios de inclusão. Dois revisores independentes executaram a seleção final, resolvendo divergências através de consenso para garantir objetividade e precisão na seleção dos artigos.

3.4 Análise de Dados

Adotamos uma abordagem qualitativa para a análise de dados, sistematizando informações relativas aos propósitos, benefícios e impactos das usinas fotovoltaicas. Esta análise envolveu uma síntese cuidadosa dos resultados, permitindo a identificação de padrões e tendências emergentes na literatura recente.

3.5 Avaliação da Qualidade dos Estudos

Para assegurar uma avaliação criteriosa da qualidade dos artigos científicos, foi empregado uma matriz de relevância com base nas citações atribuídas a cada trabalho. Nesse sentido, foram considerados tanto o fator de impacto quanto o número de citações de cada artigo selecionado.

3.6 Ferramentas e Softwares

Utilizamos o *software* - Mendeley de gerenciamento de referências bibliográficas para organizar e gerenciar as referências coletadas, enquanto a análise dos dados foi facilitada pelo uso de planilhas eletrônicas, permitindo uma organização eficiente e uma análise detalhada dos dados coletados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, apresentamos os resultados e a discussão deste trabalho de revisão sistemática e cienciometria sobre os propósitos globais para a implantação de usinas fotovoltaicas, com ênfase nos impactos ambientais e na performance de geração.

4.1 Seleção dos trabalhos

Inicialmente, foram pré-selecionados 3.960 artigos científicos na plataforma Scopus. Após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão descritos no item 2.3.2, que envolvem filtros relacionados a citações, acesso aberto e áreas específicas de estudo, apenas 31 artigos foram selecionados. A aplicação rigorosa desses critérios resultou na exclusão de mais de 99% dos artigos iniciais, garantindo a consistência e a relevância das pesquisas incluídas na análise. Esse processo reforça o foco nas publicações mais pertinentes, assegurando a qualidade e a homogeneidade dos estudos.

Para entender os propósitos das Usinas Fotovoltaicas - UF, apresentamos a Tabela 1 com os indicadores detalhados. Os indicadores foram categorizados em Consequências Ambientais (impactos e benefícios) e *Performance* de Geração (governança, produtividade, uso de algoritmos e otimização operacional).

Tabela 1 - Estratificação da seleção dos estudos científicos relacionados à implantação das Usinas Fotovoltaicas

Indicadores analisados	Total	Porcentagem	Subdivisão dos indicadores	Períodos estudados				
				2023	2022	2021	2020	2019
Consequências Ambientais	6	19,35%	Impactos ambientais	4				
			Benefícios ambientais	1		1		
Performance de Geração	24	77,19%	Governança	2				
			Produtividade	6			1	1
			Uso de algoritmos	4				1
			Otimização operacional	4		1	1	2
Não estava(m) diretamente correlacionado(s)	2	6,45%	***				2	
Somatório	31			21	0	2	4	4

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

4.2 Consequências e benefícios ambientais para o desenvolvimento das UFs

A análise dos indicadores mostra que apenas 6 artigos focaram nas consequências ambientais, representando 19,4% do total. Dos 6 trabalhos, 5 foram publicados em 2023, sendo 4 relacionados aos impactos ambientais e 1 aos benefícios ambientais. Em 2021, foi publicado apenas um trabalho, que avaliou os benefícios ambientais das construções e implementações das usinas fotovoltaicas.

Dos trabalhos avaliados, destacam-se os estudos de Razmjoo et al. (2021) publicado na Revista *Renewable Energy* (Reino Unido). Este trabalho aborda sistemas híbridos sustentáveis, incluindo energia solar fotovoltaica, para geração elétrica limpa e sustentável no Irã, com ênfase na redução de emissões de CO₂. O estudo enfatiza a importância de políticas e investimentos em tecnologias renováveis para impulsionar a energia sustentável. No exame dos indicadores relacionados aos impactos ambientais, destacamos a pesquisa de Abid et al. (2023) publicada pela Revista *Ecological Engineering and Environmental Technology* (Polônia). Neste trabalho, os pesquisadores apontam que as implantações das UFs trazem diversos benefícios, entretanto, ressaltam de maneira crítica os impactos ambientais, destacando não apenas o alto custo de instalação, mas também a baixa eficiência de operação das UFs. A publicação, apesar de recente, já teve 5 citações, indicando a relevância e o impacto do estudo na comunidade científica (Rabaia et al. 2021).

Continuando a análise da Tabela 1, é fundamental destacar que a *performance* de geração tem sido o principal foco dos pesquisadores nas implantações das UFs. Nesse contexto, os indicadores de governança, produtividade, uso de algoritmos e otimização operacional destacam-se como elementos essenciais para assegurar a eficiência dos sistemas de geração e/ou conversão de energia elétrica pelo processo fotovoltaico. Juntos, esses indicadores correspondem a 74,2% dos interesses dos pesquisadores.

4.3 Performance de Geração das UFs

Reforçando o foco predominante na eficiência da performance de geração, merecem destaque estudos significativos como os de Benavente et al. (2018) e Subramaniam et al. (2020) publicados na Revista *Energy* (Reino Unido e Suíça), com 55 e 50 citações, respectivamente. Esses estudos abordaram testes com baterias visando melhorias na vida útil e maior disponibilidade de carga para aumentar a produtividade, incluindo modos operacionais do sistema.

Quanto às contribuições científicas mais relevantes relacionadas ao indicador de produtividade, destacamos Talapur et al. (2018) e Dehghani Tafti et al. (2019). Talapur et al. (2018), com 127 citações, propuseram técnicas de controle modificadas para compensar demandas de potência reativa, correntes harmônicas e desequilíbrios de carga, assegurando uma operação aprimorada. Dehghani Tafti et al. (2019), com 75 citações, testaram um modelo de algoritmo de Rastreamento de Ponto de Potência Flexível (FPPT), apresentando resposta rápida às mudanças ambientais e baixas oscilações de potência, contribuindo para aprimorar a performance das UFs.

Sobre o emprego de algoritmos e simulações computacionais, ao analisarmos os artigos selecionados, notamos considerável utilização dessas ferramentas. Essa abordagem foi amplamente adotada pelos pesquisadores, buscando melhorar tanto o desempenho das usinas quanto alcançar resultados mais eficazes em termos de benefícios ambientais e redução dos impactos causados pelas instalações das UFs.

4.4 Falta de correção com os estudos

Dos 31 artigos analisados, identificamos que um deles não guardava uma correlação direta com o tema desta análise sistemática e cienciométrica. A pesquisa de Mahela et al. (2020) aborda questões técnicas relacionadas à injeção de energia elétrica excedente proveniente de fonte de geração eólica. Apesar de tangenciar o tema de geração de energia, optamos por excluir esse estudo específico de nossa análise mais aprofundada, uma vez que sua abordagem se concentra em uma fonte diferente da analisada nos demais artigos, que se dedicam predominantemente à energia solar fotovoltaica.

4.5 Principais palavras-chaves

De acordo com estudos Galvão e Ricarte (2019) e Kugley et al. (2017), as palavras-chave são essenciais na comunicação científica, funcionando como entradas para a identificação, acesso e compreensão de trabalhos. Uma seleção precisa facilita a recuperação eficiente de informações, ampliando a visibilidade dos trabalhos. Palavras-chave relevantes contribuem para uma indexação consistente, simplificando a categorização do conhecimento. Logo, investir na escolha adequada dessas palavras é essencial para maximizar o impacto das contribuições dos pesquisadores. Dessa forma, exportamos as palavras-chave utilizadas nos artigos selecionados e utilizamos uma ferramenta para criar uma nuvem de palavras a fim de identificar quais palavras foram mais utilizadas. A apresentação desse conjunto de palavras é mostrada na Figura 2.

Na análise desse levantamento, destacamos que os Estados Unidos da América (EUA) lideram com 9 publicações, seguidos pela Suíça com 8 e pelo Reino Unido com 4, representando coletivamente 67,7% do total de estudos. Além disso, de acordo com o Relatório do Fundo Monetário Internacional (2024) esses países ocupam posições destacadas nas maiores economias do mundo, classificando-se como a 1^a, 20^a e 6^a, respectivamente. Essa correlação evidencia a relevância dessas nações nas pesquisas sobre o tema em questão, reforçando a influência desses países tanto em termos de produção científica quanto em poder econômico no cenário das UFs.

Identificamos também que a língua predominante nos originais é o inglês, destacando-se, em números de publicações relevantes pelos números de citações: Reino Unido (189), Alemanha (137) e Estados Unidos (127). Além disso, constatamos a participação diversificada de pesquisadores de várias nações nesse contexto. Essa abordagem multilateral contribui significativamente para a abrangência e representatividade das pesquisas, enriquecendo a discussão sobre os propósitos para o desenvolvimento das UFs. A diversidade de países dos pesquisadores oferece uma perspectiva global e enriquecedora para o entendimento desses propósitos, promovendo um diálogo mais inclusivo e aberto no campo científico.

A classificação das três principais revistas científicas foi realizada com o intuito de ressaltar a influência e relevância relativa dessas publicações. Consideramos tanto o fator de impacto, que representa a quantidade de citações recebidas pelos artigos publicados, quanto o índice de citação, conhecido como *CiteScore*, que representa a média anual de citações da publicação. As três revistas, juntamente com seus respectivos valores de fator de impacto e índice de citação, são: *Renewable Energy* (EUA) com fator de impacto de 16.1 e *CiteScore* de 8.7, *Environmental Chemistry Letters* com fator de impacto de 15.7 e *CiteScore* de 14.04, e *Applied Energy* com fator de impacto de 11.2 e *CiteScore* de 21.1. Essa abordagem visa proporcionar uma visão clara da importância dessas revistas no cenário científico.

4.7 Lacuna de publicações no ano de 2022

No indicador de publicações acadêmicas de 2022, notamos a ausência de trabalhos específicos sobre os propósitos globais para o desenvolvimento de usinas fotovoltaicas, com foco nas consequências ambientais e na *performance* de geração. Embora não possamos afirmar com certeza os motivos dessa lacuna, é plausível considerar que diversos fatores, incluindo a situação global devido à pandemia de Covid-19, possam ter influenciado a produção e divulgação de pesquisas científicas nesse período. Destacamos que muitos dos artigos analisados, embora tenham sido aceitos pelas revistas em 2022, só foram efetivamente publicados em 2023.

5 CONCLUSÃO

A partir dos estudos desta revisão sistemática e cientiométrica sobre usinas fotovoltaicas, na abordagem introdutória, destacamos a relevância da matriz elétrica brasileira na transição para fontes mais limpas, com ênfase na hidrelétrica. Contrariamente à matriz elétrica global, predominantemente não renovável, evidencia-se uma transição bem-sucedida no Brasil. A ascensão da geração fotovoltaica, aproveitando o potencial solar, apresenta-se como uma perspectiva promissora. Entretanto, desafios ambientais, tecnológicos e regulatórios exigem atenção para

assegurar a eficiência. O estudo ressalta a importância de soluções inovadoras e cooperação internacional para um futuro sustentável na geração de energia elétrica.

No item de Resultados e Discussões, observamos uma ênfase predominante na pesquisa voltada para a otimização de desempenho em detrimento dos benefícios ambientais, ressaltando a necessidade de maior atenção a essa dimensão crucial, dada a escassez de estudos específicos sobre impactos ambientais. Apresentamos nossas conclusões sobre essa afirmativa:

- Indicadores de governança, produtividade, uso de algoritmos e otimização operacional representaram 74,2% das publicações analisadas.
- Os estudos focaram em melhorias na vida útil e eficiência operacional, evidenciando um foco expressivo na eficiência da geração.
- As palavras-chave evidenciaram ênfase na *performance* das usinas, indicando priorização nesse aspecto nos estudos.
- A representação geográfica destacou Estados Unidos, Suíça e Reino Unido como líderes na pesquisa sobre o desenvolvimento de usinas fotovoltaicas.
- As revistas destacaram trabalhos com alto fator de impacto e números de citações em quesitos ambientais, como *Renewable Energy* (Reino Unido) e *Environmental Chemistry Letters* (Alemanha), bem como em performance de geração.

Logo, essa revisão oferece *insights* valiosos para pesquisadores, profissionais e formuladores de políticas, proporcionando uma visão aprofundada dos atuais enfoques na pesquisa sobre usinas fotovoltaicas. Apesar do foco na otimização da *performance*, destaca-se a importância de equilibrar a eficiência operacional com considerações ambientais para o avanço sustentável da energia fotovoltaica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abid MK, Kumar MV, Raj VR, Dhas MDK. 2023. “Environmental Impacts of the Solar Photovoltaic Systems in the Context of Globalization.” *Ecological Engineering and Environmental Technology* 24 (2): 231–40. <https://doi.org/10.12912/27197050/157168>.

Albuquerque Filho JL, Saad AR, de Alvarenga MC. 2010. “Considerações Acerca Dos Impactos Ambientais Em Aquíferos Livres e Suas Consequências.” *Geociências* 29 (3): 355–67. <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/article/view/5390/4228>

Alves MOL. 2019. “Energia Solar: Estudo Da Geração de Energia Elétrica Através Dos Sistemas Fotovoltaicos On-Grid e Off-Grid.” Monografia. Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) - João Monlevade/MG. https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/2019/6/MONOGRRAFIA_EnergiaSolarEstudo.pdf.

ANEEL. 2022. “ANEEL Apresenta No Senado Federal Ações Para Superar Escassez Hídrica e Reduzir Impactos Na Tarifa de Energia.” Agência Nacional de Energia

- Elétrica. 2022. <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2022/aneel-apresenta-no-senado-federal-aco-es-para-superar-escassez-hidrica-e-reduzir-impactos-na-tarifa-de-energia>.
- Arimoto A. 2011. "Reaction to Academic Ranking: Knowledge Production, Faculty Productivity from an International Perspective." In *University Rankings*, 229–58. Hiroshima, Japan: Springer Science+Business. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-1116-7>.
- Barbosa Filho WP, Ferreira WR, de Azevedo ACS, Costa AL, Pinheiro RB. 2015. "Expansão Da Energia Solar Fotovoltaica No Brasil: Impactos Ambientais e Políticas Públicas." *ResearchGate*, 16. <https://doi.org/DOI: 10.19177/rgsa.v4e02015628-642>.
- Benavente F, Lundblad A, Campana PE, Zhang Y, Cabrera S, Lindbergh G. 2018. "Photovoltaic / Battery System Sizing for Rural Electricity in Bolivia : Considering the Suppressed Demand Effect." *Applied Energy - Elsevier* 235: 519–28. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.10.084>.
- Bermann C. 2012. "O Projeto Da Usina Hidrelétrica Belo Monte: A Autocracia Energética Como Paradigma." *Novos Cadernos NAEA* 15 (1): 5–23. <https://doi.org/10.5801/ncn.v15i1.895>.
- Boggian LCC. 2023. "Governança e Meio Ambiente: Energia Fotovoltaica e a Contribuição Para a Agenda 2030 Por Meio Dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável Na UniEVANGÉLICA." Tese de Doutorado. Universidade Evangélica de Goiás (UniEVANGÉLICA) - Anápolis/GO. <http://repositorio.aee.edu.br/bitstream/aee/21462/1/3> - Lúcio Carlos de Carvalho Boggian - Versão Final - Tese de Doutorado.pdf.
- Bozio DM. 2018. "Perspectivas Das Energias Renováveis e Não Renováveis Nas Matrizes Energéticas e Elétricas." Trabalho de Conclusão de Cursos (Especialização). Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) - Medianeira/PR. <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/22667>.
- Bühler AJ, Rampinelli GA, Gasparin FP, Krenzinger A. 2015. "Energia Solar Fotovoltaica e o Setor Elétrico Brasileiro: Situação Atual e Perspectivas." *ASADES - Avances En Energías Renovables y Medio Ambiente* 19 (0): 1–23.
- Carvalho LTF, Andrade LP, da Silva LR. 2023. "Revisão Sistemática: Impactos Ambientais e Climáticos Da Implantação de Usinas Eólicas." *Diversitas Journal* 8 (4): 2846–56. <https://doi.org/10.48017/dj.v8i4.2495>.
- Dantas SG, Pompermayer FM. 2018. "Viabilidade Econômica de Sistemas Fotovoltaicos No Brasil e Possíveis Efeitos No Setor Elétrico." Brasília/DF. https://portalantigo.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/TDs/td_2388.pdf.
- Dehghani Tafti D, Sangwongwanich A, Yang Y, Josep Pou, Konstantinou G, Blaabjerg F. 2019. "An Adaptive Control Scheme for Flexible Power Point Tracking in Photovoltaic Systems." *IEEE Transactions on Power Electronics* 34 (6): 5451–63. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2018.2869172>.
- Dutra e Silva S, Pereira NS, de Souza EF, Bernardes CMR, Boggian LCC, Ventura ACR, de Oliveira LVF, Oliveira CS, da Silva CHM, Oliveira IS. 2021. "Métricas de Producción Científica y Calificación de Revistas Como Objetivos de Gestión Universitaria." In *Nuevas Experiencias En Gobernanza Universitaria*, 21. Bogotá, Colombia: Universidad Santo Tomás - USTA.

<https://repository.usta.edu.co/handle/11634/34507>.

ECOM. 2020. “Energia Solar: Saiba Escolher o Melhor Lugar Para Instalação.” Energia e Inovação. 2020. <https://ecomenergia.com.br/blog/energia-solar-saiba-escolher-o-melhor-lugar-para-instalacao/>.

EPE. 2022. “Informativo Técnico No 011/2022. Apresentação Da Metodologia e Dos Fatores de Emissão Utilizados Para as Estimativas de Emissão de GEE Nos Planos de Energia, No BEN e Demais Produtos Da EPE.” Empresa de Pesquisa Energética. Brasília/DF. https://www.epe.gov.br/sites-pt/areas-de-atuacao/estudos-socioambientais/SiteAssets/Paginas/Emissoes-de-Gases-de-Efeito-Estufa/Informativo_Tecnico_11-2022_fatores_de_emissaoSMA.pdf.

———. 2023. “Matriz Energética e Elétrica.” Empresa de Pesquisa Energética. Brasília/DF. 2023. <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>.

———. 2024. “As Principais Publicações Da EPE.” Empresa de Pesquisa Energética. 2024. <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes>.

FMI. 2024. “World Economic Outlook Growth Projections.” International Monetary Fund. 2024.

Freitas, MVPH. 2023. “Análise Operativa Dos Efeitos de Potência Reativa Em Um Parque Eólico Conectado a Uma Subestação 34,5/69 KV.” Monografia. Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) - Natal/RN.

Galvão MCB, Ricarte ILM. 2019. “Revisão Sistemática Da Literatura: Conceituação, Produção e Publicação.” *Logeion: Filosofia Da Informação* 6 (1): 57–73. <https://doi.org/DOI:https://doi.org/10.21728/logeion.2019v6n1.p57-73>.

Güntzel, IL. 2018. “Análise De Viabilidade Técnica E Econômica De Sistemas Fotovoltaicos On-Grid E Off-Grid , Instalados Em Posto De Fotovoltaicos on-Grid E Off-Grid.” Monografia. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) - Pato Branco/PR. <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/14937>.

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2019. “Novo Sistema Facilita Consulta Sobre Potencial de Energia Solar.” Ministério Da Ciência, Tecnologia e Inovação. 2019. http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=5087.

Johnson, MP. 2021. “Uma Geração Sem Terra: Injustiça Ambiental Em Comunidades Indígenas Deslocadas Por Construções de Hidrelétricas No Brasil, Desde Os Anos 1980.” *HALAC – Historia Ambiental, Latinoamericana y Caribeña* 11 (3): 25. <https://doi.org/https://doi.org/10.32991/2237-2717.2021v11i3.p209-233>.

Kohler TEGF, Moreira LG, Brandão SM, Rodrigues RFN, Dias MJ. 2021. “Estudo Do Potencial de Geração de Energia Eólica No Estado de Goiás.” *Revista Processos Químicos* 14 (28): 49–60. <https://doi.org/10.19142/rpq.v14i28.601>.

Kugley S, Wade A, Thomas J, Mahood Q, Jørgensen AMK, Hammerstrøm K, Sathe N. 2017. *Searching for Studies: A Guide to Information Retrieval for Campbell Systematic Reviews*. Edited by USA Ariel Aloe, College of Education, University of Iowa. CampbellCollaboration. Vol. 13. Iowa, USA: The Campbell Collaboration. <https://doi.org/10.4073/cm.2016.1>.

Kuramoto RYR, Appoloni CR. 2002. “Uma Breve História Da Política Nuclear Brasileira.” *Departamento de Física UEL* 19 (3): 379–92.

- Lima PTD, Neto MM, Abrahão R. 2022. “Análise Dos Processos de Avaliação de Impacto Ambiental Em Usinas Fotovoltaicas No Nordeste Do Brasil.” *Revista Brasileira de Geografia Física* 15 (3): 1260–73. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.3.p1260-1273>.
- Luna Pamanes AL, Urbina JAA, Ortiz FJC, Cancino HGC. 2020. “The World University Rankings Model Validation and a Top 50 Universities Predictive Model.” *ICCAIS - International Conference on Computer Applications and Information Security*, no. 3: 5. <https://doi.org/10.1109/ICCAIS48893.2020.9096841>.
- Macias-Chapula CA. 1998. “O Papel Da Informetria e Da Cienciometria e Sua Perspectiva Nacional e Internacional.” *Ciência Da Informação* 27 (2): 134–40. <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/S0100-19651998000200006>.
- Mahela OP, Khan B, Alhelou HH, Tanwar S. 2020. “Assessment of Power Quality in the Utility Grid Integrated with Wind Energy Generation.” *IET Power Electronics* 13 (13): 2917–25. <https://doi.org/10.1049/iet-pel.2019.1351>.
- Martins FR, Guarnieri RA, Pereira EB. 2008. “O Aproveitamento Da Energia Eólica.” *Revista Brasileira de Ensino de Física* 30 (1): 1–13. <https://doi.org/10.1590/s1806-11172008000100005>.
- Meho LI. 2020. “Highly Prestigious International Academic Awards and Their Impact on University Rankings.” *Quantitative Science Studies* 1 (2): 824–48. https://doi.org/10.1162/qss_a_00045.
- MME. 2022. “Relatório Síntese Do Balanço Energético Nacional 2022 – Ano Base 2021 (BEN 2021).” Ministério de Minas e Energia. Brasília/DF. <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2022>.
- . 2023. “Relatório Síntese Do Balanço Energético Nacional 2023 – Ano Base 2022 (BEN 2022).” Ministério de Minas e Energia. Brasília/DF. https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-631/BEN_Síntese_2022_PT.pdf.
- Molle F, Foran T, Käkönen M. 2012. *Contested Waterscapes in the Mekong Region - Hydropower, Livelihoods and Governance*. Earthscan. Vol. 14. London-UK: Chiang Mai University, Thailand.
- Moran MJN, Howard S, Boettner DD, Bailey MB. 2018. *Princípios de Termodinâmica Para Engenharia*. 8a. São Paulo/SP: Grupo Gen-LTC.
- Narasimhulu N, Awasthy M, de Prado RP, Divakarachari PB, Himabindu N. 2023. “Analysis and Impacts of Grid Integrated Photo-Voltaic and Electric Vehicle on Power Quality Issues.” *Energies* 16 (2): 1–18. <https://doi.org/10.3390/en16020714>.
- Oliveira JVG. 2023. “O Consumo de Energia Elétrica Na Universidade Federal de Ouro Preto, Campus Morro Do Cruzeiro, e o Impacto Da Geração Fotovoltaica.” *Monografia*. Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) - Ouro Preto/MG.
- PEB. 2024. “Quais São Os Incentivos Governamentais Para o Uso de Energia Solar No Brasil.” *Portal Energia Brasil*. 2024. <https://portalenergiabrasil.com.br/energia-solar-7-icentivos-no-brasil/>.
- Peguim CN. 2018. “Estado e Desenvolvimento Sustentável No Brasil: Água, Biomassa e Petróleo (1992 - 2012).” *Historia Ambiental Latinoamericana y Caribeña (HALAC) Revista de La Solcha* 7 (2): 130–42. <https://doi.org/10.32991/2237->

2717.2017v7i2.p130-142.

Pereira ES, Santos MMS, Targa MS. 2023. "Impactos Ambientais Da Usina Hidrelétrica de Estreito , MA – Amazonia - Brasil : Uma Revisão Integrativa." *Revista Tecnicas Ciências Ambientais* 1 (7): 1–12.

Rabaia MKH, Abdelkareem MA, Sayed ET, Elsaid K, Chae KJ, Wilberforce T, Olabi AG. 2021. "Environmental Impacts of Solar Energy Systems: A Review." *Science of the Total Environment* 754: 19. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141989>.

Razmjoo A, Kaigutha LG, Rad MAV, Marzband M, Davarpanah A, Denai M. 2021. "A Technical Analysis Investigating Energy Sustainability Utilizing Reliable Renewable Energy Sources to Reduce CO2 Emissions in a High Potential Area." *Renewable Energy* 164: 46–57. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.09.042>.

Soares M. 2018. "O Uso de Fontes de Energia Elétrica Fotovoltaica Pela População de Ji-Paraná, Está Havendo Viabilidade Econômica e Quais Ss Impactos Na Região?" *Estudos Em Ciências* 1: 18.

Subramaniam U, Vavilapalli S, Padmanaban S, Blaabjerg F, Holm-Nielsen JB, Almakhlles D. 2020. "A Hybrid PV-Battery System for ON-Grid and off-Grid Applications-Controller-in-Loop Simulation Validation." *Energies* 13 (3): 1–19. <https://doi.org/10.3390/en13030755>.

Talapur GG, Suryawanshi HM, Lie Xu, Shitole AB. 2018. "A Reliable Microgrid with Seamless Transition between Grid Connected and Islanded Mode for Residential Community with Enhanced Power Quality." *IEEE Transactions on Industry Applications* 54 (5): 5246–55. <https://doi.org/10.1109/TIA.2018.2808482>.

UNESP, Universidade Estadual Paulista. 2012. "Modelos de Referências e Citações." Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação Biblioteca Prof. "Paulo de Carvalho Mattos." Botucatu/SP.: Faculdade de Ciências Agrônomicas - Universidade Estadual Paulista - Campus de Botucatu (UNESP). <https://www.fca.unesp.br/Home/PosGraduacao/folheto.pdf>.

Urbanetz junior, J. 2010. "Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Redes de Distribuição Urbanas: Sua Influência Na Qualidade Da Energia Elétrica e Análise Dos Parâmetros Que Possam Afetar a Conectividade." Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) - Florianópolis/SC.

Vital, LVM, da Rocha EP, Varella FKOM. 2023. "Estudo Dos Impactos Da Implantação de Usinas Eólicas No Município de Jandaíra/RN." *Revista Eletrônica de Engenharia Elétrica e Engenharia Mecânica* 5 (2): 75–85. <https://doi.org/10.21708/issn27635325.v5n2.a12346.2023>.

WordClouds. 2024. "Nuvem de Palavras." 2024. <https://www.wordclouds.com/>.

Zhourri A, Oliveira. 2007. "Desenvolvimento, Conflitos Sociais e Violência No Brasil Rural: O Caso Das Usinas Hidrelétricas." *Ambiente & Sociedade* 10 (2): 119–35. <https://doi.org/10.1590/s1414-753x2007000200008>.

8.2 Cópia original do artigo - Estudos estatísticos dos indicadores e previsões futuras de geração da UF-Uni, submetido à Revista Brasileira de Ciências Ambientais - *Brazilian Journal of Environmental Sciences (RBCIAMB)*.

Aplicação da Estatística e da Série Temporal como Ferramenta de Gestão na Geração de Energia Elétrica: Estudo de Caso na Usina Fotovoltaica da UniEVANGÉLICA (2020-2023)

Statistics and Time Series Application as a Management Tool in Electricity Generation: Case Study at the UniEVANGÉLICA Photovoltaic Plant (2020-2023)

RESUMO

A governança universitária é vital para a sustentabilidade e adaptação às novas práticas educacionais, impulsionada pelos rankings que medem impactos científicos, sociais e ambientais. Portanto, a medição e o monitoramento eficientes são essenciais para a gestão e melhoria contínua nas Instituições de Ensino. A aplicação sistemática de estatística, tanto descritiva quanto exploratória, potencializa os benefícios dessas medições. Esta pesquisa investiga o uso de ferramentas estatísticas e técnicas de série temporal para medir, monitorar e projetar futuras gerações de energia elétrica produzida na Usina Fotovoltaica da Universidade Evangélica de Goiás (UF-Uni), avaliando sua conformidade com a governança universitária e padrões globais de desenvolvimento sustentável. Realizaram-se estudos dos indicadores de geração de energia da UF-Uni de 2020 a 2023, monitorados pelo *Software Fimer*[®]. Utilizou-se o laboratório de informática do Programa de Pós-Graduação em Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente (PPGSTMA) para acessar plataformas de busca científica. A análise dos dados, feita no Excel[®] para estatística descritiva e na Plataforma *Google Colaboratory*[®] para estatística exploratória (série temporal) via Python, indicou que os dados seguem uma distribuição normal, sem outliers ou tendências significativas, com estacionariedade confirmada, permitindo previsões para os próximos 12 meses. Os resultados demonstram que as ferramentas estatísticas e a técnica de série temporal são inovadoras no monitoramento de usinas fotovoltaicas, alinhando essas práticas à governança universitária e aos padrões de desenvolvimento sustentável global.

Palavras-chave: Ciências Ambientais. Energia Renovável. Eficiência Energética. Governança. Indicadores gerenciais.

ABSTRACT

University governance is vital for sustainability and adaptation to new educational practices, driven by rankings that measure scientific, social, and environmental impacts. Therefore, efficient measurement and monitoring are essential for continuous improvement in educational institutions. The systematic application of statistics, both descriptive and exploratory, enhances these benefits. This research investigates using statistical tools and time series techniques to measure, monitor, and project future electricity generation at the Evangelical University of Goiás Photovoltaic Plant (UF-Uni), evaluating its compliance with university governance and global sustainable development standards. Studies were conducted on UF-Uni's energy generation indicators from 2020 to 2023, monitored by *Fimer*[®] Software. The computer lab of the Postgraduate Program in Society, Technology, and Environment (PPGSTMA) was used to access scientific search platforms. Data analysis, conducted in Excel[®] for descriptive statistics and the *Google Colaboratory*[®] platform for exploratory statistics (time series) via Python, indicated that the data follows a normal distribution, with no outliers or significant trends, and confirmed stationarity, allowing predictions for the next 12 months. The results demonstrate that statistical tools and the time series technique are innovative in monitoring photovoltaic plants, aligning these practices with university governance and global sustainable development standards.

Keywords: Environmental Sciences, Renewable Energy, Energy Efficiency, Governance, Management Indicators.

INTRODUÇÃO

A governança universitária é um pilar fundamental na gestão da sustentabilidade das instituições de ensino superior, sendo amplamente discutida tanto no Brasil quanto globalmente (Contreras et al., 2021). Recentemente, a ênfase crescente dos ranqueamentos e critérios de avaliação das universidades no impacto científico tem influenciado diretamente políticas e investimentos em pesquisa e infraestrutura (Arimoto, 2011; Pámanes et al., 2020; Meho, 2020). Essa valorização da produção científica, baseada em métricas de produtividade, reforça políticas de sustentabilidade e ajusta as instituições aos desafios do cenário educacional global (Salmi, 2009; Takayanagui, 2019). Os ranqueamentos destacam a excelência acadêmica e promovem uma avaliação do impacto social e ambiental, expandindo o conceito de sustentabilidade para além da governança financeira.

A prática de ranquear instituições de ensino superior começou com a *US News & World Report* na década de 1980, introduzindo uma nova dinâmica na avaliação acadêmica que influenciou globalmente as políticas de gestão universitária (Dill and Soo, 2004). Na década de 1990, o advento de *rankings* no Reino Unido estabeleceu *benchmarks* globais para avaliação de escolas de negócios, pressionando universidades a alinhar suas operações a padrões internacionais de excelência (Hazelkorn, 2010).

As métricas de governança universitária transcendem fronteiras nacionais, refletindo a globalização e internacionalização do ensino superior. Instituições ao redor do mundo estabelecem metas de desempenho baseadas na produtividade científica, em resposta aos padrões de *rankings* internacionais (Salmi 2009). Apesar de serem poderosas para promover a competitividade acadêmica, os *rankings* enfrentam críticas por sua falta de neutralidade e por impulsionarem uma visão unidimensional de qualidade. A governança moderna envolve a formulação de políticas que promovam sustentabilidade e responsabilidade social, estabelecendo uma identidade institucional forte que atraia recursos e estudantes (Dutra e Silva et al., 2021; Hazelkorn, 2010). Nesse estudo consideramos a sustentabilidade como um movimento histórico aliando a concepções de desenvolvimento, cujos processos se iniciaram como um movimento sociopolítico oriundos de questionamentos globais relacionados à contaminação dos ambientes naturais e dos seres humanos, fruto das atividades industriais (Fernandes, 2021). Mas também como um movimento que se expande para processos mais amplos de sustentabilidade, no qual as energias e recursos renováveis estão vinculados (Kniess, 2022).

Este estudo explora como a governança universitária pode ser aprimorada por meio de análises

estatísticas e técnicas de séries temporais na Usina Fotovoltaica da Universidade Evangélica de Goiás – UniEVANGÉLICA (UF-Uni). Pretende-se medir e monitorar a eficácia energética e a adesão às práticas de governança e desenvolvimento sustentável, buscando oferecer um modelo replicável que una excelência acadêmica a compromissos ambientais e sociais. Assim, essa pesquisa visa analisar a aplicação de ferramentas estatísticas e o uso da técnica de série temporal para medir, monitorar e projetar gerações futuras da energia elétrica produzida na UF-Uni, e a sua adesão à governança universitária e aos padrões globais de desenvolvimento sustentável.

REVISÃO DA LITERATURA

A Importância de Medição e Monitoramento nos Processos Gerenciais e Ambientais

Em seus trabalhos Antonov et al. (2020) enfatizam a importância vital da medição e monitoramento gerencial para avaliar o desempenho e apoiar decisões estratégicas. Essas práticas fornecem dados precisos, essenciais para um acompanhamento dinâmico e para realizar ajustes alinhados com as metas de desenvolvimento. A eficácia dessas operações depende significativamente do uso de comunicações seguras via internet ou intranet.

A medição e o monitoramento em sistemas ambientais são essenciais para a sustentabilidade e a melhoria contínua. Logo, a Norma ISO 14001 (2015) fornece diretrizes para uma gestão abrangente desses sistemas. Pesquisas demonstram uma correlação positiva entre o monitoramento ambiental e o desempenho organizacional, beneficiando inclusive pequenas empresas.

Além disso, a utilização de Inteligência Artificial (IA) para detectar anomalias e otimizar a manutenção em sistemas de geração de energia está em expansão. Algoritmos e técnicas de aprendizado de máquina são cada vez mais empregados para identificar ineficiências e prever falhas, aprimorando a gestão dos dados por meio de estatísticas descritivas e exploratórias. O domínio dessas técnicas estatísticas e de IA é essencial para o desenvolvimento de ferramentas gerenciais que melhoram a tomada de decisões e a previsão de desempenho futuro em usinas fotovoltaicas, fortalecendo a governança e o desenvolvimento sustentável (Lazzaretti et al., 2020).

Estatística descritiva

A estatística descritiva é fundamental para sumarizar e interpretar dados, dividindo-se em três áreas principais: organização de dados, medidas de tendência central e variabilidade, e análise da distribuição dos dados. Em dados categóricos, utiliza-se contagens de frequência e porcentagens para esclarecer distribuições, enquanto em dados numéricos, aplica-se média,

mediana e moda para indicar posições centrais. Ferramentas visuais como: figuras, tabelas e gráficos são cruciais para apresentar essas informações (Snedecor, 1956).

Medidas de variabilidade, como o desvio padrão, mostram a dispersão dos dados em torno da média, e a análise de distribuição avalia a assimetria e a concentração dos dados, revelando características importantes da estrutura dos dados (Cooksey, 2020). Essas análises fornecem uma compreensão profunda dos dados, essencial para a tomada de decisões informadas e análises estatísticas mais detalhadas (Zulkipli et al., 2020).

Estatística Exploratória

De acordo com a definição de alguns autores Tukey, (1993), Kwiatkowski et al. (1992) e Shapiro; Wilk, (1965) a Estatística Exploratória avança além da descrição básica dos dados, utilizando métodos avançados para investigar padrões e relações em conjuntos de dados complexos.

Análise Exploratória de Dados

A Análise Exploratória de Dados (EDA) inclui desde a organização até a análise intensiva de dados, gerando *insights* cruciais para diversos campos de estudo. Sagala and Aryatama (2022) aplicaram a técnica de EDA em seus estudos para visualizar, analisar correlações, identificar outliers e realizar testes estatísticos, explorando relações multivariadas e tendências temporais. Esta fase aprofunda o entendimento de conjuntos de dados complexos combinando técnicas tradicionais e métodos inovadores, como algoritmos e aprendizado de máquina. Ela direciona metodologias avançadas e modelagens estatísticas complexas, permitindo identificar padrões e relações ocultas que aprimoram a capacidade de previsão e análise (Sagala and Aryatama, 2022).

Aplicações Práticas

A análise exploratória é essencial em áreas como agricultura, saúde e indústria. Na agricultura, a IA auxilia no manejo de recursos e monitoramento de cultivos, melhorando a eficiência e sustentabilidade (Barbosa et al., 2022). Na saúde, a IA transforma práticas administrativas e clínicas, mas enfrenta desafios como a normalização regulamentar e a proteção da privacidade (Jungwirth and Haluza, 2023; Rani et al., 2023). Na indústria de alimentos, a IA é crucial para assegurar qualidade e segurança dos produtos (Espín et al., 2023).

No setor de energia solar, técnicas de IA como Redes Neurais Artificial (RNA) e aprendizado profundo estão revolucionando a eficiência dos sistemas fotovoltaicos. Algoritmos avançados

e a integração com plataformas – Internet das Coisas (IoT) facilitam a manutenção remota e melhoram a confiabilidade e eficiência (Masoud et al., 2022; Romero et al., 2022).

Integração com Tecnologia Avançada

O uso de inteligência artificial em análise exploratória permite avanços significativos na otimização de processos industriais e na eficiência energética em sistemas fotovoltaicos. A aplicação de técnicas como Redes Neurais Artificial (RNA) e aprendizado profundo na detecção de falhas e na previsão de energia demonstra a capacidade desta abordagem de integrar-se com tecnologias emergentes para melhorar os resultados e a sustentabilidade das operações (Kalay et al., 2023; Gopalan et al., 2022; Spiliotis et al., 2018).

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Nossos estudos analisaram os indicadores de geração de energia da Usina Fotovoltaica da UniEVANGÉLICA de 2020 a 2023. A UF-Uni – Figura 1, inaugurada em outubro de 2019, com 2.900 módulos e 29 inversores instalados em 5.655 m² de um dos estacionamentos da Instituição, gera 957 (Kilowatt-pico), projetada para cobrir cerca de 40% das necessidades energéticas da universidade e conectou-se à rede de 13.800 Volts (UniEVANGÉLICA 2019).



Figura 1 – Usina Fotovoltaica da UniEVANGÉLICA

Software de gerenciamento dos indicadores de geração

Utilizamos o *Software Fimer*[®] (Plant Viewer - Aurora Vision - versão 3.7) para o monitoramento, adequado para usuários residenciais e comerciais. Este sistema facilitou o acompanhamento de métricas de energia, atualizando os indicadores de geração a cada 15 minutos (Fimer, 2024). Analisamos os dados no Excel[®] para apoiar decisões estratégicas e estudos de séries temporais.

Pesquisa Bibliográfica

Realizamos buscas e seleções de literatura nos laboratórios de informática do do Programa de Pós-Graduação em Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente (PPGSTMA) da UniEVANGÉLICA (2024), acessando plataformas especializadas. Selecionamos artigos,

dissertações, teses e capítulos que abordam o monitoramento de processos gerenciais e ambientais, o uso de estatísticas descritiva e exploratória, e a aplicação de IA e RNA em análises de dados. A triagem se baseou na análise de títulos, palavras-chave e resumos, complementada por uma avaliação detalhada para verificar a aderência aos critérios de inclusão e exclusão.

Análise dos dados

A estatística descritiva, por meio da análise exploratória dos dados, foi aplicada com o objetivo de conhecer e visualizar o comportamento das variáveis em estudo a partir dos dados originais. A ferramenta suplementar do Excel[®] (Análise de Dados) foi usada para o cálculo dos valores estatísticos. Os dados analisados podem ser visualizados por meio da Tabela 1 (Resultados e Discussão).

Para a análise exploratória, utilizamos a linguagem de programação – Python – Google Colaboratory (2024) com métodos estatísticos de Série Temporal aplicados para sequenciar observações de variáveis ao longo do tempo (Hamilton, 1997; Gopalan et al., 2022; Yaxi et al., 2022).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, destacamos os indicadores de geração de energia elétrica da UF-Uni durante o período estudado em Megawatt-hora (MWh).

Tabela 1. Indicadores de geração de energia elétrica em MWh.

Ano/mês	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Média
2020	80,6	88,8	91,9	96,5	115,3	111,6	117,3	122,4	118,9	104,2	109,9	103,1	105,0
2021	104,1	71,0	94,3	99,2	100,7	85,0	104,2	117,9	119,3	106,9	83,7	91,8	98,2
2022	99,7	90,3	92,3	95,2	107,9	95,1	87,2	125,9	122,9	123,1	117,2	99,9	104,7
2023	114,4	111,1	90,7	89,9	107,9	88,8	95,0	105,3	116,1	117,6	110,6	122,2	105,8
Média	99,7	90,3	92,3	95,2	107,9	95,1	100,9	117,9	119,3	113,0	105,4	104,3	103,4

[Jan...Dez] = Meses do ano.

A UF-Uni registrou sua máxima de geração em 2023, com 105,8 MWh, destacando-se a maior média mensal em setembro (119,3 MWh). Contudo, devido a problemas técnicos no *software* de gerenciamento, não foi possível medir em agosto e setembro de 2021 e de janeiro a julho de 2022. Para esses períodos, substituímos os valores pela média, visando fornecer indicadores mais confiáveis para estudos de séries temporais, permitindo projeções e categorização dos dados. Para aprofundar a análise dos indicadores de geração, apresentamos as medidas estatísticas correspondentes na Tabela 2.

Tabela 2. Estatística descritiva dos indicadores de geração.

	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Média
μ	99,7	90,3	92,3	95,2	107,9	95,1	100,9	117,9	119,3	113,0	105,4	104,3	103,4
SE	5,5	6,4	0,6	1,5	2,3	4,5	5,0	3,5	1,1	3,4	5,7	5,0	1,4
Md	99,7	90,3	92,3	95,2	107,9	95,1	100,9	117,9	119,3	113,0	109,9	103,1	104,7
σ	12,3	14,2	1,3	3,4	5,2	10,2	11,2	7,8	2,4	7,7	12,8	11,1	3,1
S^2	150,6	201,6	1,7	11,4	26,6	103,5	125,9	61,0	5,7	59,0	164,9	124,2	9,4
Min	80,6	71,0	90,7	89,9	100,7	85,0	87,2	105,3	116,1	104,2	83,7	91,8	98,2
Max	114,4	111,1	94,3	99,2	115,3	111,6	117,3	125,9	122,9	123,1	117,2	122,2	105,8
Σ	498,6	451,5	461,6	475,9	539,7	475,7	504,6	589,3	596,4	564,8	526,8	521,4	517,2

μ = Média; SE = Erro padrão; Md = Mediana; σ = Desvio Padrão; S^2 = Variância; Min = Mínimo; Max = Máximo; Σ = Soma; [Jan...Dez] = Meses do ano.

Conforme mencionado anteriormente, o pico máximo de geração ocorre em setembro, atingindo 119,3 MWh. Ao aprofundar a análise dessa métrica estatística, observa-se que as maiores gerações se destacam nos meses de agosto a dezembro. Estudos apresentam que a maior luminosidade solar ocorre na estação da primavera Fernandes et al. (2018) e este fato é observado nos dados que mostram a maior incidência no mesmo período. Ainda, conforme apresentado na Tabela 2, a geração mínima mensal foi de 71 MWh (fevereiro), provavelmente devido ao período chuvoso, enquanto a máxima atingiu 125,9 MWh (agosto), em dias mais ensolarados com maior irradiação solar.

De acordo com Cooksey (2020) e Fernandez (1988), o erro padrão representa a dispersão dos dados em torno da média, evidenciando que os menores e maiores valores foram de 0,6 e 6,4, respectivamente, nos meses de março e fevereiro. Quando comparado com a média mensal, o valor encontrado foi de 1,4. Analisando os dados, é possível observar discrepâncias nos valores medidos, com a variância da amostra destacando-se com maior evidência.

A análise exploratória dos dados foi realizada utilizando a Técnica de Programação - Série Temporal. A sequência de observação da variável "geração de energia elétrica" ao longo do tempo foi estudada com a linguagem de programação Python. A Tabela 3 apresenta a Série Temporal criada pelo *Google Colab*[®] a partir dos indicadores de geração da UF-Uni entre 2020 e 2023.

	Ano	Janeiro	Fevereiro	Marco	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
0	2020	80.58	88.83	91.91	96.46	115.26	111.59	117.29	122.39	118.90	104.25	109.95	103.15
1	2021	104.14	70.99	94.35	99.19	100.67	84.97	104.25	117.86	119.29	106.95	83.68	91.83
2	2022	99.72	90.30	92.32	95.18	107.94	95.13	87.17	125.93	122.86	123.10	117.24	99.91
3	2023	114.44	111.08	90.72	89.88	107.89	88.83	94.98	105.27	116.11	117.55	110.61	122.21

Tabela 3 – Série Temporal (formato de tabela originário de data frame)

A Tabela 3 apresenta os resultados da decomposição da Série Temporal em estudos. Essa técnica desmembra a série em componentes como tendência, sazonalidade e resíduos, auxiliando na compreensão dos padrões e tendências dos dados, proporcionando uma análise mais aprofundada e precisa. Já a Figura 2 apresenta a decomposição dos dados por meio da técnica de programação Série Temporal.

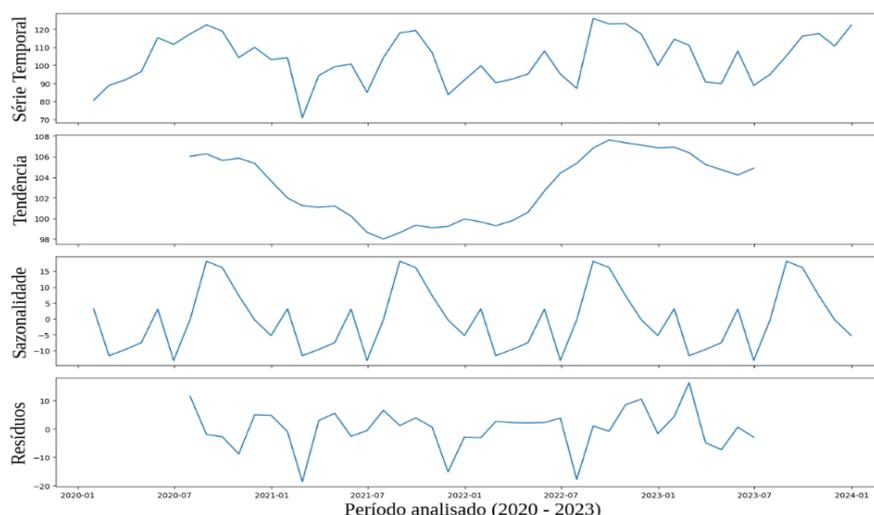


Figura 2 – Representação da decomposição da Série Temporal (Série Temporal, Tendência, Sazonalidade e Resíduos).

Analisando a Figura 2, primeiro gráfico apresenta o comportamento da distribuição da Série Temporal da geração de energia elétrica em forma de linha contínua. Esse tipo de gráfico, segundo Pyzdek (2021), proporciona uma representação visual clara e suave das mudanças nos valores. A análise revela a ausência de crescimento ou decrescimento na geração de energia elétrica durante o período estudado.

Já o segundo gráfico (Tendência) mostra estagnação ou picos na geração da usina (capacidade de 971,5 kWp), indicando ausência de crescimento. A tendência revela a direção geral dos dados, indicando se a série está aumentando, diminuindo ou permanecendo constante (Pyzdek, 2021). Esse resultado é mais claro nos estudos sobre Média Móvel – vide Gráfico 2.

Dando continuidade à análise, o último gráfico destaca a presença dos resíduos, com valores entre -20 a 10 MWh. Resíduos são as variações não explicadas pelos componentes anteriores, incluindo ruído aleatório ou variações irregulares na série (Fernandez, 1988; Zulkipli et al., 2020). Os valores médios encontrados são considerados "resíduos de tamanho moderado", indicando que as estimativas estão próximas dos valores reais. Fernandez (2018) destaca a relevância da análise de resíduos na estatística, especialmente na ANOVA, para identificar violações nos pressupostos como heterogeneidade de variância, falta de independência e valores atípicos.

A fim de melhor entendermos as tendências de geração de energia elétrica da UF (Usina Fotovoltaica) em estudos, a Figura 3 apresenta a técnica de média móvel comparando-a com os dados originais.

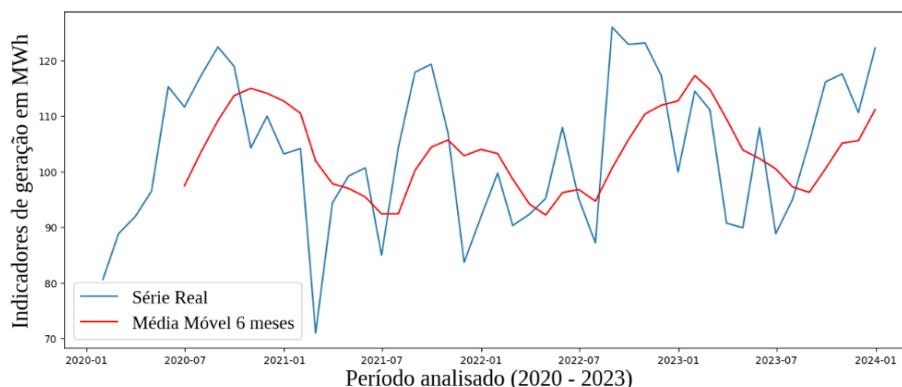


Figura 3 – Suavização da média móvel - Série Temporal

A média móvel é utilizada para identificar a tendência de um conjunto de dados dispostos em uma série temporal. Essa técnica ajuda a compreender a direção dos dados: se seguirão uma tendência de alta, se cairão ou se permanecerão estacionários Yaxi et al. (2022). Ao analisar a Figura 4, comparando o comportamento da média móvel (em vermelho) com os dados da série temporal original (em azul), nota-se uma amplitude menor, confirmando a ausência de uma tendência positiva ou negativa nos indicadores de geração. Também é possível perceber a sazonalidade, com valores menores no início do ano e maiores gerações nos meses finais de cada intervalo anual.

Os gráficos QQ, no contexto estatístico, referem-se à técnica *Quantile-Quantile* (Quantil-Quantil). Esses gráficos, segundo Subha et al. (2022), avaliam o ajuste dos dados observados a uma distribuição teórica, comparando quantis da amostra com quantis da distribuição, oferecendo insights sobre a adequação dos dados ao modelo proposto. A Figura 4 apresenta o comportamento da distribuição dos indicadores de geração da UF-Uni em relação à linha de referência.

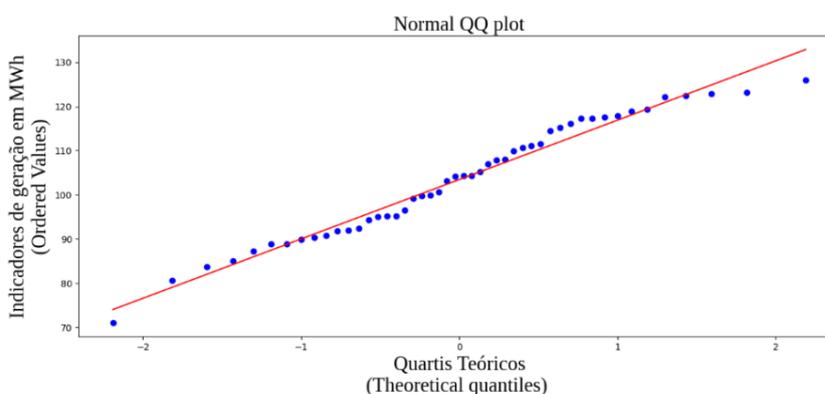


Figura 4 – Normal QQ Plot - Série Temporal

Ao analisar a Figura 4, observa-se que os pontos em azul estão próximos à linha vermelha no QQ-Plot, sugerindo que a série temporal em estudo segue uma distribuição normal. Contudo, para melhor validar essa conclusão, foram necessários testes de normalidade, Shapiro and Wilk (1965) e Tukey (1993).

Logo, os resultados do teste de Shapiro and Wilk (1965) encontrados são: estatística de teste = 0.96912 e p-valor = 0.23396, com um nível de significância de 5%. Como o p-valor é maior que 0.05, concluímos que não há evidências suficientes para rejeitar a hipótese nula de que os indicadores de geração seguem uma distribuição normal. Caso contrário, seria recomendável aplicar transformações logarítmicas e/ou raiz cúbica para buscar uma distribuição normal. Resultados mais evidentes são apresentados na Figura 5, que mostra detalhes adicionais sobre a distribuição dos indicadores de geração da UF-Uni.

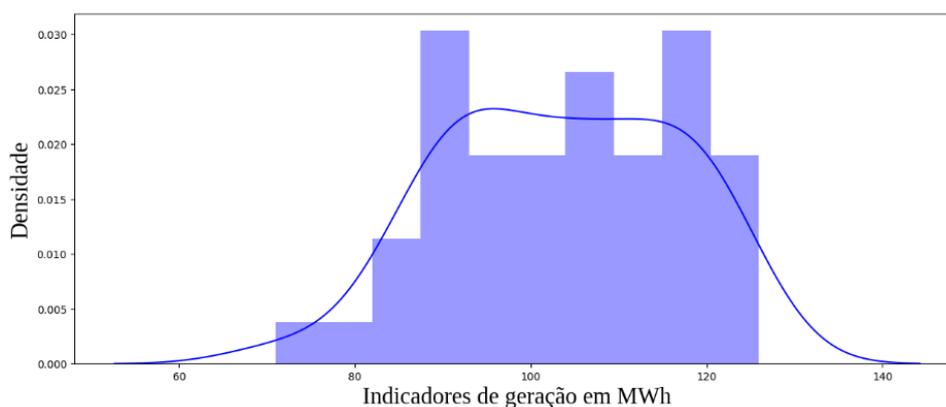


Figura 5 – Histograma: Indicadores de geração de energia x Densidade

Apesar de pequenas discrepâncias, a maioria das representações dos dados está alinhada com a curva de distribuição normal. Essa constatação é evidenciada pela análise direta dos dados e pelo histograma, onde a distribuição simétrica em torno da média reforça o ajuste aos padrões esperados pela teoria estatística. Essa consistência com a distribuição normal fortalece a confiabilidade das inferências e análises realizadas nos dados da geração de energia elétrica.

Outra técnica amplamente utilizada na análise de séries temporais é a estacionaridade, que verifica a consistência das propriedades estatísticas ao longo do tempo. No teste de KPSS - Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (1992), os resultados foram: estatística de teste = 0.1227 com significância de 5%. Como o valor do teste é inferior ao nível crítico de 0.4630, concluímos que os indicadores de geração são estacionários. Conseqüentemente, as medidas estatísticas - média, variância e estrutura de autocorrelação - não mudaram bruscamente durante o intervalo de estudos.

Ainda, para evidenciar melhor a autorrelação, os gráficos mostrados nas Figuras 6a e 6b apresentam o comportamento dos dados, onde a Análise de Autocorrelação (ACF) e Análise de

Autocorrelação Parcial (PAC) fornece insights importantes sobre a dependência temporal dos dados.

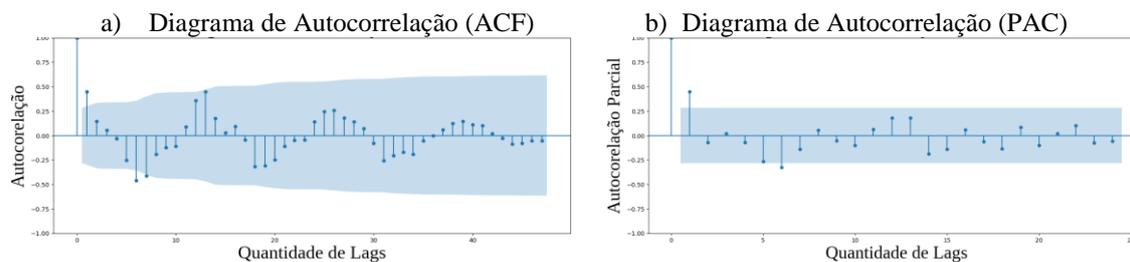


Figura 6 – Quantidade de lags na autocorrelação

Fonte: Elaborado pelos autores

Na Figura 6a, a maioria dos lags/atrasos (total de 47) está dentro do intervalo de confiança, indicando que não há autocorrelação significativa entre a série em estudo e suas observações passadas, com relevância estatística. Além disso, observa-se a presença de sazonalidade e a ausência de tendência nos indicadores de geração.

De forma semelhante, na Figura 6b, a maioria dos lags está também dentro do intervalo de confiança, indicando ausência de autocorrelação parcial espaçada ou intercalada. Também é possível identificar a presença de sazonalidade e a ausência de tendência. A principal diferença é que o PACF destaca a correlação direta em uma defasagem específica, proporcionando uma identificação mais clara de padrões na dependência temporal dos dados. Para o ajuste dos gráficos, foram inseridos apenas 24 lags. O primeiro lag não é considerado devido à redundância na autocorrelação, representando a autocorrelação da série consigo mesma sem defasagem, resultando sempre em 1, o que evita redundâncias na análise.

Com base nas métricas estatísticas descritivas e na análise dos dados por meio da estatística exploratória concluídas, é possível avançar para a projeção da geração futura da UF-Uni por meio da técnica de cálculo em série temporal, como apresentado na Figura 7.

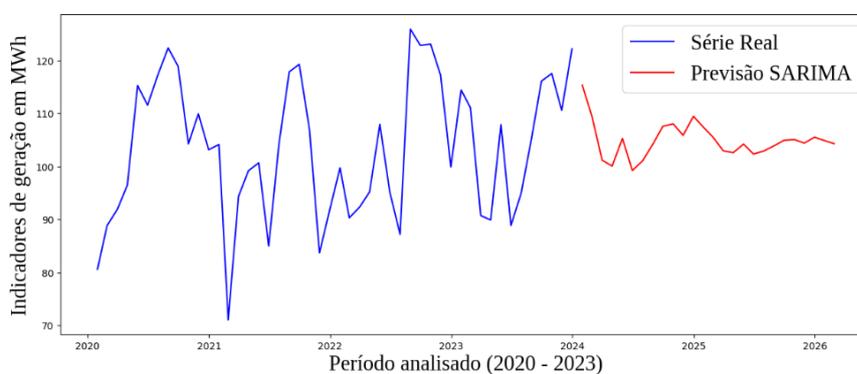


Figura 7 – Previsão da Série Temporal de gerações futuras de energia elétrica

Ao analisarmos a Figura 7, observamos que a série original (linha azul) destaca a distribuição normal dos dados, a estacionariedade dos indicadores de geração e a ausência de autocorrelação

e autocorrelação parcial. A previsão futura de geração de energia elétrica da UF-Uni (linha vermelha) mostra um comportamento semelhante à série original, mas há um achatamento dos valores a partir de março de 2025. Portanto, as melhores projeções das gerações futuras são mais precisas para os próximos 12 a 15 meses.

Não há consenso sobre a quantidade mínima de amostras necessárias para previsões futuras em séries temporais. Estudiosos como Cooksey (2020), Andrade et al. (2021) e Pyzdek (2021) sugerem que os principais fatores que influenciam esses resultados incluem a tendência, variação, padrões cíclicos ou sazonais, outliers e autocorrelação dos dados originais. Logo, conclui-se que a projeção limitada dos valores de geração futura pode estar relacionada ao número de amostras da série original, que apresenta apenas 48 meses de indicadores. Além disso, a substituição de alguns valores por falta de indicadores pode ter afetado os resultados. A Tabela 3 apresenta os resultados da projeção da série temporal para o ano de 2024, assim como os somatórios dos valores das gerações do período analisado (dados originais) juntamente com as previsões futuras.

Tabela 3. Indicadores da projeção futura da geração de energia elétrica em números

Ano/mês	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Média
2020	80,6	88,8	91,9	96,5	115,3	111,6	117,3	122,4	118,9	104,2	109,9	103,1	105
2021	104,1	71	94,3	99,2	100,7	85	104,2	117,9	119,3	106,9	83,7	91,8	98,2
2022	99,7	90,3	92,3	95,2	107,9	95,1	87,2	125,9	122,9	123,1	117,2	99,9	104,7
2023	114,4	111,1	90,7	89,9	107,9	88,8	95	105,3	116,1	117,6	110,6	122,2	105,8
Projeções futuras: Resultados dos estudos - Série Temporal													
2024	115,3	109,5	101,2	100,1	105,3	99,2	101,1	104,2	107,6	108,0	105,9	109,5	105,6
Soma	514,1	470,7	470,4	480,9	537,1	479,7	504,8	575,7	584,8	559,8	527,3	526,5	519,3
Somatório geração entre 2020 - 2023							4.965						
Somatório de projeção da geração para 2024							1.266,8						
Somatório da geração (2023-2023) e Projeção para 2024							6.231,7						

A análise da Tabela 3 destaca maior estabilidade nos valores previstos para as gerações futuras de energia elétrica. Embora os cálculos do desvio padrão não estejam na tabela, observa-se que o desvio padrão da série temporal futura é significativamente menor (4,75) em comparação com os dados originais (13,25). Logo, essa diferença sugere maior consistência e previsibilidade nos valores projetados.

A maior estabilidade pode ser atribuída à substituição dos valores dos indicadores não monitorados e a um melhor ajuste dos futuros indicadores de geração. Ao compararmos esses resultados com a Figura 8, que ilustra a variância dos valores projetados ao longo do tempo, reforça essa observação, mostrando um achatamento na variância dos valores projetados.

A Tabela 4 apresenta as projeções de geração futura de energia elétrica em Quilowatt-hora (kWh) e seus benefícios ambientais, fornecendo uma visão abrangente dos impactos positivos da energia fotovoltaica.

Tabela 4. Indicadores da projeção futura da geração de energia elétrica e seus benefícios ambientais.

Período analisado	Geração em MWh	Qtd. de casas	Receita gerada	Ton.CO2/kWh por fonte de geração		Diferença entre Gás Natural e SIN	
				SIN	Gás Natural	Ton.CO2/KWh	Qtd. de árvores
2020-2023	4.965,0	22.568	R\$ 4.901.762	191,2	2.641,4	2.450	875
2024	1.266,8	5.758	R\$ 1.250.665	48,8	673,9	625	223
Total	6.231,8	28.326	R\$ 6.152.428	239,9	3.315,3	3.075	1.098

CO2 - Dióxido de Carbono; SIN = Sistemas Integrado Nacional, composto pelas Hidrelétricas de Itaipu, Belo Monte, Tucuruí, Jirau, Santo Antônio e Xingó.

Fonte: Adaptado de: (EPE 2023; 2024; 2022; MME 2023; 2022)

A partir da análise da Tabela 4, a projeção de geração futura para 2024 da UF-Uni é de 6.231,8 MWh, correspondendo a R\$ 6.152.427,6 e suficiente para abastecer 28.326 residências de médio padrão entre período em estudos e a projeção da geração futura. Consideramos o preço médio do kWh para a classe “faixa de consumo – comercial” (R\$ 0,984) e a autonomia para abastecimento de casas de médio padrão (220 kWh), conforme orientações da concessionária de energia, Empresa Equatorial Energia (2024).

Em termos de benefícios ambientais e financeiros, comparando essa geração com a fonte de Gás Natural, destaca-se uma economia de 3.075 toneladas de CO2, que podem ser comercializadas no mercado de carbono, impulsionando a lucratividade financeira e o equilíbrio energético. Para os cálculos, consideramos dados do Informativo Técnico nº 011/2022 da Empresa de Pesquisa Energética (2022) com os seguintes fatores de emissão de CO2 por queima de combustível em Ton.CO2/MWh: Gás natural = 0,532; SIN = 0,0385; Carvão Pulverizado = 1,099.

Em termos exclusivamente ambientais, essa economia representa o plantio de 1.098 árvores, considerando o padrão de 20 anos de idade, equivalente a aproximadamente 1.100 m² do Bioma Mata Atlântica (TJPR, 2024).

CONCLUSÕES

Os resultados desta pesquisa demonstram a eficácia da aplicação de ferramentas estatísticas e da técnica de série temporal na medição, monitoramento e projeção da geração de energia elétrica na Usina Fotovoltaica da Universidade Evangélica de Goiás. Além de evidenciar benefícios ambientais e financeiros significativos, a análise sublinha a importância da governança universitária na gestão eficiente e sustentável de recursos energéticos. Alinhando-

se com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), esses achados reforçam o papel da universidade como líder em práticas ecológicas e inovadoras, promovendo a sustentabilidade e a responsabilidade ambiental.

REFERÊNCIAS

ABNT. 2015. NBR ISO 14001 DE 10/2015. Sistemas de gestão ambiental - Requisitos com orientações para uso. Disponível em: <https://www.normas.com.br/autorizar/visualizacao-nbr/10259/identificar/visitante>.

Andrade, F. A.; Achy, A. R. A.; Cardoso, G. S.; Schnitman, L., 2021. Previsão da Geração de Energia Fotovoltaica Utilizando Inteligência Artificial em Séries Temporais. Sociedade Brasileira de Automática (SBA), v. 1, (1), 441–46. <https://doi.org/10.20906/sbai.v1i1.2608>.

Antonov, G.D.; Ivanova, O.P.; Tumin, V.M., 2020. Strategic Management Processes of the Organization. Moscow, Russia: INFRA-M. <https://doi.org/26584808>.

Arimoto, A., 2011. “Reaction to Academic Ranking: Knowledge Production, Faculty Productivity from an International Perspective BT - University Rankings: Theoretical Basis, Methodology and Impacts on Global Higher Education”. In University Rankings, edited by Jung Cheol Shin, Robert K Toutkoushian, and Ulrich Teichler, 229–58. Dordrecht: Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-1116-7_12.

Barbosa, C. E. B., I. J. F. Rocha, G. R. Alves, S. D. Oliveira, F. R. Melo, and S. M. F. Alves. 2022. “Uso da técnica de vizinhança e rede neural artificial na estimativa de necessidade de calagem”. Brazilian Journal of Development, v. 8, 54716–33. <https://doi.org/10.34117/bjdv8n8-001>.

Colaboratory, Google, 2024. Plataforma de Colaboração para Aprendizado de Máquina. Mountain View/Califórnia (EUA): Google Colaboratory. <https://colab.research.google.com>.

Contreras, F. G.; González Gil, E. O. P.; Ortiz, O. L. O.; Merchán, M. A. H., 2021. Nuevas experiencias en gobernanza universitaria.

Cooksey, R. W., 2020. Descriptive Statistics for Summarising Data. In: Illustrating Statistical Procedures: Finding Meaning in Quantitative, 3a ed., Springer Nature, Singapore/Malaia, pp. 61-139. <https://doi.org/10.1007/978-981-15-2537-7>.

Dill, D. D.; Soo, M., 2004. Transparency and Quality in Higher Education Markets. In: Markets in Higher Education: Rhetoric or Reality?, editado por Pedro Teixeira, Ben Jongbloed, David Dill, e Alberto Amaral, Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 61-85. <https://doi.org/10.1007/1-4020-2835->

Dutra e Silva, S.; Pereira, N. S.; Souza, E. F.; Bernardes, C. M. R.; Boggian, L. C. C.; Ventura, A. C. R.; Oliveira, L. V. F.; Oliveira, C. S.; Silva, C. H. M.; Silva, I. O., 2021. Métricas de producción científica y calificación de revistas como objetivos de gestión universitaria. In: Nuevas experiencias en gobernanza universitaria, Universidad Santo Tomás - USTA, Bogotá, Colombia. <https://doi.org/10.15332/li.lib.2022.00320>.

EPE, 2022. Informativo Técnico No 011/2022. Apresentação da metodologia e dos fatores de emissão utilizados para as estimativas de emissão de GEE nos planos de energia, no BEN e demais produtos da EPE. Empresa de Pesquisa Energética, Brasília/DF. <https://www.epe.gov.br/sites-pt/areas-de-atuacao/estudos->

- socioambientais/SiteAssets/Paginas/Emissoes-de-Gases-de-Efeito-Estufa/Informativo%20Tecnico_11-2022_fatores%20de%20emissãoSMA.pdf.
- . 2023. Matriz Energética e Elétrica. Empresa de Pesquisa Energética, Brasília/DF. <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>.
- . EPE, 2024. As principais publicações da EPE. Empresa de Pesquisa Energética. <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes>.
- Equatorial, 2024. Valor de tarifas de serviços. Equatorial Energia. <https://go.equatorialenergia.com.br/valor-de-tarifas-e-servicos/#demais-classes>.
- Espín, C. G. S.; Moyano, L. F. B.; Albán, M. J. A.; Padilla, C. A. P., 2023. Measurement of Indicators of Industrial Food Processes Through Artificial Intelligence. *Journal of Namibian Studies: History Politics Culture*, v. 33, (S2), 4052-4059. <https://doi.org/10.59670/jns.v33i.1086>.
- Fernandes, D. S.; Heinemann, A. B.; Amorim, A. O.; Paz, R. L. F., 2018. Estimativa da Radiação Solar Global com Base em Observações de Temperatura para o Estado de Goiás. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 33, (3), 558-566. <https://doi.org/10.1590/0102-7786333014>.
- Fernandez, G. C. J., 1988. Residual Analysis and Data Transformations: Important Tools in Statistical Analysis. *HortScience*, v. 27. Reno/Nevada - EUA: Department of Agricultural Economics, University of Nevada-Reno. <https://doi.org/10.21273>.
- Fernandes, V., Andreoli, C. V., Bruna, G. C., & Philippi Jr, A. (2021). History and Evolution of the Environmental Management System in Brazil. *Historia Ambiental Latinoamericana Y Caribeña (HALAC) Revista De La Solcha*, 11(2), 275–310. <https://doi.org/10.32991/2237-2717.2021v11i2.p275-310>
- Fimer Ferramentas de Software, 2024. Ferramentas de Software - Instalador para inversores solares. Fimer Ferramentas de Software. <https://www.fimer.com/pt/ferramentas-de-software/instalador-para-inversores-solares>.
- Gopalan, V.; Bakthavatsalam, A. K.; Narasimman, K., 2022. Modelling and Forecasting of 5MW Solar Photovoltaic Plant using Artificial Neural Networks. *Research Square*, 1-24. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2027546/v1>.
- Hamilton, J. D., 1997. Time series analysis. In: *Technometrics*, University of California, San Diego/California (EUA), pp. 101-102. <https://doi.org/10.1080/00401706.1997.10485448>.
- Hazelkorn, E., 2010. Os rankings e a batalha por excelência de classe mundial: estratégias institucionais e escolhas de políticas. *Revista Ensino Superior Unicamp*, v. 1, pp. 43-64.
- Jungwirth, D.; Haluza, D., 2023. Artificial Intelligence and Public Health: An Exploratory Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 20, (5), p. 12. <https://doi.org/10.3390/ijerph20054541>.
- Kalay, M. S.; Kılıç, B.; Mellit, A.; Oral, B.; Sağlam, S., 2023. IoT-Based Data Acquisition and Remote Monitoring System for Large-Scale Photovoltaic Power Plants. In: *Proceedings of the 3rd International Conference on Electronic Engineering and Renewable Energy Systems*, 954o ed., Springer, Singapore, pp. 631-639.
- Kniess, C. T., Sampaio, C. A. C., Philippi Júnior, A., Plonski, G. A., Goldemberg, J., Pádua, J. A., Franco, R. M., Ricupero, R., Bressan Júnior, A., Sobral, M. do C. M., Maglio, I. C., Nobre, C., Andreoli, C. V., Fernandes, V., Mattei, J. F., Ribeiro, W. C., Buckeridge, M. S., & Dutra e

Silva, S. (2022). 50 anos de Estocolmo'72 e 30 Anos da Rio'92: Reflexões sobre o Brasil Contemporâneo e os Desafios para um Futuro Sustentável. *Historia Ambiental Latinoamericana Y Caribeña (HALAC) Revista De La Solcha*, 12(3), 406–437. <https://doi.org/10.32991/2237-2717.2022v12i3.p406-437>

Kwiatkowski, D.; Phillips, P. C. B.; Schmidt, P.; Shin, Y., 1992. Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root. How sure are we that economic time series have a unit root? *Journal of Econometrics*, v. 54, Michigan - EUA. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(92\)90104-Y](https://doi.org/10.1016/0304-4076(92)90104-Y).

Lazzaretti, A. E.; Costa, C. H.; Rodrigues, M. P.; Yamada, G. D.; Lexinoski, G.; Moritz, G. L.; Oroski, E.; et al., 2020. A monitoring system for online fault detection and classification in photovoltaic plants. *Sensors (Switzerland)*, v. 20, (17), pp. 1-30. <https://doi.org/10.3390/s20174688>.

Masoud, E.; Aref, E.; Mohammadreza, A.; Amir, N.; Amir, M.; Moradi, S.; Jafar, M., 2022. Cloud Computing and IoT Based Intelligent Monitoring System for Photovoltaic Plants Using Machine Learning Techniques. *Energies*, v. 15, p. 25. <https://doi.org/10.3390/en15093014>.

Meho, L. I., 2020. Highly prestigious international academic awards and their impact on university rankings. *Quantitative Science Studies*, v. 1, (2), pp. 824-848. https://doi.org/10.1162/qss_a_00045.

MME, 2022. Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional 2022 – Ano base 2021 (BEN 2021). Ministério de Minas e Energia, Brasília/DF. <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2022>.

———. 2023. Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional 2023 – Ano base 2022 (BEN 2022). Ministério de Minas e Energia, Brasília/DF. https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-631/BEN_Síntese_2022_PT.pdf.

Pámanes, A. L.; Urbina, J. A. A.; Ortíz, F. J. C.; Cancino, H. G. C., 2020. The World University Rankings Model Validation and a Top 50 Universities Predictive Model. In: 2020 3rd International Conference on Computer Applications & Information Security (ICCAIS), School of Engineering and Science Instituto Tecnológico de Monterrey, Monterrey, Mexico, pp. 1-5. <https://doi.org/10.1109/ICCAIS48893.2020.9096841>.

PPGSTMA, 2024. Programa de Pós-graduação em Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente. Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente. <https://www4.unievangelica.edu.br/ppg/sociedade-tecnologia-e-meio-ambiente>.

Pyzdek, T., 2021. Descriptive Statistics - Management for Professionals. In: Springer Nature, Part F458, pp. 145-149. https://doi.org/10.1007/978-3-030-69901-7_12.

Rani, S.; Jining, D.; Shah, D.; Xaba, S.; Singh, P. R., 2023. The Potential Application of Artificial Intelligence in Healthcare and Hospitals. *ITM Web of Conferences*, v. 53, p. 01005. <https://doi.org/10.1051/itmconf/20235301005>.

Romero, H. F. M.; Rebollo, M. A. G.; Cardeñoso-Payo, V.; Gómez, V. A.; Plaza, A. R.; Hernández-Callejo, L.; Moyo, R. T., 2022. Applications of Artificial Intelligence to Photovoltaic Systems: A Review. *Applied Sciences (Switzerland)*, v. 12, p. 31. <https://doi.org/10.3390/app121910056>.

Sagala, N. T. M.; Aryatama, F. Y., 2022. Exploratory Data Analysis (EDA): A Study of Olympic Medallist. *Sistemasi: Jurnal Sistem Informase*, v. 11, (3), pp. 578-587. <https://doi.org/10.32520/stmsi.v11i3.1857>.

Salmi, J., 2009. *The Challenge of Establishing World-Class Universities*. World Bank Publications.

http://www.anped11.uerj.br/internacionalizacao/Banco_mundial/thechallengeofestablishingworld-classuniversities.pdf.

Shapiro, S. S.; Wilk, M. B., 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). In: *Biometrika*, Oxford University Press, London-UK, pp. 591-611. <https://doi.org/10.2307/2333709>.

Snedecor, G. W., 1956. *Statistical Methods Applied to Experiments in Agriculture and Biology*. Journal of the Royal Statistical Society, 5a ed. Iowa, USA: The Iowa State University Press. <https://doi.org/10.2307/2981342>.

Spiliotis, E.; Legaki, N. Z.; Assimakopoulos, V.; Doukas, H.; El Moursi, M. S., 2018. Tracking the performance of photovoltaic systems: a tool for minimising the risk of malfunctions and deterioration. *IET Journals: The Institution of Engineering and Technology*, v. 12, (7), pp. 815-822. <https://doi.org/10.1049/iet-rpg.2017.0596>.

Subha, C.; Priya, A. K.; Kalaimani, R.; Sivakumar, V., 2022. Environmental Monitoring and Management. In: *Emerging Technologies and Applications for a Smart and Sustainable World*, 1a ed., Bentham Science Publisher, Netherlands (Online Access), pp. 151-174. <https://doi.org/10.2174/9789815036244122010011>.

Takayanagui, A. D., 2019. La construcción de una agenda de transformación para la universidad en América Latina y el Caribe: Balance y perspectivas de la CRES-2018. *Perfiles Educativos*, v. 41, (163), pp. 203-218. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-26982019000100203.

TJPR, 2024. Calculadora de CO2. Tribunal de Justiça do Estado do Paraná. [https://www.tjpr.jus.br/web/sustentabilidade/calculadoraco2#:~:text=Estudos revelam que a cada,danos causados por esta emissão](https://www.tjpr.jus.br/web/sustentabilidade/calculadoraco2#:~:text=Estudos%20revelam%20que%20a%20cada,danos%20causados%20por%20esta%20emiss%C3%A3o).

Tukey, J. W., 1993. *Exploratory Data Analysis: Past, Present, and Future*. In: Princeton University, Defense Technical Information Center, Washington - EUA. https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as_sdt=0,5&qsp=1&q=j.+w.+tukey+exploratory+data+analysis&qst=ib#d=gs_cit&t=1709169682978&u=%2Fscholar%3Fq%3Dinfo%3Ae6D_97Xo1bkJ%3Ascholar.google.com%2F%26output%3Dcite%26scirp%3D1%26hl%3Dpt-BR.

UniEVANGÉLICA, Universidade Evangélica de Goiás, 2019. UniEVANGÉLICA inaugura maior Estacionamento Solar do país. Universidade Evangélica de Goiás. <https://www4.unievangelica.edu.br/noticia/6525-unievangelica-inaugura-maior-estacionamento-solar-do-pais>.

Yaxi, S.; Chaoran, C.; Hao, Q., 2022. Self-Attentive Moving Average for Time Series Prediction. *Applied Sciences (Switzerland)*, v. 12, p. 12. <https://doi.org/10.3390/app12073602>.

Zulkipli, N. S.; Satari, S. Z.; Wan Yusoff, W. N. S., 2020a. Descriptive analysis of circular data with outliers using Python programming language. *Data Analytics and Applied Mathematics (DAAM)*, v. 1, (1), pp. 31-36. <https://doi.org/10.15282/daam.v1i01.5085>.

8.3 Cópia original do artigo - Análise da qualidade da energia gerada pela UF-Uni, submetido à Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade – *Journal of Environmental Management & Sustainability (GeAS)*.

Estudo da performance e qualidade de energia elétrica gerada pela Usina Fotovoltaica da Universidade Evangélica de Goiás - UniEVANGÉLICA

Resumo

Objetivo: Avaliar a eficiência energética e a conformidade da Usina Fotovoltaica da UniEVANGÉLICA (UF-Uni) com os padrões de qualidade, monitorando indicadores e variáveis operacionais para sugerir otimizações na operação e promover um fornecimento energético sustentável.

Metodologia: O estudo foi realizado na usina fotovoltaica no campus da Universidade Evangélica de Goiás, em Anápolis/GO. Analisamos indicadores de geração de energia de 2020 a 2023 e a qualidade da energia de 20 de julho a 8 de agosto de 2022. Durante esse período, os indicadores foram monitorados com Analisadores de Energia e comparados com as normativas do PRODIST, Módulo 8.

Originalidade/Relevância: Este estudo fornece subsídios para otimizar a geração e qualidade da energia em usinas fotovoltaicas, promovendo sustentabilidade energética e informando políticas públicas. Reforça a importância da educação ambiental e tecnologias avançadas para melhorar a eficiência e a qualidade de vida.

Resultados: O estudo revelou *insights* sobre eficiência energética e variabilidade das energias renováveis. Os indicadores de geração de 2020 a 2023 seguiram distribuição normal, sem tendência de crescimento, apresentaram sazonalidades e altos resíduos. Nas análises de performance, a UF-Uni enfrentou baixos indicadores de geração, picos de distorção harmônica e eficiência abaixo do ideal, mas demonstrou robustez e conformidade com o PRODIST. Práticas de manutenção adequadas e tecnologias avançadas são essenciais para melhorar a geração e a qualidade da energia.

Contribuições sociais: Os resultados poderão otimizar a gestão das usinas fotovoltaicas, implementando práticas de manutenção e tecnologias avançadas, promovendo sustentabilidade energética e apoiando políticas públicas voltadas à adoção de energias renováveis.

Palavras-chave: sustentabilidade, eficiência, conformidade, PRODIST, meio ambiente

Resumen

Objetivo: Evaluar la eficiencia energética y la conformidad de la Planta Fotovoltaica de UniEVANGÉLICA (UF-Uni) con los estándares de calidad, monitoreando indicadores y variables operacionales para sugerir optimizaciones en la operación y promover un suministro energético sostenible.

Metodología: El estudio se realizó en la planta fotovoltaica del campus de la Universidad Evangélica de Goiás, en Anápolis/GO. Analizamos los indicadores de generación de energía de 2020 a 2023 y la calidad de la energía del 20 de julio al 8 de agosto de 2022. Durante este

período, los indicadores fueron monitoreados con analizadores de energía y comparados con las normativas de PRODIST, Módulo 8.

Originalidad/Relevancia: Este estudio proporciona información valiosa para optimizar la generación y calidad de la energía en plantas fotovoltaicas, promoviendo la sostenibilidad energética e informando políticas públicas. Refuerza la importancia de la educación ambiental y las tecnologías avanzadas para mejorar la eficiencia y la calidad de vida.

Resultados: El estudio reveló conocimientos sobre la eficiencia energética y la variabilidad de las energías renovables. Los indicadores de generación de 2020 a 2023 siguieron una distribución normal, sin tendencia de crecimiento, presentaron estacionalidades y altos residuos. En los análisis de rendimiento, UF-UNI enfrentó bajos indicadores de generación, picos de distorsión armónica y eficiencia por debajo del ideal, pero demostró robustez y conformidad con PRODIST. Las prácticas de mantenimiento adecuadas y las tecnologías avanzadas son esenciales para mejorar la generación y la calidad de la energía.

Contribuciones Sociales: Los resultados podrán optimizar la gestión de las plantas fotovoltaicas, implementando prácticas de mantenimiento y tecnologías avanzadas, promoviendo la sostenibilidad energética y apoyando políticas públicas orientadas a la adopción de energías renovables.

Palabras clave: sostenibilidad, eficiencia, conformidad, PRODIST, medio ambiente

Study on the Performance and Quality of Electrical Energy Generated by the Photovoltaic Plant of Universidade Evangélica de Goiás - UniEVANGÉLICA

Abstract

Objective: To evaluate the energy efficiency and compliance of the UniEVANGÉLICA Photovoltaic Plant (UF-Uni) with quality standards by monitoring performance indicators and operational variables to suggest optimizations in operation and promote sustainable energy supply.

Methodology: The study was conducted at the photovoltaic plant located on the campus of Universidade Evangélica de Goiás, in Anápolis/GO. We analyzed energy generation indicators from 2020 to 2023 and the quality of energy from July 20 to August 8, 2022. During this period, the indicators were monitored using Energy Analyzers and compared with the standards of PRODIST, Module 8.

Originality/Relevance: This study provides insights for optimizing energy generation and quality in photovoltaic plants, promoting energy sustainability and informing public policies. It reinforces the importance of environmental education and advanced technologies to improve efficiency and quality of life.

Results: The study revealed valuable insights into energy efficiency and the variability of renewable energies. The generation indicators from 2020 to 2023 followed a normal distribution, showed no growth trend, and presented seasonality and high residuals. In performance analyses, UF-UNI faced low generation indicators, isolated peaks of harmonic distortion, and efficiency below ideal levels but demonstrated robustness and compliance with PRODIST. Proper maintenance practices and advanced technologies are essential to improving energy generation and quality.

Social Contributions: The results can be used to optimize the management of photovoltaic plants by implementing maintenance practices and advanced technologies, promoting energy sustainability, and supporting public policies aimed at adopting renewable energies.

Keywords: sustainability, efficiency, compliance, PRODIST, environment

Estudio sobre el rendimiento y la calidad de la energía eléctrica generada por la Planta Fotovoltaica de la Universidad Evangélica de Goiás - UniEVANGÉLICA

Introdução

Recentemente, a comunidade científica celebrou marcos significativos como o cinquentenário da Conferência de Estocolmo, realizada em 1972, e a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente, conhecida como Rio 92. Esses eventos destacaram a importância da sustentabilidade alimentar e energética em face do crescimento populacional global, moldando as agendas de desenvolvimento sustentável mundial.

A preocupação global com desafios ambientais expandiu-se, abrangendo políticas, legislação, sistemas de gestão, inovação científica e tecnológica. Esses elementos foram essenciais para que o desenvolvimento sustentável se tornasse uma prioridade. Kniess et al. (2022) afirmam que, ao refletir sobre os eventos de 1972, é importante considerar um cenário cheio de contradições, vitórias e fracassos, envolvendo todos os segmentos sociais no debate sobre o desenvolvimento sustentável, destacando a necessidade de pensar globalmente e agir localmente.

Fernandes et al. (2021) ressaltam que o desenvolvimento sustentável surgiu como um movimento sociopolítico preocupado com a poluição industrial e a contaminação ambiental. A partir de 1972, uma agenda internacional propôs sistemas de gestão ambiental, levando países a estabelecerem marcos legais e institucionais.

Dentro do desenvolvimento sustentável, a segurança energética e a busca por fontes alternativas de energia são essenciais. A energia elétrica, gerada a partir de fontes como água, vento, sol, combustíveis fósseis e urânio, é indispensável para o desenvolvimento das sociedades modernas. Sua conversão e utilização desempenham um papel determinante na vida cotidiana, sendo fundamental para o funcionamento das cidades e indústrias.

Este estudo investiga a eficiência energética e a conformidade com padrões de qualidade da Usina Fotovoltaica da UniEVANGÉLICA (UF-Uni), instalada no telhado de um dos estacionamentos do campus universitário. O objetivo é avaliar a eficiência energética e a conformidade da UF-Uni com os padrões de qualidade, monitorando indicadores e variáveis operacionais para sugerir otimizações na operação e promover um fornecimento energético sustentável.

A geração de energia elétrica evoluiu por meio de uma matriz diversificada de tecnologias, cada uma adaptada a uma fonte específica. As usinas fotovoltaicas se destacam pela capacidade de converter luz solar em eletricidade usando células fotovoltaicas. A integração dessas usinas ao sistema elétrico pode ser feita por meio de arranjos *on-grid* (conectados à rede), que contribuem para o sistema geral, ou sistemas *off-grid* (não conectados à rede), que são independentes e ideais para regiões sem infraestrutura elétrica estabelecida.

A produção de energia fotovoltaica é diretamente influenciada pela irradiação solar, sendo áreas com alta exposição solar mais adequadas para o desenvolvimento de usinas eficientes. Portanto, a avaliação da irradiação solar e sua correlação com a

eficácia da produção energética são essenciais para assegurar o retorno sobre o investimento e sustentar operações a longo prazo.

A qualidade da energia gerada, definida pela regularidade e estabilidade de características como frequência e tensão, é de extrema importância. Altos padrões de qualidade energética garantem a eficácia e segurança do abastecimento elétrico, evitando danos a dispositivos conectados. Conforme estipulado no Módulo 8 do PRODIST - Qualidade do Fornecimento de Energia Elétrica, é fundamental que as usinas fotovoltaicas operem dentro de parâmetros que assegurem eficiência e conformidade com os regulamentos de qualidade.

Com este estudo, propomos contribuir com sugestões para um fornecimento energético sustentável e confiável, delineando práticas que otimizem a operação da usina e garantam seu alinhamento com os padrões de qualidade de energia. Ao enfatizar a importância da qualidade energética e eficiência operacional, espera-se não apenas atender aos critérios regulatórios, mas também promover práticas que reforcem a estabilidade e resiliência do sistema energético diante das flutuações de demanda e produção. Nossa análise fornece *insights* sobre a gestão eficaz da produção fotovoltaica, incluindo estratégias de manutenção e harmonização com o sistema de rede, reforçando a importância da energia solar na transição para um futuro energético sustentável.

Revisão da Literatura

Conceitos de energia

A Primeira Lei da Termodinâmica estabelece que a energia em um sistema é constante, podendo apenas mudar de forma, mas não ser criada ou destruída. Este princípio é fundamental para entender as interações entre diferentes formas de energia, como mecânica, térmica, elétrica e magnética, sendo determinantes em áreas como física e engenharia (Borges & Carvalho, 2012; Daane et al., 2013; Hanlon, 2020; Moran et al., 2018). No contexto da geração fotovoltaica, a energia pode ser injetada na rede como corrente alternada (AC) ou armazenada como corrente contínua (DC) (Boso et al., 2015; Subramaniam et al., 2020).

Já Segunda Lei da Termodinâmica, que trata da entropia e da degradação energética, destaca a importância da eficiência energética e da busca por processos que minimizem a perda de energia útil. Em alinhamento com o princípio de conservação de energia, adotamos as expressões "produção" e "geração" de energia elétrica, reforçando nosso compromisso com a precisão terminológica (Borges & Carvalho, 2012; Smith et al., 2005).

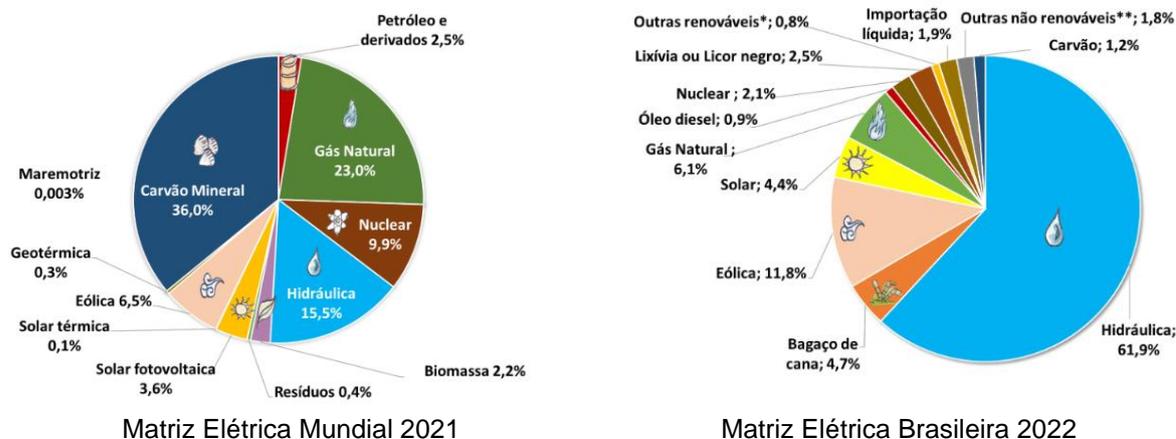
Diversificação da Matriz Energética e o Avanço da Energia Fotovoltaica em Goiás e no Brasil

A diversificação da matriz energética é fundamental para o desenvolvimento sustentável, adaptando-se às dinâmicas econômicas, sociais e culturais da sociedade contemporânea (ABRASOLAR, 2024). Embora a matriz elétrica global dependa de fontes não renováveis, o Brasil se destaca por sua matriz energética predominantemente renovável, como a geração hidráulica e eólica, que enfrentam desafios socioambientais. Em contraste, a energia fotovoltaica representa uma opção sustentável, com 44% da matriz energética nacional, destacando-se pela geração limpa e facilidade de implementação (ANEEL, 2024; EPE, 2023, 2024a).

Conforme ilustrado na Figura 1, a composição das matrizes elétricas mundial e brasileira reflete essas diferenças.

Figura 1

Composição das Matrizes Elétricas Mundial e Brasileira



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2024a)

O Plano Decenal de Expansão de Energia prevê um aumento no consumo de energia no Brasil, impulsionado pela autoprodução em diversos setores, especialmente após a pandemia da Covid-19 (EPE, 2024a; FMI, 2023; IEA, 2022). O estado de Goiás, com 13 usinas hidrelétricas operando abaixo da capacidade ideal, destaca a necessidade da diversificação energética. Usinas como Furnas/Itumbiara, São Simão e Serra da Mesa apresentaram baixos volumes de reservatório e geração em 2021 (G1, 2021; ONS, 2024).

Há uma escassez de pesquisas sobre a eficiência e o impacto ambiental das usinas fotovoltaicas, especialmente em Goiás. Essas usinas são promissoras para o cenário energético brasileiro, apoiadas por avanços tecnológicos e pela demanda por desenvolvimento sustentável (Castro et al., 2020; Lopes, 2020). A transição para uma matriz energética diversificada, enfatizando a energia fotovoltaica, é essencial para o futuro energético sustentável do Brasil. Goiás, especialmente o município de Anápolis, onde está instalada a Usina Fotovoltaica (UF) em estudo, possui uma irradiação solar média de 5,7 kWh/m² e velocidades de vento de até 5,7 m/s, situando-se numa região privilegiada para a geração solar, conhecida como o “Cinturão do Sol” (ALBA, 2022; ANEEL, 2005, 2024; Portal Solar, 2024).

A história da civilização está intrinsecamente ligada ao desenvolvimento de métodos de conversão de energia, aumentando o controle sobre diversas fontes e elevando o consumo energético. As fontes de geração elétrica se categorizam em Geração Centralizada (GC), dominada por grandes usinas, como hidrelétricas e termoelétricas, e Geração Distribuída (GD), que se aproxima mais dos consumidores e abrange sistemas tanto renováveis quanto não renováveis (Pereira, 2019; Yoon, 2023).

A transição para um sistema energético sustentável é impulsionada por avanços tecnológicos e pela crescente demanda por fontes renováveis, como a energia solar fotovoltaica, motivada pela abundante irradiação solar no Brasil e pela redução dos custos de implementação. Este tipo de energia se destaca no Brasil, favorecido pela extensa área territorial e alta irradiação solar, propiciando a instalação de sistemas fotovoltaicos (Portal Solar, 2024). A queda nos preços dos equipamentos

fotovoltaicos e o aumento das tarifas elétricas incentivam os investimentos em usinas solares (Rigo et al., 2020).

Logo, a partir dessas métricas, o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDEE) previa que a capacidade instalada de energia solar no Brasil atingiria 8.300 MW até 2024, dividida entre 7.000 MW de geração centralizada e 1.300 MW de geração distribuída, refletindo o potencial e a importância crescente da energia solar no mix energético nacional (EPE, 2024b). Esses dados e indicadores representam os planejamentos iniciais, no entanto, pesquisas mais recentes apontam que o Brasil já ultrapassou essa meta, com a capacidade instalada de energia solar superando 40 GW, sendo aproximadamente 27.5 GW provenientes de sistemas de geração distribuída e cerca de 12.5 GW de grandes usinas solares centralizadas, destacando o rápido crescimento e a importância dessa fonte de energia no país (EnergyTrend, 2024; pv magazine, 2024).

Geração de Energia Elétrica pelo Processo Fotovoltaico: A distinção da Usina Fotovoltaica da UniEVANGÉLICA em alinhar lucratividade com missão educacional e sustentabilidade

O processo de geração de energia solar fotovoltaica envolve a conversão direta da luz solar em eletricidade através do efeito fotovoltaico, onde fótons (partículas de luz) ao atingirem células fotovoltaicas, normalmente de silício, provocam o deslocamento de elétrons e geram corrente elétrica contínua. As instalações solares são divididas em *Off-grid* (sistemas autônomos que armazenam energia em baterias) e *On-grid* (sistemas conectados à rede elétrica, permitindo o intercâmbio de energia), devendo ser cuidadosamente localizadas considerando aspectos técnico-econômicos para maximizar a eficiência e rentabilidade (Boso et al., 2015; Kohle et al., 2021; Subramaniam et al., 2020).

As usinas fotovoltaicas comuns são instaladas em telhados e no solo, sendo comumente denominadas parques solares. Elas também podem ser instaladas como usinas solares flutuantes, aproveitando espelhos d'água em lagos e estações de tratamento. Essas instalações visam não apenas a economia e a independência da rede elétrica, mas também são destacadas pelos benefícios ambientais, científicos e sociais (Lopes, 2020; M. Mendonça et al., 2020; Pereira, 2019; Rediske, 2019; Souza & Oliveira, 2019). Diferentemente, a Usina Fotovoltaica da UniEVANGÉLICA, Figura 2, além de sua função primária de geração de energia, atua como um laboratório para pesquisas em energias renováveis, fomentando a educação e a sustentabilidade.

Figura 2

Usina Fotovoltaica da UniEVANGÉLICA



Fonte: (UNIEVANGÉLICA, 2019b)

Inaugurada em 2019, a UF-Uni, também conhecida como “Usina Urbana *Carport*”, foi reconhecida como o maior estacionamento solar do Brasil naquela época, cobrindo uma área de 5.655 m² e com capacidade para cerca de 700 carros. Construída no sistema *on-grid*, equipada com 2900 módulos fotovoltaicos e 29 inversores em 29 arranjos/*strings*, a usina tem uma capacidade nominal de 971,5 kW pico, produzindo em média 3,44 MW por dia, sendo projetada para atender ao menos 40% da demanda energética da instituição (Boggian, 2023; UniEVANGÉLICA, 2019).

O projeto de construção da usina foi realizado em parceria com Centrais Elétricas de Goiás - Distribuição S.A (CELG D) por meio de participação da Chamada Pública PEE CELG D Nº 002/2016, com a Instituição arcando com aproximadamente 15% do investimento. Algumas das contrapartidas para que o projeto fosse aprovado incluíram: uso consciente de energia elétrica (substituição das lâmpadas e dispositivos elétricos/eletrônicos por modelos modernos e mais eficientes); quesito ambiental (gerar energia elétrica de forma limpa e sustentável); e pedagógico (laboratório a céu aberto de um parque fotovoltaico) (CELG D, 2016).

Assim, esse projeto consolidou e apoiou iniciativas da instituição em educação, sustentabilidade, missão institucional e produção de energia limpa e sustentável. Em 2021, a UniEVANGÉLICA intensificou seus esforços de inovação com a criação do Laboratório de Eficiência Energética Fotovoltaica (LEEFoto), aprovado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG). Este laboratório foca na viabilidade de micro usinas fotovoltaicas e na disseminação do conhecimento sobre energia renovável, destacando a distinção da usina em alinhar lucratividade com missão educacional e sustentabilidade (UniEVANGÉLICA, 2021, 2024).

Com o apoio da FAPEG e de outros colaboradores, o LEEFoto tornou-se um centro de excelência em tecnologia solar, proporcionando treinamento, incubação de projetos e consultoria em eficiência energética, alinhando-se com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU). Após 2 anos e 20 dias da inauguração da usina, a UniEVANGÉLICA alcançou outro marco em sua jornada de sustentabilidade com a inauguração do LEEFoto em 29/10/2021.

Qualidade de Energia em Sistemas Elétricos

A qualidade da energia elétrica é essencial para o funcionamento eficaz dos sistemas elétricos, influenciando diretamente o desempenho e a eficiência dos equipamentos. Define-se pela estabilidade das tensões de barramento, que devem manter formas senoidais com magnitudes e frequências nos padrões nominais (Alshareef, 2022; Borges & Carvalho, 2012).

Distúrbios na qualidade da energia podem ser originados tanto nas instalações de concessionárias quanto nos sistemas dos consumidores. Tais distúrbios afetam a eficiência e a confiabilidade dos dispositivos, aumentando os custos operacionais. Distorções harmônicas, provocadas por cargas não lineares, e transientes de comutação são particularmente prejudiciais. Portanto, é fundamental analisar com precisão a tensão de barramento e a corrente de linha, implementando medidas para reduzir a poluição harmônica e os efeitos dos transientes. Esta análise é apoiada por estudos e regulamentações específicas, como os definidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) através do PRODIST (ANEEL, 2017).

O módulo 8 do PRODIST delinea procedimentos para a obtenção de uma adequada Qualidade de Energia Elétrica (QEE). Este regulamento não apenas define

os padrões que as concessionárias devem seguir, mas também estabelece responsabilidades e assegura a conformidade das infraestruturas elétricas com os critérios de qualidade estabelecidos, fomentando um sistema energético eficiente e sustentável (ANEEL, 2017; Castro et al., 2020; INMETRO, 2024).

Além disso, estudos sobre a qualidade de energia em sistemas fotovoltaicos são extensivos na literatura acadêmica, destacando-se as investigações que exploram o impacto das energias renováveis, incluindo a solar fotovoltaica, na qualidade da energia em redes inteligentes. Pesquisas como as de Tsoukalas e Gao (2008), Villalva, Gazoli e Filho (2009) e Woyte et al. (Woyte et al., 2013) fornecem análises técnicas da geração fotovoltaica e suas questões de qualidade de energia. Estes estudos enfatizam a importância do monitoramento e gestão de sistemas fotovoltaicos para melhorar a qualidade da energia, assim como discutem técnicas de mitigação em sistemas conectados à rede.

Variação e Desequilíbrio de tensão

Variações e desequilíbrios de tensão podem causar danos aos aparelhos, levando a PRODIST a estabelecer níveis aceitáveis de tensão, valores esses apresentados na Tabela 1.

Tabela 1

Pontos de conexão em Tensão Nominal igual ou inferior a 1 kV (220/110)

Status da Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de Variação da Tensão de Leitura em (Volts) - V
Adequada	$(202 \leq TL \leq 231) / (101 \leq TL \leq 116)$
Precária	$(191 \leq TL \leq 202 \text{ ou } 231 \leq TL \leq 233)$ $(96 \leq TL < 101 \text{ ou } 116 < TL \leq 117)$
Crítica	$(TL < 191 \text{ ou } TL > 233) / (TL < 96 \text{ ou } TL > 117)$

Legenda: TL = Tensão de Linha.

Fonte: Adaptado de ANEEL (2017)

O desequilíbrio entre tensões também é um fator bastante relevante, visto que valores acentuados podem afetar e diminuir a vida útil de transformadores de distribuição. Como predito em norma, o fator de desequilíbrio é relacionado na Fórmula 1:

$$FD\% = \frac{-Ve}{+Ve} \times 100 \quad (1)$$

Em que:

FD: Fator de Desequilíbrio (relaciona a magnitude da tensão eficaz de sequência negativa da frequência fundamental)

$-Ve$ = sequência negativa

$+Ve$ = sequência positiva

Distúrbios harmônicos são significativos na avaliação da qualidade da energia elétrica, impactando o desempenho e a eficiência dos equipamentos. As regulamentações da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), conforme apresentado na Tabela 2, estabelecem os limites para esses distúrbios, baseando-se em suas características e impactos. A quantificação desses distúrbios harmônicos é

feita através de fórmulas específicas, que ajudam a estruturar estratégias de mitigação e gestão da qualidade de energia (ANEEL, 2017; CASTRO et al., 2020).

Tabela 2

Classificação das Variações de Tensão de Curta Duração

Classificação	Denominação	Duração da Variação	Amplitude da tensão (valor eficaz - p.u) em relação à tensão de referência
Variação Momentânea de Tensão	Interrupção Momentânea de Tensão	Inferior ou igual a três segundos	Inferior a 0,1 p.u
	Afundamento Momentâneo de Tensão	Superior ou igual a um ciclo e inferior ou igual a três segundos	Superior ou igual a 0,1 e inferior a 0,9 p.u
	Elevação Momentânea de Tensão	Superior ou igual a um ciclo e inferior ou igual a três segundos	Superior a 1,1 p.u
Variação Temporária de Tensão	Interrupção Temporária de Tensão	Superior a três segundos e inferior a três minutos	Inferior a 0,1 p.u
	Afundamento Temporário de Tensão	Superior a três segundos e inferior a três minutos	Superior ou igual a 0,1 e inferior a 0,9 p.u
	Elevação Temporária de Tensão	Superior a três segundos e inferior a três minutos	Superior a 1,1 p.u

Fonte: Adaptado de ANEEL (2017)

Fator de Potência

O fator de potência (FP), que indica a eficiência com que a energia é utilizada, aumenta a demanda de corrente devido às características reativas da carga, impactando a rede elétrica e exigindo maior capacidade de geração. Calcula-se o FP pela Fórmula 2, relacionando potência ativa (P) e reativa (Q), com valores aceitáveis entre 0,92 e 1,00 (ANEEL, 2017).

$$FP = \frac{P}{\sqrt{P^2+Q^2}} \quad (2)$$

Em que:

FP: Fator de Potência

P = Potência Ativa

Q = Potência Reativa

Logo, os valores do fator de potência são previstos na PRODIST 8 com valores aceitáveis indutivo e capacitivo que variam de 0,92 a 1,00.

Distúrbios harmônicos

Os distúrbios harmônicos, causados por dispositivos eletrônicos que alteram a forma de onda da tensão ou corrente, podem diminuir a vida útil de equipamentos e exigir dimensionamento adicional dos condutores. A ANEEL estabelece limites para esses distúrbios para garantir a eficiência e proteção dos sistemas elétricos. Para quantificá-los, utiliza-se a Distorção Harmônica Individual (DITH%) e a Distorção

Harmônica Total (DTT%), calculadas pelas Fórmulas 3 e 4, respectivamente, avaliando a magnitude e frequência das oscilações harmônicas (ANEEL, 2017).

$$DIT^h\% = \frac{V_h}{V_1} \times 100 \quad (3)$$

$$DTT\% = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{max}} V_h^2}}{V_1} \times 100 \quad (4)$$

Em que:

DIT = Distorção Harmônica Individual

DTT = Distorção Harmônica Total

V_h = Tensão Harmônica de Ordem h

V₁ = Tensão Fundamental Medida

Metodologia

Este estudo foi desenvolvido a partir da análise da performance e da qualidade da energia elétrica gerada pela Usina Fotovoltaica da Universidade Evangélica de Goiás (UF-Uni), instalada no telhado de um dos estacionamentos do campus da Instituição, localizada na Avenida Universitária, Km 3,5, em Anápolis, Goiás, Brasil. O município de Anápolis-Goiás, conforme citado anteriormente, situado a uma altitude de 1017 metros e com coordenadas de 16°17'39.1" de latitude e 48°56'36.1" de longitude, apresenta velocidade de até 5,7 m/s, irradiação solar média de 5,7 kWh/m² - considerado como "Cinturão do Sol" (ALBA, 2022; Portal Solar, 2024).

As pesquisas teóricas foram realizadas nos laboratórios de informática do Programa de Pós-Graduação em Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente (PPGSTMA) da UniEVANGÉLICA. Os acessos às plataformas especializadas permitiram-nos coletar informações pertinentes, conduzindo-nos a um processo de seleção de documentos acadêmicos. Selecionamos artigos, notas técnicas, dissertações de mestrado e teses de doutorado que estavam em consonância com os objetivos da pesquisa, que englobavam a compreensão das definições e métodos de geração de energia, com foco particular nas UFs e nos fatores influenciadores da geração, como a irradiação. Também abordamos a qualidade da energia, a identificação e análise técnica dos principais problemas na geração e os impactos da injeção de energia na rede.

As pesquisas práticas foram realizadas no Laboratório de Eficiência Energética Fotovoltaica (LEEFoto), focando em dois aspectos importantíssimos da UF-Uni: a Análise dos Indicadores de Geração e os Estudos da Performance e Qualidade da energia gerada.

Os estudos relativos aos indicadores de geração da usina fotovoltaica em estudos, no período de 2020 a 2023, foram fundamentados nos dados gerenciados e monitorados pelo *software* Fimer[®] (Plant Viewer - Aurora Vision - versão 3.7). Este *software* é responsável pela gestão e supervisão da produção energética da usina.

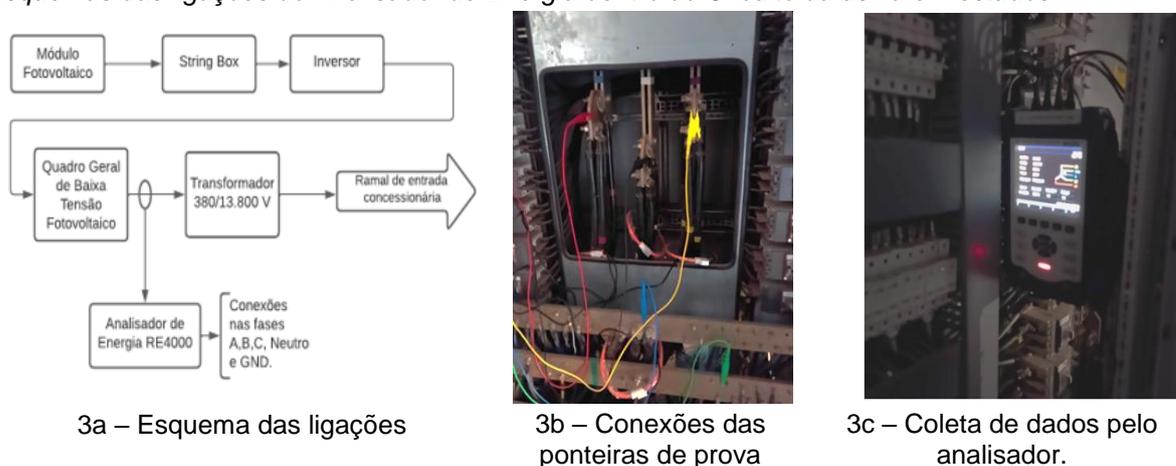
Configuramos o *software* Fimer[®] para monitorar os dados de geração a cada 10 minutos, permitindo a visualização dos relatórios por meio de telas de monitoramento (Sistemas Supervisórios) e disponibilizando a exportação dos dados em formatos como .xls, .csv, .pdf, entre outros. Para a organização e análise dos dados de geração, esses indicadores foram consolidados e tratados em planilhas de Excel.

Para a análise da performance e da qualidade da energia gerada pela usina, utilizamos os analisadores de energia. Especificamente, o analisador RE 4000 mede variáveis elétricas fundamentais, tais como fator de potência, harmônicos, frequência, tensão, corrente, potência ativa, reativa e aparente. Sua parametrização flexível facilita a adequação às normas da ANEEL, garantindo a conformidade das medições com as normativas (ANEEL, 2017).

Entre os dias 20 de julho e 8 de agosto de 2022, realizamos medições, conectando os analisadores de energia ao ponto de derivação entre o Quadro Geral de Baixa Tensão Fotovoltaico (QGBTf) e o Transformador de Média/Baixa Tensão (MT/BT). Esta configuração foi essencial para assegurar a confiabilidade dos dados coletados de todas as *strings* da instalação fotovoltaica. As Figuras 3 (a, b e c) detalham as conexões do analisador, incluindo os esquemas de ligação e a coleta de dados em ação. O analisador de energia (Marca: Embrasul, modelo RE 4000) foi cordialmente disponibilizado pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), por meio da Faculdade de Tecnologia SENAI Roberto Mange.

Figura 3 (a, b e c)

Esquemas das ligações do Analisador de Energia dentro do Circuito da usina em estudos



3a – Esquema das ligações

3b – Conexões das ponteiras de prova

3c – Coleta de dados pelo analisador.

Fonte: Adaptado de Mendonça et al., (2022)

Para garantir uma análise abrangente, configuramos os equipamentos de análise de energia para operar continuamente de 20 de julho a 8 de agosto de 2022, realizando medições em intervalos de 10 minutos, conforme as diretrizes do módulo 8 do PRODIST (ANEEL, 2017). Essa extensa coleta de dados nos proporcionou um volume significativo de leituras, permitindo uma avaliação robusta de vários parâmetros elétricos. No entanto, focamos com maior ênfase nas seguintes variáveis:

- Valores Eficazes das Tensões (VRMS) das três linhas do sistema trifásico;
- Distorção Harmônica Total de Tensão (VTHD);
- Valor Eficaz da Corrente (IRMS);
- Distorção Harmônica Total de Corrente (ITHD);
- Potência Ativa (P);
- Potência Reativa (Q);
- Fator de Potência Total (TPF);
- Deslocamento do Fator de Potência (DPF);
- Energia gerada.

De acordo com o Módulo 8 do PRODIST, esses parâmetros são essenciais para entender não apenas a eficiência operacional da UF-Uni, mas também para assegurar que a energia produzida atende às normas de qualidade e segurança energética, fundamentais para a integração efetiva com a rede elétrica local (ANEEL, 2017).

Após a coleta dos dados, analisamos detalhadamente as grandezas elétricas, comparando-as com os limites do PRODIST e os valores nominais, para avaliar a qualidade da energia gerada e injetada. Os dados coletados e as análises realizadas formam a base para a próxima seção - Resultados e Discussões, onde detalhamos como essas medidas afetam a performance geral da usina e discutimos maneiras de otimizar a geração de energia com base nos padrões observados.

Resultados e Discussões

Nesta seção, são apresentados os resultados e discussões do estudo, estruturados em duas etapas principais: inicialmente, a análise dos indicadores de geração da usina fotovoltaica da UniEVANGÉLICA de 2020 a 2023; posteriormente, a avaliação dos estudos sobre a *performance* e a qualidade da energia elétrica gerada.

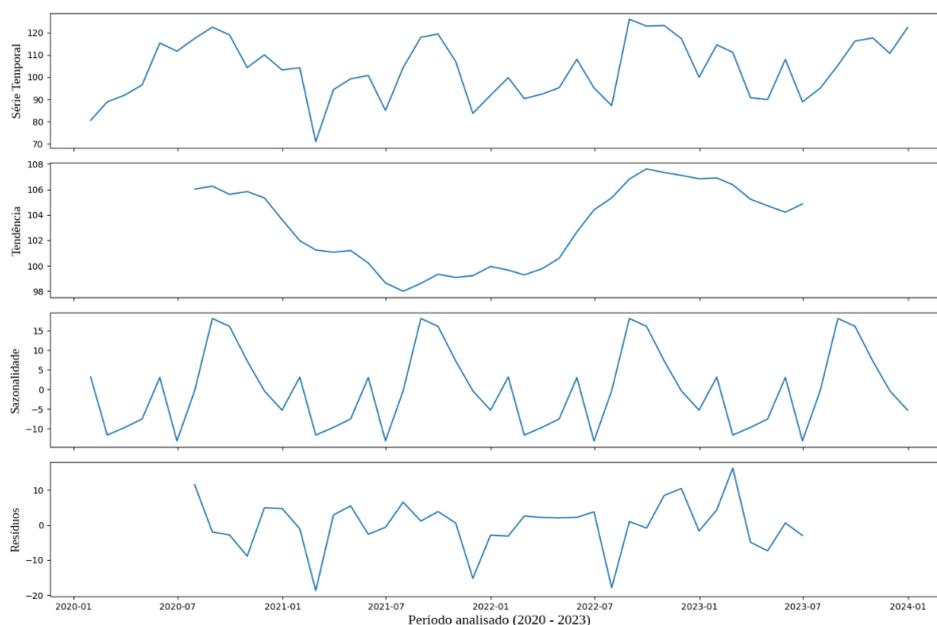
Análise sintetizada dos Indicadores de Geração da UF-Uni entre 2020 a 2023

Os indicadores de geração ao longo do período indicado foram meticulosamente analisados, e os resultados são apresentados nos trabalhos de Dias et al., (2024), submetidos para publicação. No entanto, de forma resumida, apresentamos os resultados na Figura 4 e discutimos logo após.

A análise exploratória dos dados foi realizada utilizando técnicas de séries temporais e a linguagem de programação *Python* no *Google Colaboratory*[®] (2024). Esta parte do estudo permite uma avaliação detalhada das flutuações temporais na geração de energia, oferecendo *insights* sobre padrões sazonais e tendências.

Figura 4

Representação da decomposição da Série Temporal (Série Temporal, Tendência, Sazonalidade e Resíduos)



Fonte: Elaboração própria com base nos Relatórios de Medição e Verificação da UF-Uni.

Ao examinarmos as curvas apresentadas na Figura 4, destacamos os seguintes pontos de análise:

- **Série Temporal:** A UF-Uni alcançou sua produção máxima em setembro de 2022, com um valor de 125,9 MWh. A maior média de geração foi alcançada em 2023, resultado de ações gerenciais como monitoramento contínuo, manutenção preventiva e planejamento sazonal. As maiores produções ocorrem de agosto a dezembro, alinhando-se com os estudos de Fernandes et al. (2018).
- **Tendência:** Observam-se variações ao longo do tempo, sem uma tendência de crescimento consistente. Picos de produção de até 108 MWh e vales de 98 MWh sugerem possível variação sazonal na produção de energia.
- **Sazonalidade:** A curva de Sazonalidade indica menor geração nos meses iniciais do ano e maior nos finais, corroborando estudos de Lazzaretti et al. (2020) e Zamudio et al. (2023) sobre a importância do monitoramento em usinas fotovoltaicas.
- **Resíduos:** A curva de Resíduos mostra variações de -20 a 10 MWh, indicando flutuações não capturadas pelo modelo de série temporal, sugerindo a necessidade de análises adicionais para entender esses fatores influenciadores.

Dias, Souza, Dutra e Silva (2024), em estudo submetido para publicação (*private communications*), examinaram o comportamento dos dados e evidenciaram que os números de geração da UF-Uni seguem uma distribuição normal. Essa constatação foi feita por meio do teste de QQ Plot e confirmada pelo teste de Shapiro e Wilk (1965), que resultou em uma estatística de teste de 0.96912 e um p-valor de 0.23396. Como o p-valor foi superior ao nível crítico de 0.05, não rejeitaram a hipótese nula, concluindo que os indicadores de geração podem seguir uma distribuição normal. Além disso, os autores realizaram o teste de Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin KPSS (1992). Com uma estatística de teste de 0.1227 e um nível crítico de 0.4630 a 5% de significância, concluíram que os indicadores de geração são estacionários.

A partir da análise estatística descritiva e exploratória, conclui-se que os dados de geração da UF-Uni seguem uma distribuição normal, estão livres de outliers e não exibem tendências de geração positiva ou negativa. Observou-se uma geração média anual estável de 103,4 MWh, atingindo um pico de 105,8 MWh em 2023. Portanto, os dados de geração demonstram um comportamento previsível e foram gerenciados de forma eficiente ao longo do período analisado.

Estudo da *Performance* e Qualidade da Energia Elétrica Gerada pela Usina Fotovoltaica da Universidade Evangélica de Goiás (UniEVANGÉLICA)

Entre 20 de julho e 8 de agosto de 2022, instalamos os Analisadores de Energia nos circuitos de geração da usina fotovoltaica, conforme ilustrado na Figura 3 (a, b, c) – item metodologia. Programamos estes dispositivos para registrar leituras em intervalos de dez minutos, resultando em um total de 2.768 registros durante o período especificado. Este intervalo incluiu dias úteis, finais de semana e o recesso escolar, oferecendo uma perspectiva ampla para avaliarmos a eficiência energética sob variadas condições de demanda.

A configuração dos instrumentos foi estrategicamente escolhida para capturar a variabilidade nas condições de geração de energia, tanto durante o dia quanto sob

diferentes condições climáticas. Esta abordagem meticulosa é essencial para atender aos requisitos da ANEEL, conforme estipulado pelo Programa de Eficiência da Distribuição – PRODIST (2017). Especificamente, o módulo 8 do PRODIST delinea procedimentos para assegurar uma QEE adequada, ressaltando a importância de um fornecimento que não só cumpra os padrões técnicos, mas que também esteja em conformidade com as normativas vigentes, promovendo um sistema energético eficiente e sustentável.

A partir do extenso conjunto de 2.768 registros coletados durante o período de estudos, utilizamos os filtros disponíveis no Excel®. Nosso foco foi exclusivamente nos períodos de geração diurna, excluindo as horas noturnas para assegurar a relevância dos dados analisados. Esta filtragem limitou nossa análise ao período das 06:03 às 18:03, resultando na seleção de 1.418 registros que representam as horas de plena operação da usina. Esse enfoque permitiu-nos detalhar os indicadores cruciais, apresentados na Tabela 3, que demonstram efetivamente a performance e a qualidade da energia produzida pela UF-Uni, evidenciando a eficiência e a estabilidade do sistema em funcionamento.

Tabela 3

Resumo descritivo das principais variáveis em estudos.

Variáveis	Unidade de Medida	Média	Mediana	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
VRMS - L1	V - (Volts)	223,70	223,70	2,98	134,50	228,90
VRMS - L2	V - (Volts)	224,24	224,24	2,99	134,60	229,52
VRMS - L3	V - (Volts)	225,12	225,09	2,99	135,39	230,20
VRMS - Média	V - (Volts)	224,36	224,35	2,98	134,83	229,54
VTHD	**	2,44	2,42	0,15	2,13	4,63
IRMS	A - (Amperes)	441,36	486,63	293,13	2,35	907,08
ITHD	**	10,79	2,09	19,84	1,18	89,76
P	kW - (Kilowatts)	296,35	326,64	198,69	-2,42	614,23
Q	kvar - (Kilovar)	9,18	11,26	6,39	-8,82	17,37
TPF	**	0,86	1,00	0,42	-0,83	1,00
DPF	Graus (°) ou radianos	0,87	1,00	0,44	-0,90	1,00
Energy	kWh - Kilowatt-hora	32.523,23	32.506,45	19.021,90	6,45	66.037,20

VRMS – Valor Eficaz da Tensão; **L1, L2, L3** – (Fases do sistema elétrico trifásico); **VTHD** - Distorção Harmônica Total de Tensão; **IRMS** - Valor Eficaz da Corrente; **ITHD** - Distorção Harmônica Total de Corrente; **P** – Potência Ativa; **Q** – Potência Reativa; **TPF** - Fator de Potência Total; **DPF** - Deslocamento do Fator de Potência; **Energy** – Energia gerada.

Fonte: Elaboração própria com base nos Relatórios de Medição e Verificação da UF-Uni.

A análise da Tabela 3 evidencia que, no período em estudo, a usina registrou uma produção energética média de 32.523,23 kWh, com valores mínimos e máximos de 6,45 kWh e 66.037,20 kWh, respectivamente. A comparação desses resultados com os comportamentos dos indicadores da Figura 4 (gráfico 1 - Série Temporal e gráfico 3 - Sazonalidade) permite observar que, nos meses de outubro a novembro, temos as maiores produções – período que corresponde à estação primavera.

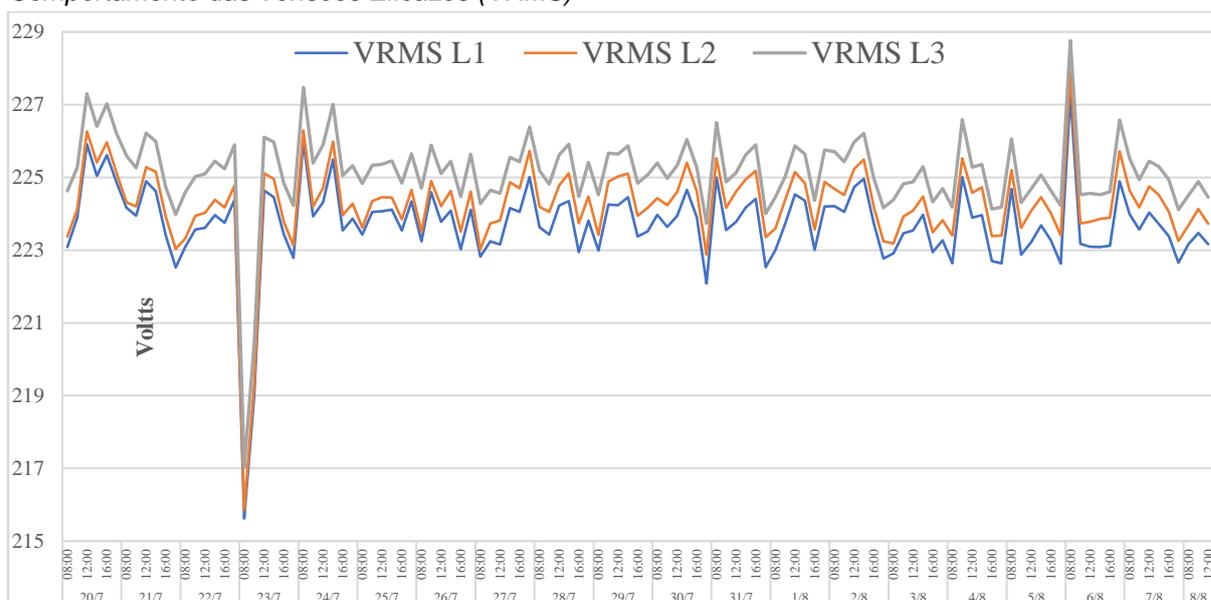
A UF-Uni, instalada em área localizada no hemisfério sul, beneficia-se do alongamento dos dias na primavera e do subsequente aumento da luminosidade, elementos que amplificam a produção de energia solar. Tais características geográficas e sazonais otimizam a eficiência na captação de energia solar, tornando a região um ponto estratégico para o progresso de projetos sustentáveis. De acordo com os *datasheets* dos principais fabricantes de inversores e painéis solares, esses fatores podem elevar a eficiência dos projetos em até 25% (ALBA, 2022; PEB, 2024).

No inverno (março a junho), caracterizado pelo período de dias mais curtos e mais seco do ano, a geração energética esteve alinhada com temperaturas médias variando entre 15°C e 28°C e com uma irradiação solar inferior à observada na primavera e verão. Esta estação também se distingue por apresentar uma umidade relativa do ar reduzida e ventos mais amenos, embora não esteja isenta da ocorrência de frentes frias que podem provocar rajadas intensas e notáveis quedas de temperatura.

Adicionalmente, observa-se que as Tensões Eficazes das Fases (VRMS) das três fases do sistema elétrico trifásico em análise permaneceram consistentes, evidenciando um equilíbrio conforme demonstrado na Figura 5.

Figura 5

Comportamento das Tensões Eficazes (VRMS)



Fonte: Elaboração própria com base nos Relatórios de Medição e Verificação da UF-Uni.

Examinando a Figura 5, evidencia-se um equilíbrio notável nas tensões eficazes das fases L1, L2 e L3, ilustrando uma operação homogênea e estável do sistema trifásico da usina. Registram-se apenas dois picos de tensão, provavelmente relacionados a incidentes pontuais como flutuações na irradiação solar, discrepâncias nos equipamentos ou intercorrências na rede elétrica externa. Quando avaliados em relação ao volume total de medições, estes revelam-se como ocorrências esporádicas e isoladas.

De modo geral, as tensões eficazes mantiveram-se em torno da média de 224,36 V, dentro dos limites estabelecidos pelo PRODIST, Tabela 1 ($202 \leq TL \leq 231$), refletindo um *status* de tensão 'adequado' e atestando a confiabilidade do sistema elétrico da usina. A constância das tensões durante as férias escolares (20/07 a 01/08) e no final de semana (06 e 07/08) salienta a capacidade do sistema em manter a *performance* diante das oscilações de demanda. Este fenômeno corrobora a estabilidade e eficácia do sistema fotovoltaico da UF-Uni, consonante com a literatura especializada. Devido à coerência entre as fases e outras variáveis elétricas monitoradas, decidimos proceder com uma análise agregada a partir das médias dos valores, visando simplificar o processamento e a interpretação dos resultados obtidos.

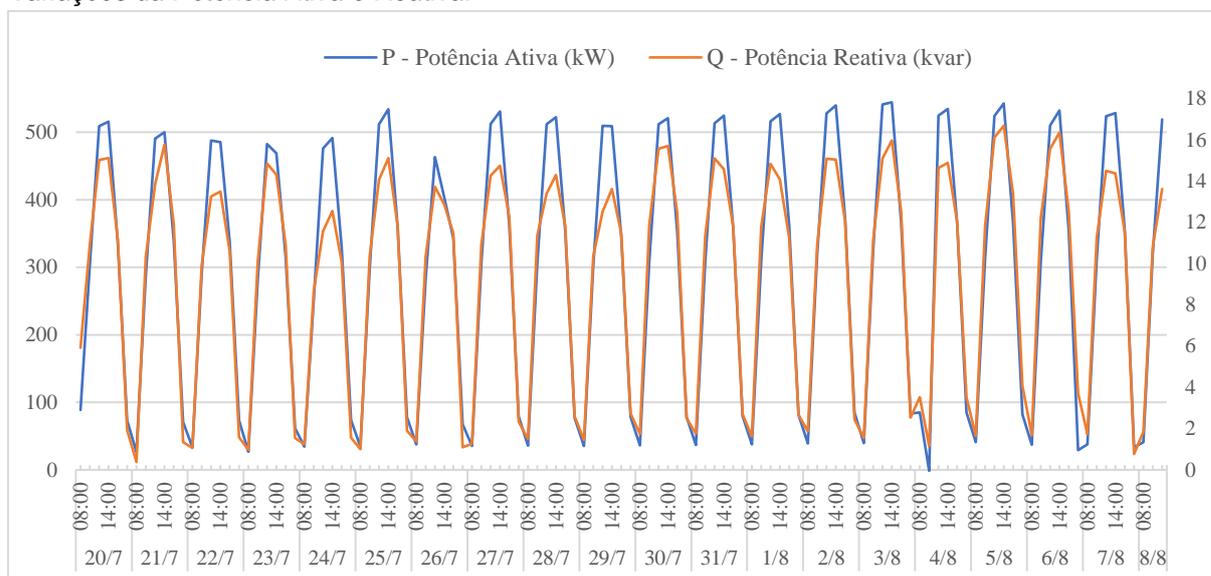
Ainda, ao analisar as tensões eficazes, observa-se que os picos inferiores de tensão (*undervoltage*), mais prevalentes ao redor das 18:00 h, coincidem com o

horário do pôr do sol. Este padrão pode ser explicado pelo baixo índice de irradiação solar, bem como pela implementação de um sistema de geração paralelo na UniEVANGÉLICA, utilizando geradores a diesel para melhorar a eficiência energética nos períodos de pico de demanda do campus. Além disso, essas flutuações de tensão podem estar relacionadas à redução de cargas capacitivas durante este período, o que afeta a tensão no lado secundário do transformador da usina.

De modo geral, as variações de tensão ao longo do período analisado indicam uma resposta eficiente do sistema a diferentes condições operacionais e ambientais. A estabilidade das tensões eficazes, mesmo diante de flutuações, destaca a robustez do sistema fotovoltaico em fornecer energia de qualidade consistentemente. Tal fenômeno é mais claramente ilustrado na Figura 6.

Figura 6

Variações da Potência Ativa e Reativa.



Fonte: Elaboração própria com base nos Relatórios de Medição e Verificação da UF-Uni.

No estudo refletido pela Figura 6, identificamos um ciclo diário na Potência Ativa (P) e Potência Reativa (Q) geradas pela usina. Observa-se picos de Potência Ativa alinhados com o máximo de irradiação solar ao meio-dia, quando a irradiação solar é máxima. Isso demonstra a dependência direta da usina fotovoltaica da luz solar para a geração de energia. A Potência Ativa diminui ao entardecer e cessa completamente durante a noite, conforme esperado para sistemas fotovoltaicos que não possuem armazenamento de energia. A Potência Reativa manteve-se constante e em níveis baixos, sinalizando a eficiência do sistema.

Ao comparar os comportamentos desses indicadores com os dados da Tabela 3, evidenciamos que os valores de Potência Ativa ficaram abaixo do potencial projetado de 975 kWp da usina. A média registrada foi de 326,64 kW, com um pico de 614,23 kW. Resultados semelhantes foram reportados por Mendonça et al., (2022), que aplicaram metodologias análogas na avaliação da mesma Usina Fotovoltaica entre os dias 20 e 28 de outubro de 2022. Durante esse intervalo de sete dias, onde foram realizadas 1008 leituras válidas, observou-se que, apesar de ser primavera — uma estação de temperaturas amenas — a geração máxima não ultrapassou 750 kW e, em alguns casos, foi apenas de 300 kW. Contudo, a qualidade da energia

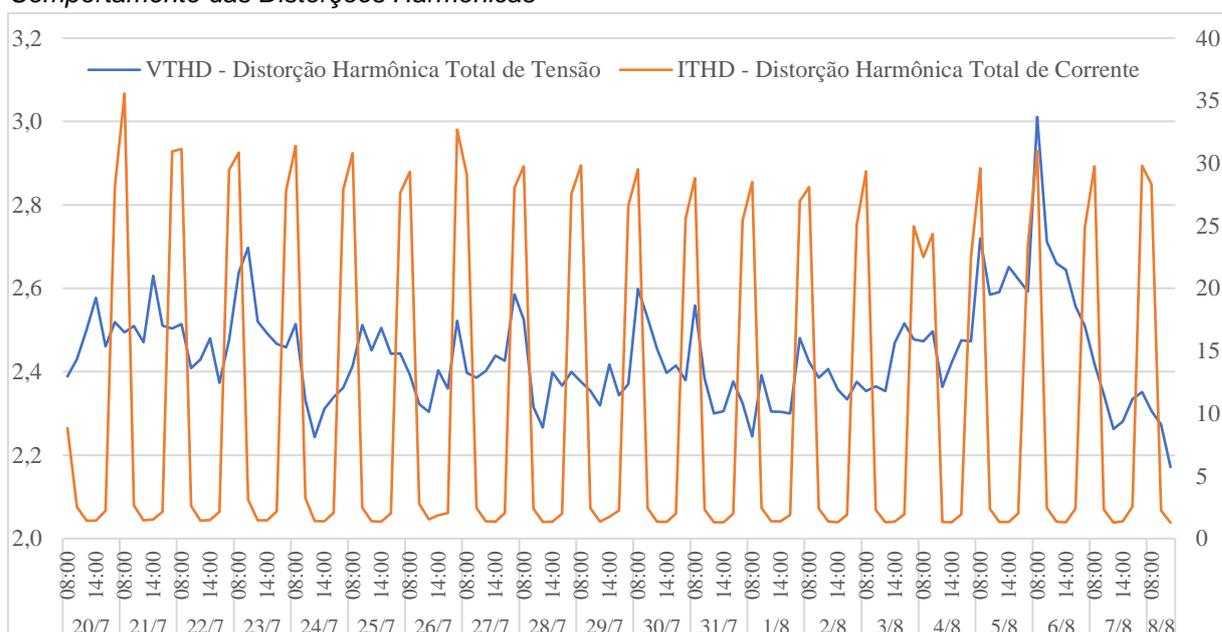
permaneceu alta, garantida pelo equilíbrio do sistema elétrico e pelo eficiente gerenciamento das distorções harmônicas, conforme pode ser detalhado na Figura 7.

Ainda, observa-se um pequeno número de anomalias, como uma leve queda no dia 4/8. Essas variações podem ser atribuídas a condições climáticas adversas, manutenção do sistema, ou outros fatores externos.

Essas observações confirmam a eficiência do sistema em condições normais de operação e destacam a importância de monitoramento contínuo para identificar e corrigir quaisquer anomalias rapidamente. Além disso, a consistência nos ciclos diários demonstra que o sistema está operando conforme projetado, otimizando a captação de energia solar durante os períodos de alta irradiação.

Figura 7

Comportamento das Distorções Harmônicas



Fonte: Elaboração própria com base nos Relatórios de Medição e Verificação da UF-Uni.

A Figura 7 ilustra as variações da Distorsão Harmônica Total de Tensão (VTGD) e de Corrente (ITGD), evidenciando o ciclo de energia gerada ao longo dos dias. Observamos que o VTGD se manteve consistentemente abaixo do limite de 3%, o que indica uma tensão estável e uma operação eficiente do sistema, em conformidade com os padrões de qualidade. As reduções nos dias 06 e 08/08 refletem o dimensionamento adequado da usina, que contempla todos os parâmetros críticos para manter a tensão dentro dos parâmetros ideais.

Por outro lado, a ITGD demonstrou maior volatilidade, com picos ocasionais superando 30%. Esses picos, que exigem atenção especial, podem resultar de cargas não lineares integradas ao sistema ou variações na geração de energia. Estas distorções harmônicas, conforme observado por Castro et al., (2020), podem ser exacerbadas por condições inadequadas de operação, como sombreamento ou clima adverso, que levam a um desempenho inferior do inversor. Os picos elevados de ITGD podem comprometer a eficiência e a segurança do sistema, resultando em perdas e sobrecargas desnecessárias.

A análise dos dados de VTGD mostra uma consistência diária com picos ligeiramente superiores nos horários de maior geração de energia solar. Isso pode ser atribuído à maior quantidade de energia sendo processada pelos inversores durante

esses períodos. Em contrapartida, a ITHD apresenta uma volatilidade significativa, com variações mais pronunciadas ao longo do dia. Essa instabilidade pode indicar a presença de cargas não lineares que impactam a qualidade da corrente.

A manutenção regular e a otimização do sistema fotovoltaico, incluindo a limpeza dos painéis solares e a recalibração dos inversores, são cruciais para manter baixos os níveis de ITHD e assegurar a entrega de energia de alta qualidade. Estratégias como a implementação de filtros de harmônicas e dispositivos de correção do fator de potência são eficazes para mitigar o impacto das harmônicas e reforçar a estabilidade operacional. Além disso, a instalação de sistemas de monitoramento em tempo real pode ajudar a identificar rapidamente quaisquer anomalias e permitir intervenções imediatas para corrigir problemas.

Portanto, no que tange a análise detalhada dos dados harmônicos, sublinha-se a importância do gerenciamento técnico diligente, que envolve um regime de monitoramento contínuo e manutenção programada, visando não apenas atender aos padrões normativos, mas também aprimorar a eficiência e a sustentabilidade do fornecimento de energia. A adaptabilidade e a revisão periódica das práticas operacionais são fundamentais para a manutenção de um fornecimento energético sustentável e eficiente.

Conclusão

Este estudo proporcionou *insights* valiosos sobre a eficiência energética e a qualidade da energia gerada pela Usina Fotovoltaica da UniEVANGÉLICA, destacando não apenas o potencial das energias renováveis em contribuir significativamente para a matriz energética sustentável, mas também os desafios inerentes à gestão da variabilidade e da intermitência das fontes renováveis. Os resultados obtidos demonstram que, apesar de alguns picos de distorção harmônica e desafios de eficiência abaixo do potencial máximo projetado, a usina mantém um desempenho robusto e confiável, com uma qualidade de energia que atende às normativas do PRODIST.

Identificamos que práticas de manutenção adequadas e a integração de tecnologias avançadas de monitoramento são essenciais para otimizar a operação e aumentar a eficiência da usina. A instalação de sistemas de monitoramento em tempo real pode ajudar a identificar rapidamente quaisquer anomalias e permitir intervenções imediatas para corrigir problemas. A comparação com *benchmarks* de desempenho de outras regiões e a adaptação das melhores práticas internacionais podem servir como diretrizes para futuras melhorias. Além disso, a elaboração de políticas públicas que incentivem a qualidade e eficiência energética pode acelerar a adoção de soluções fotovoltaicas em larga escala.

Em conclusão, os resultados deste estudo reforçam a importância da energia solar no cenário energético atual, oferecendo um caminho viável para a redução da dependência de combustíveis fósseis e para o alcance de uma sustentabilidade energética ampla. As práticas de gestão e os resultados obtidos estão alinhados com os ODS e da ONU, promovendo não apenas a sustentabilidade ambiental, mas também o desenvolvimento social e econômico. Espera-se que as descobertas e metodologias aplicadas aqui inspirem pesquisas futuras e informem decisões estratégicas tanto em nível local quanto global, fortalecendo a infraestrutura energética para enfrentar os desafios do século XXI.

Referências Bibliográficas

- ABRASOLAR. (2024). *Modelo de negócio*. Associação Brasileira de Gestão de Energia Solar. <https://www.abrasolar.com.br/saiba-mais>
- ALBA. (2022). *Cinturão Solar e o potencial para geração de energia*. Energia Solar. <https://albaenergia.com.br/cinturao-solar-e-o-potencial-para-geracao-de-energia/>
- Alshareef, S. M. (2022). Analyzing and Mitigating the Impacts of Integrating Fast-Charging Stations on the Power Quality in Electric Power Distribution Systems. *Sustainability (Switzerland)*, 14(9). <https://doi.org/10.3390/su14095595>
- ANEEL. (2005). Atlas Brasileiro de Energia Solar. *Agência Nacional Energia Elétrica.*, 0–80.
- ANEEL. (2017). Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica. In *Agência Nacional Energia Elétrica*. (Vol. 8). https://antigo.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/Módulo8_Revisao_8/9c78cfab-a7d7-4066-b6ba-cfbd3058d19
- ANEEL. (2024). *Primeiro trimestre de 2024 tem expansão de 2,6 GW na matriz elétrica*. Agência Nacional de Energia Elétrica. <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2024/primeiro-trimestre-de-2024-tem-expansao-de-2-6-gw-na-matriz-eletrica>
- Boggian, L. C. de C. (2023). GOVERNANÇA E MEIO AMBIENTE: ENERGIA FOTOVOLTAICA E A CONTRIBUIÇÃO PARA A AGENDA 2030 POR MEIO DOS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NA UNIEVANGÉLICA [Universidade Evangélica de Goiás (UniEVANGÉLICA) - Anápolis/GO.]. In *Tese de Doutorado*. <http://repositorio.aee.edu.br/bitstream/aee/21462/1/3> - Lúcio Carlos de Carvalho Boggian - Versão Final - Tese de Doutorado.pdf
- Borges, M. R. N., & Carvalho, P. (2012). *Geração de energia elétrica: fundamentos* (1ª). Saraiva SA / Editora Érica.
- Boso, A. C. M. R., Cremasco, C. P., & Filho, L. R. G. F. (2015). Análise de custos dos sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid no brasil. *Revista Científica - ANAP Brasil*, 8(12).
- Castro, M. S. de, Belchior, F. N., Oliveira, G. D. de, Santos, J. D., & Pires, S. R. (2020). Análise do Impacto da Geração Fotovoltaica na Universidade Federal de Goiás/ Analysis of the Impact of Photovoltaic Generation at the Federal University of Goiás. *Brazilian Applied Science Review*, 4(5), 3023–3042. <https://doi.org/10.34115/basrv4n5-022>
- CELG D. (2016). *Resultados da Chamada Pública - Programa de Eficiência Energética (PEE) N° 002/2016, CELG Distribuição*. Centrais Elétricas de Goiás - Distribuição S.A (CELG D).
- Colaboraty, G. (2024). *Google Colaboraty*. Google Colaboraty. <https://colab.research.google.com/>
- Daane, A. R., Vokos, S., & Scherr, R. E. (2013). Conserving energy in physics and society: Creating an integrated model of energy and the second law of thermodynamics. *AIP Conference Proceedings*, 1513, 114–117.

<https://doi.org/10.1063/1.4789665>

Dias, M. J., Souza, D. B., Dias, S. R. M., & Silva, S. D. (2024). Aplicação da estatística e da série temporal como ferramenta de gestão na geração de energia elétrica: Estudo de caso na usina fotovoltaica da UniEVANGÉLICA (2020-2023). *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade (GeAS)*, Artigo submetido para publicação.

EnergyTrend. (2024). *Brazil's new photovoltaic installed capacity exceeds 6GW from January to May 2024*. <https://www.energytrend.com/news/20240530-47250.html>

EPE. (2023). *Matriz Energética e Elétrica*. Empresa de Pesquisa Energética; Brasília/DF. <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>

EPE. (2024a). *As principais publicações da EPE*. Empresa de Pesquisa Energética. <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes>

EPE. (2024b). *Plano Decenal de Expansão de Energia 2024*. Empresa de Pesquisa Energética. [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-45/topico-79/Relatório Final do PDE 2024.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-45/topico-79/Relatório%20Final%20do%20PDE%202024.pdf)

Fernandes, D. S., Heinemann, A. B., Amorim, A. de O., & da Paz, R. L. F. (2018). Estimativa da Radiação Solar Global com Base em Observações de Temperatura para o Estado de Goiás. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 33(3), 558–566. <https://doi.org/10.1590/0102-7786333014>

Fernandes, V., Andreoli, C. V., Bruna, G. C., & Philippi, A. (2021). History and evolution of the environmental management system in Brazil. In *Historia Ambiental Latinoamericana y Caribena* (Vol. 11, Issue 2). <https://doi.org/10.32991/2237-2717.2021V11I2.P275-310>

FMI. (2023). *Relatório Anual do FMI*. International Monetary Fund. [https://www.imf.org/pt/Publications/AREB#:~:text=O Relatório Anual do FMI,Internacional e do Banco Mundial](https://www.imf.org/pt/Publications/AREB#:~:text=O%20Relat%C3%B3rio%20Anual%20do%20FMI,Internacional%20e%20do%20Banco%20Mundial).

G1. (2021). *Maior hidrelétrica de Goiás está gerando menos energia atualmente do que em agosto de 2001, durante apagão*. O Portal de Notícias Da Globo. <https://g1.globo.com/go/goias/noticia/2021/09/08/maior-hidreletrica-de-goias-esta-gerando-menos-energia-atualmente-do-que-em-agosto-de-2001-durante-apagao.ghtml>

Hanlon, R. T. (2020). "The 1st Law of Thermodynamics." In *Block by Block: The Historical and Theoretical Foundations of Thermodynamics* (pp. 261–269). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198851547.003.0022>

IEA. (2022). *Government clean energy investment support enacted since the start of the Covid-19 crisis, by sector, Q2-2023*. Agência Internacional de Energia. <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/government-clean-energy-investment-support-enacted-since-the-start-of-the-covid-19-crisis-by-sector-q2-2023>

INMETRO. (2024). *Energia Elétrica*. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/metrologia-cientifica/laboratorios/eletricidade-e-magnetismo/energia-eletrica>

Kniess, C. T., Sampaio, C. A. C., Philippi Júnior, A., Plonski, G. A., Goldemberg, J., Franco, R. M., Ricupero, R., Bressan Júnior, A., Sobral, M. do C. M., Maglio, I. C.,

- Nobre, C., Andreoli, C. V., Fernandes, V., Mattei, J. F., Ribeiro, W. C., Buckeridge, M. S., & Dutra e Silva, S. (2022). 50 anos de Estocolmo'72 e 30 Anos da Rio'92: Reflexões sobre o Brasil Contemporânea e os Desafios para um Futuro Sustentável. In *Historia Ambiental Latinoamericana y Caribeña (HALAC) revista de la Solcha* (Vol. 12, Issue 3). <https://doi.org/10.32991/2237-2717.2022v12i3.p406-437>
- Kohle, T. E. G. F., Moreira, L. G., Brandão, S. M., Rodrigues, R. F. N., & Dias, M. J. (2021). Estudo do Potencial de Geração de Energia Eólica no Estado de Goiás. *Revista Processos Químicos*, 14(28), 49–60. <https://doi.org/10.19142/rpq.v14i28.601>
- Kwiatkowski, D., Phillips, P. C. B., Schmidt, P., & Shin, Y. (1992). Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root. How sure are we that economic time series have a unit root? *Journal of Econometrics*, 54(1–3), 159–178. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(92\)90104-Y](https://doi.org/10.1016/0304-4076(92)90104-Y)
- Lazzaretti, A. E., da Costa, C. H., Rodrigues, M. P., Yamada, G. D., Lexinoski, G., Moritz, G. L., Oroski, E., de Goes, R. E., Linhares, R. R., Stadzisz, P. C., Omori, J. S., & Dos Santos, R. B. (2020). A monitoring system for online fault detection and classification in photovoltaic plants. *Sensors (Switzerland)*, 20(17), 1–30. <https://doi.org/10.3390/s20174688>
- Lopes, M. P. C. (2020). USINAS FOTOVOLTAICAS FLUTUANTES COMO ALTERNATIVA PARA A GERAÇÃO DE ENERGIA E REDUÇÃO DA EVAPORAÇÃO EM AÇUDES DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO. In *Tese de Doutorado* (Vol. 2017, Issue 1). <http://190.119.145.154/handle/20.500.12773/11756>
- Mendonça, F. C., Elias, E. H., Fontes, T. J. R., Batista, L. A., & Alves, R. H. F. (2022). Estudo da performance e qualidade de energia solar fotovoltaica gerada na Universidade Evangélica de Goiás. *Repositório Institucional - Universidade Evangélica de Goiás - UniEVANGÉLICA*, 22. <http://repositorio.aee.edu.br/handle/aee/19614>
- Mendonça, M., Francisco, T. R., Souza, L. B. de, Minato, T., & Palácios, R. H. C. (2020). ANÁLISE DE MOTIVAÇÃO E SATISFAÇÃO NA INSTALAÇÃO DE PAINÉIS SOLARES FOTOVOLTAICOS POR MEIO DE MAPAS COGNITIVOS FUZZY. In *Revista Técnico-Científica do CREA-PR* (Vol. 23, Issue 23). <https://doi.org/2358-5420>
- Moran, M. J. N. ., Howard, S. ., Boettner, D. D. ., & Bailey, M. B. (2018). *Princípios de termodinâmica para engenharia* (8ª). Grupo Gen-LTC.
- ONS. (2024). *Boletins da Operação*. Organização Nacional Do Sistema Elétrico. <https://www.ons.org.br/paginas/resultados-da-operacao/boletins-da-operacao>
- PEB. (2024). *Quais são os incentivos governamentais para o uso de energia solar no Brasil*. Portal Energia Brasil. <https://portalenergiabrasil.com.br/energia-solar-7-incentivos-no-brasil/>
- Pereira, N. X. (2019). DESAFIOS E PERSPECTIVAS DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL: GERAÇÃO DISTRIBUÍDA VS GERAÇÃO CENTRALIZADA [Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais), Universidade Estadual Paulista - UNESP]. In *Dissertação de Mestrado*. <http://hdl.handle.net/11449/181288>
- Portal Solar. (2024). *Energia solar em Goiânia – GO*. <https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-em-goiania-go>
- pv magazine. (2024). *Brazil hits 40 GW milestone*. <https://www.pv-magazine.com/>

magazine.com/2024/03/11/brazil-hits-40-gw-milestone/

Rediske, G. (2019). MODELAGEM PARA AVALIAÇÃO DE LOCAIS ADEQUADOS PARA A INSTALAÇÃO DE USINAS FOTOVOLTAICAS [UFSM – Universidade Federal de Santa Maria.]. In *Dissertação de Mestrado*. <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/20904>

Rigo, P. D., Rediske, G., Rosa, C. B., Gastaldo, N. G., Michels, L., Júnior, A. L. N., & Siluk, J. C. M. (2020). Renewable energy problems: Exploring the methods to support the decision-making process. *Sustainability (Switzerland)*, 12(23), 1–27. <https://doi.org/10.3390/su122310195>

SHAPIRO, S. S., & WILK, M. B. (1965). *An analysis of variance test for normality (complete samples)* (O. U. Press (ed.); *Biometrika*, pp. 591–611). Oxford University Press. <https://doi.org/10.2307/2333709>

Smith, J. M., Van Ness, H. C., & Abbott, M. M. (2005). *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics (7ª)*. McGraw-Hill Education.

Souza, A. B. de, & Oliveira, A. L. (2019). Benefícios Ambientais Da Energia Fotovoltaica. *Revista Interface Tecnológica*, 16(2), 287–298. <https://doi.org/10.31510/infa.v16i2.644>

Subramaniam, U., Vavilapalli, S., Padmanaban, S., Blaabjerg, F., Holm-Nielsen, J. B., & Almakhles, D. (2020). A hybrid PV-battery system for ON-grid and off-grid applications-controller-in-loop simulation validation. *Energies*, 13(3). <https://doi.org/10.3390/en13030755>

Tsoukalas, L. H., & Gao, R. (2008). From smart grids to an energy internet: Assumptions, architectures and requirements. *3rd International Conference on Deregulation and Restructuring and Power Technologies, DRPT 2008, April*, 94–98. <https://doi.org/10.1109/DRPT.2008.4523385>

UniEVANGÉLICA. (2019). *UniEVANGÉLICA inaugura maior Estacionamento Solar do país (07/10/2029)*. Universidade Evangélica de Goiás. <https://www4.unievangelica.edu.br/noticia/6525-unievangelica-inaugura-maior-estacionamento-solar-do-pais>

UniEVANGÉLICA. (2021). *UniEVANGÉLICA inaugura Laboratório de Eficiência Energética Fotovoltaica (LEEFOTO)*. Universidade Evangélica de Goiás. <https://portalcontexto.com/unievangelica-inaugura-laboratorio-eficiencia-energetica-fotovoltai/>

UniEVANGÉLICA. (2024). *Quem Somos*. Universidade Evangélica de Goiás. <https://www4.unievangelica.edu.br/pagina/quem-somos#:~:text=Missão,social e o desenvolvimento sustentável.>

Villalva, M. G., Gazoli, J. R., & Filho, E. R. (2009). Comprehensive approach to modeling and simulation of photovoltaic arrays. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 24(5), 1198–1208. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2009.2013862>

Woyte, A., Richter, M., Moser, D., Mau, S., Reich, N., & Jahn, U. (2013). Monitoring of Photovoltaic Systems: Good Practices and Systematic Analysis. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.

Yoon, S. (2023). Willingness-to-Pay of Converting a Centralized Power Generation to

a Distributed Power Generation: Estimating the Avoidance Benefits from Electric Power Transmission. *Sustainability (Switzerland)*, 15(6). <https://doi.org/10.3390/su15064949>

Zamudio, M. A., Carhuavilca, A. M., Conde, L. A., Garc#x000ED;a, M. A., Berastain, A. E., Montes-Romero, J., De La Casa, J., To#x000F6;fflinger, J. A., & Cata#x000F1;o, M. A. (2023). Development of a low-cost monitoring system for the measurement of DC and AC electrical parameters in grid-connected photovoltaic systems based on IEC standards. *Journal of Physics: Conference Series*, 2538(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2538/1/012004>