



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

ORIENTADOR: PROF. DR. FERNANDO NUNES BELCHIOR

CO-ORIENTADORA: ENGA. MSC. JANINE CAVALCANTE DE
OLIVEIRA

DAYANNE FERREIRA DIAS

GABRIEL PORTELLA REZENDE

**ANÁLISE DO FATOR DE POTÊNCIA EM INSTALAÇÕES
ELÉTRICAS CONTENDO GERAÇÃO SOLAR
FOTOVOLTAICA**

GOIÂNIA

2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio do Repositório Institucional (RI/UFG), regulamentado pela Resolução CEPEC no 1240/2014, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei no 9.610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo dos Trabalhos de Conclusão dos Cursos de Graduação disponibilizado no RI/UFG é de responsabilidade exclusiva dos autores. Ao encaminhar(em) o produto final, o(s) autor(a)(es)(as) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação (TCCG)

Nome(s) completo(s) do(a)(s) autor(a)(es)(as): Gabriel Portella Rezende e Dayanne Ferreira Dias

Título do trabalho: Análise do fator de potência em instalações elétricas contendo geração solar fotovoltaica

2. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador) Concorda com a liberação total do documento [X] SIM [] NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante: a) consulta ao(à)(s) autor(a)(es)(as) e ao(à) orientador(a); b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo do TCCG. O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro.

Obs.: Este termo deve ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por **Fernando Nunes Belchior, Professor do Magistério Superior**, em 06/08/2023, às 08:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Gabriel Portella Rezende, Discente**, em 06/08/2023, às 12:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Dayanne Ferreira Dias, Discente**, em 06/08/2023, às 13:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3886902** e o código CRC **6B247429**.

Dayanne Ferreira Dias
Gabriel Portella Rezende

ANÁLISE DO FATOR DE POTÊNCIA EM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS
CONTENDO GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de
Computação da Universidade Federal de Goiás,
como parte dos requisitos para a obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Nunes Belchior
Co-orientadora: Enga. MSc. Janine Cavalcante de
Oliveira

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Dias, Dayanne Ferreira

Análise do fator de potência em instalações elétricas contendo
geração solar fotovoltaica [manuscrito] / Dayanne Ferreira Dias, Gabriel
Portella Rezende . - 2023.

CVIII, 108 f.: il.

Orientador: Profa. Dra. Fernando Nunes Belchior; co-orientadora
Janine Cavalcante de Oliveira .

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade
Federal de Goiás, Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de
Computação (EMC), Engenharia Elétrica, Goiânia, 2023.

Anexos. Apêndice.

Inclui fotografias, abreviaturas, símbolos, gráfico, lista de figuras.

1. Energia Solar Fotovoltaica. 2. Fator de Potência. 3. Inversores.
4. Qualidade de Energia . 5. Módulos Fotovoltaicos . I. Rezende ,
Gabriel Portella. II. Belchior, Fernando Nunes, orient. III. Oliveira ,
Janine Cavalcante de, co-orient. IV. Título.

CDU 621.3



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

DECLARAÇÃO

ATA DE AVALIAÇÃO DE PROJETO FINAL

CURSO		
(X) Eng. Elétrica	() Eng. Mecânica	() Eng. de Computação () Projeto Final I () Projeto Final II

TÍTULO DO TRABALHO	
Análise do fator de potência em instalações elétricas contendo geração solar fotovoltaica	
BANCA AVALIADORA	
Membro 1:	Prof. Dr. Marcelo Stehling Castro (EMC/UFG)
Membro 2:	Prof. Dr. Fernando Nunes Belchior (Orientador - FCT/UFG)
Membro 3:	Eng. MSc. Josephy Dias Santos (EMC/UFG)
Membro 4:	Enga. MSc. Janine Cavalcante de Oliveira (Pacto Energia)
ESTUDANTE	
Matrícula	Nome
201703794	Gabriel Portella Rezende

201602534	Dayanne Ferreira Dias
-----------	-----------------------

NOTAS													
Matrícula	Membro 1			Membro 2			Membro 3			Membro 4			Média
	NPT	NTE	NAA	NPT	NTE	NAA	NPT	NTE	NAA	NPT	NTE	NAA	
201703794	8,5	8,5	8,5	9,0	9,0	9,0	8,5	8,5	8,5	9,0	9,0	9,0	8,8
201602534	8,5	8,5	8,5	9,0	9,0	9,0	8,5	8,5	8,5	9,0	9,0	9,0	8,8

NPT – Nota plano de trabalho; NTE – Nota do trabalho escrito; NAA – Nota de apresentação e arguição

Para Eng. Elétrica, Mecânica e PFC2 da Eng. Da Computação: $NF = 0,1 \times NPT + 0,45 \times NTE + 0,45 \times NAA$

Para PFC1 da Eng. Da Computação: $NF = 0,3 \times NPT + 0,7 \times NAA$

* A APROVAÇÃO DO(S) ALUNO(S) ESTÁ CONDICIONADA À APRESENTAÇÃO DO TRABALHO FINAL AO ORINETADOR COM TODAS AS CORREÇÕES SUGERIDAS PELA BANCA.

OBSERVAÇÕES:

Preencher com modificações solicitadas, caso existam. Em caso de reprovação, informar a justificativa.



Documento assinado eletronicamente por **Fernando Nunes Belchior, Professor do Magistério Superior**, em 21/07/2023, às 15:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Marcelo Stehling De Castro, Professor do Magistério Superior**, em 21/07/2023, às 15:40, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Josephy Dias Santos, Coordenador**, em 21/07/2023, às 15:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Janine Cavalcante De Oliveira, Usuário Externo**, em 21/07/2023, às 15:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3886881** e o código CRC **E93D0FC2**.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo principal analisar o fator de potência em instalações elétricas que incorporam sistemas de geração solar fotovoltaica. A geração distribuída de energia elétrica por meio de sistemas fotovoltaicos tem ganhado crescente importância devido à sua capacidade de produzir energia limpa e renovável. No entanto, a integração desses sistemas nas redes elétricas existentes pode apresentar desafios, como a influência no fator de potência. Portanto, o trabalho propõe um estudo detalhado sobre os efeitos da geração no fator de potência de instalações elétricas e, para isso, serão investigadas as principais causas que levam a variações no fator de potência. Para tanto, serão realizadas medições e análises no Centro de Aulas das Engenharias da UFG, durante o mês de novembro de 2022, a fim de obter dados concretos e embasar as conclusões do estudo. Os resultados esperados deste trabalho contribuirão para um melhor entendimento dos efeitos de sistemas fotovoltaicos no fator de potência e fornecerão orientações para o projeto e operação de instalações elétricas que incluam geração solar, com o intuito de auxiliar na otimização do uso da energia elétrica, na redução de perdas e no aumento da eficiência energética dessas instalações.

Palavras-chave: geração solar fotovoltaica; fator de potência; inversores; demanda.

ABSTRACT

The main objective of this study is to analyze the power factor in electrical installations that incorporate solar photovoltaic generation systems. Distributed generation of electricity through photovoltaic systems has gained increasing importance due to its capacity to produce clean and renewable energy. However, the integration of these systems into existing electrical grids can present challenges, such as the impact on the power factor. Therefore, this study proposes a detailed examination of the effects of generation on the power factor in electrical installations. For this, measurements and analyses will be conducted at the Centro de Aulas das Engenharias building during November 2022 to obtain concrete data and support the study's conclusions. The expected results of this work will contribute to a better understanding of the effects of photovoltaic systems on the power factor and provide guidelines for the design and operation of electrical installations that include solar generation. This aims to optimize the use of electricity, reduce losses, and increase the energy efficiency of these installations.

Index Terms: photovoltaic generation; power factor; inverters; demand.

AGRADECIMENTO CONJUNTO

Em primeiro lugar, agradece-se ao Professor Orientador Dr. Fernando Nunes Belchior, pelo tempo despendido no trabalho final junto aos alunos, tendo aceitado a orientação deste documento, e confiado nos alunos para a realização deste trabalho. O papel do professor Fernando foi fundamental, tendo ele fornecido os dados para a realização da monografia, em conjunto a ajuda para a realização dela.

Também agradecemos aos professores membros da banca, os quais acreditaram no trabalho feito, e aceitaram o convite para participação da banca examinadora.

AGRADECIMENTOS INDIVIDUAIS

Agradeço a Deus por ter conseguido conquistar tudo que conquistei, por ter chegado aonde cheguei, tendo passado em uma das melhores faculdades do país, e no momento, formando nessa mesma faculdade.

Agradeço aos meus pais que viram de perto toda a luta enfrentada, e sempre me ajudaram a continuar, incentivando e ajudando com todas as dificuldades encontradas não me permitindo desistir dos meus objetivos.

Agradeço a minha irmã pelo carinho nos momentos enfrentados.

Agradeço aos amigos por estarem sempre ao meu lado, me ajudando e divertindo nos momentos de tristeza e cansaço. E agradeço a minha dupla de TCC Dayanne pela ajuda

Agradeço aos professores que me ajudaram no caminho, em especial o Professor Dr. Fernando Nunes Belchior, que com aulas verdadeiramente inovadoras, conteúdos mais práticos e próximos ao exercido pelo engenheiro eletricitista, ajuda diversos alunos a terem uma noção melhor do que será exercido pelo mesmo quando formado.

E claro, obrigado ao Professor Dr. Fernando Nunes Belchior novamente, por ter aceitado a orientação da monografia realizada, tendo confiado e ajudado durante todo o processo.

- *Gabriel Portella Rezende*

Agradeço primeiramente a Deus por me possibilitar e me dar forças e saúde para finalizar o curso de engenharia e permitir que eu conquistasse a experiência que tive não apenas na faculdade, mas também minhas experiências profissionais.

Agradeço também aos meus pais por todo investimento e confiança que tiveram em mim durante meus anos de ensino médio e faculdade. Por acreditarem na minha capacidade e no meu esforço e não me permitiram desistir, e olha que já tiveram muitas vezes em que pensei em desistir.

Agradeço meus amigos, Rafael Desidério, João Victor Mattar, e minha dupla de TCC Gabriel Portella, por cada ajuda e incentivo que me deram sempre que exaustão veio.

Agradeço meu namorado Rodolfo Rodrigues e meu irmão Felipe por me levarem e buscarem na faculdade e no meu trabalho, sempre saindo muito cedo e voltando após

as 22:00hs, não me deixando ir de ônibus por ter que acordar muito cedo, e também por ser bastante perigoso e cansativo.

Por fim, agradeço ao meu orientador Fernando Belchior pela atenção que nos deu no desenvolvimento do trabalho, pela dedicação que teve conosco em todo processo. Meus mais sinceros agradecimentos a Janine que também se dedicou bastante às correções do nosso TCC.

- *Dayanne Ferreira Dias*

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CA	Corrente Alternada
CAE	Centro de Aulas das Engenharias
CC	Corrente Contínua
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FP	Fator de Potência
LC	Filtro Indutivo-Capacitivo
QEE	Qualidade de Energia Elétrica
SFV	Sistema Fotovoltaico
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
UFG	Universidade Federal de Goiás

SUMÁRIO

1. Introdução	13
2. Fundamentação Teórica	14
2.1. Corrente Alternada	15
2.2. Corrente Contínua	21
2.3. Funcionamento de geradores.	21
2.4. Retificação de corrente	24
2.5. Matriz energética brasileira	29
2.6. Energia solar	33
2.7. Alteração do fator de potência pela energia solar	38
3. Metodologia	40
4. Estudo de caso	43
5. Conclusão	91
6. Referências	93

Lista de Figuras

Figura 1: Exemplificação do funcionamento da corrente alternada.	15
Figura 2:Série de Fourier.....	16
Figura 3:Esquemático do funcionamento da corrente alternada em seu caráter senoidal.	17
Figura 4: Efeito resistivo, indutivo e capacitivo.....	18
Figura 5: Potência ativa, reativa e aparente.....	19
Figura 6: Triângulo de potência.	20
Figura 7: Corrente contínua.....	21
Figura 8: Funcionamento de um gerador em usinas hidrelétricas.	22
Figura 9: Funcionamento de um gerador.	23
Figura 10: Geração de corrente alternada em gerador.	24
Figura 11: Gerador corrente contínua x alternada.....	25
Figura 12: Retificação de meia onda x onda completa.	26
Figura 13: Efeito do capacitor na retificação.	26
Figura 14: Inversor de onda completa.....	27
Figura 15:Efeito da distorção da onda por harmônicas.....	28
Figura 16: Onda distorcida por harmônicas.	28
Figura 17: Proporção de uso de fontes de energia no mundo em 2022.....	30
Figura 18: Proporção de uso de fontes de energia no Brasil em 2022.	31
Figura 19: Comparação matriz energética Brasil x Mundial.....	32
Figura 20: Catástrofe do ultravioleta.....	33
Figura 21: Irradiação pela equação de Planck.....	34
Figura 22: Efeito fotoelétrico.	35
Figura 23: Curva da potência x horas do dia (energia solar).....	36
Figura 24: Inversor on-grid da marca Fronius.....	37
Figura 25: Gráfico da instalação com energia fotovoltaica x sem energia solar.	38
Figura 26: Sistema de controle da corrente de saída do inversor.	39
Figura 27: Multimetro.....	40
Figura 28: Gráfico do fator de potência e da potência no CAE.	41
Figura 29: Centro de Aulas das Engenharias (CAE) – UFG.....	42
Figura 30: Diagrama unifilar simplificado e diagrama de blocos da CAE.	43

Lista de Gráficos

Figura 31: Gráfico da potência no dia 01 11 2022.	43
Figura 32: Gráfico do fator de potência no dia 01 11 2022.	43
Figura 33: Gráfico da potência no dia 02 11 2022.	44
Figura 34: Gráfico do fator de potência no dia 02 11 2022.	44
Figura 35: Gráfico da potência no dia 03 11 2022. Fonte: elaborado pelos autores.	45
Figura 36: Gráfico do fator de potência no dia 03 11 2022.	45
Figura 37: Gráfico da potência no dia 04 11 2022.	46
Figura 38: Gráfico do fator de potência no dia 04 11 2022.	46
Figura 39: Gráfico da potência no dia 05 11 2022.	47
Figura 40: Gráfico do fator de potência no dia 05 11 2022.	47
Figura 41: Gráfico da potência no período - 01 11 2022 a 05/11/2022.	48
Figura 42: Gráfico do fator de potência no período - 01/11/2022 a 05/11/2022.	48
Figura 43: Gráfico da Potência, dia 06/11/2022	51
Figura 44: Gráfico do Fator de Potência dia 06/11/2022	51
Figura 45: Gráfico da Potência, dia 07/11/2022	52
Figura 46: Gráfico do Fator de Potência, dia 07/11/2022	52
Figura 47: Gráfico da Potência, dia 08/11/2022	53
Figura 48: Gráfico do Fator de Potência, dia 08/11/2022.	53
Figura 49: Gráfico da Potência, dia 09/11/2022.	54
Figura 50: Gráfico do Fator de Potência, dia 09/11/2022.	54
Figura 51: Gráfico da Potência, dia 10/11/2022.	55
Figura 52: Gráfico do Fator de Potência, dia 10/11/2022.	55
Figura 53: Gráfico da Potência, dia 11/11/2022.	56
Figura 54: Gráfico do Fator de Potência, dia 11/11/2022.	56
Figura 55: Gráfico da Potência, dia 12/11/2022.	57
Figura 56: Gráfico do Fator de Potência, dia 12/11/2022.	57
Figura 57: Gráfico da Potência, 06/11/2022 a 12/11/2022.	58
Figura 58: Gráfico do Fator de Potência, 06/11/2022 a 12/11/2022.	58
Figura 59: Gráfico da Potência, dia 13/11/2022	61
Figura 60: Gráfico do Fator de Potência, dia 13/11/2022.	61
Figura 61: Gráfico da Potência, dia 14/11/2022.	62
Figura 62: Gráfico do Fator de Potência, dia 14/11/2022.	62
Figura 63: Gráfico da Potência, dia 15/11/2022.	63
Figura 64: Gráfico do Fator de Potência, dia 15/11/2022.	63
Figura 65: Gráfico da Potência, dia 06/11/2022.	64
Figura 66: Gráfico do Fator de Potência, dia 16/11/2022.	64
Figura 67: Gráfico da Potência, dia 17/11/2022.	65
Figura 68: Gráfico do Fator de Potência, dia 17/11/2022.	65
Figura 69: Gráfico da Potência, dia 18/11/2022.	66
Figura 70: Gráfico do Fator de Potência, dia 18/11/2022.	66
Figura 71: Gráfico da Potência, dia 10/11/2022.	67
Figura 72: Gráfico do Fator de Potência, dia 19/11/2022.	67
Figura 73: Gráfico do Fator de Potência, 13/11/2022 a 10/11/2022.	68
Figura 74: Gráfico do Fator de Potência, 13/11/2022 a 19/11/2022.	68
Figura 75: Gráfico da Potência, dia 20/11/2022.	70

Figura 76: Gráfico do Fator de Potência, dia 20/11/2022.	71
Figura 77: Gráfico da Potência, dia 21/11/2022.	71
Figura 78: Gráfico do Fator de Potência, dia 21/11/2022.	72
Figura 79: Gráfico da Potência, dia 22/11/2022.	72
Figura 80: Gráfico do Fator de Potência, dia 22/11/2022.	73
Figura 81: Gráfico da Potência, dia 23/11/2022.	73
Figura 82: Gráfico do Fator de Potência, dia 23/11/2022.	74
Figura 83: Gráfico da Potência, dia 24/11/2022.	74
Figura 84: Gráfico do Fator de Potência, dia 24/11/2022.	75
Figura 85: Gráfico da Potência, dia 25/11/2022.	75
Figura 86: Gráfico do Fator de Potência, dia 25/11/2022.	76
Figura 87: Gráfico da Potência, dia 26/11/2022.	76
Figura 88: Gráfico do Fator de Potência, dia 26/11/2022.	77
Figura 89: Gráfico da Potência, 20/11/2022 a 26/11/2022.	77
Figura 90: Gráfico da Potência, 20/11/2022 a 26/11/2022.	78
Figura 91: Gráfico da Potência, dia 27/11/2022.	80
Figura 92: Gráfico do Fator de Potência, dia 27/11/2022.	80
Figura 93: Gráfico da Potência, dia 28/11/2022.	81
Figura 94: Gráfico do Fator de Potência, dia 28/11/2022.	81
Figura 95: Gráfico da Potência, dia 29/11/2022.	82
Figura 96: Gráfico do Fator de Potência, dia 29/11/2022.	82
Figura 97: Gráfico da Potência, dia 30/11/2022.	83
Figura 98: Gráfico do Fator de Potência, dia 30/11/2022.	83
Figura 99: Gráfico do Fator de Potência, 27/11/2022 a 30/11/2022.	84
Figura 100: Gráfico do Fator de Potência, 27/11/2022 a 30/11/2022.	84
Figura 101: Gráfico das tensões no CAE no mês de novembro de 2022.	87
Figura 102: Gráfico das correntes no CAE no mês de novembro de 2022.	

1. Introdução

Nos últimos anos, a energia solar tem se destacado como uma solução promissora para a geração de eletricidade limpa e sustentável. O crescente interesse e a adoção em larga escala de sistemas solares fotovoltaicos têm impulsionado significativamente a transição para fontes de energia renováveis.

No entanto, a eficiência da conversão de energia elétrica e a qualidade da energia gerada pelos sistemas solares vão além da simples geração de eletricidade. Um dos fatores essenciais para garantir o desempenho ideal e a operação eficiente desses sistemas é o fator de potência.

O fator de potência é um indicador crucial da eficiência na utilização da energia elétrica. Refere-se à relação entre a potência ativa (real) e a potência aparente do sistema. Um fator de potência adequado é fundamental para minimizar perdas, evitar sobrecargas na rede elétrica e melhorar a eficiência geral do sistema de energia.

No entanto, a natureza variável da geração solar apresenta desafios específicos para o fator de potência. A variação na intensidade da luz solar afeta diretamente a potência gerada, o que pode resultar em flutuações indesejadas do fator de potência e impactos na estabilidade da rede elétrica.

Este trabalho tem como objetivo analisar o fator de potência a fim de avaliar a qualidade da energia do Centro de Aulas das Engenharias (CAE) da Universidade Federal de Goiás (UFG), localizada no Setor Universitário, em Goiânia-GO. E avaliar como o sistema fotovoltaico pode influenciar na qualidade de energia.

Portanto, visa estudar como um sistema fotovoltaico conectado à rede pode impactar o fator de potência da instalação pela percepção da concessionária, e como a compensação deste parâmetro, para que permaneça nos níveis normalizados, é necessária para diminuir os distúrbios que este possa causar na rede elétrica da concessionária.

2. Fundamentação Teórica

O século XXI foi um século muito conturbado quando se fala sobre a Engenharia Elétrica. Thomas Edson e Nicola Tesla (junto com Westinghouse) protagonizaram uma guerra gigantesca, que decidiria os rumos da engenharia na atualidade. Como tratado pelo Dario Fuchs, 1977; em seu livro, de um lado havia Thomas Edson defendendo sua forma de transmissão de energia por corrente contínua, espalhando boatos sobre corrente alternada e monopolizando a transmissão de energia nos Estados Unidos (*Edison General Electric*, que se transformou posteriormente em *General Electric*); enquanto do outro lado Westinghouse e Tesla brigando pela transmissão em corrente alternada (*Westinghouse Electric Corporation*). O filme “Guerra das Correntes” trata sobre esse marco histórico (Fuchs, 1977).

De acordo com (Fuchs, 1977), em torno de 1884 foi inventado o Transformador de Potência, que permite abaixar e elevar a tensão bem como fosse necessário. Deste modo, era possível elevar a tensão, para diminuição da corrente elétrica passada nos cabos, diminuindo tanto a bitola, quando as perdas na transmissão ($P = R \times i^2$). Com essa possibilidade em mãos, como tratado por Dario Fuchs, 1977; se tornou mais viável a transmissão por corrente alternada, forma como é feita a transmissão de energia em sua maioria na atualidade. Entretanto, várias aplicações de energia em corrente contínua não podem ser trocadas pela corrente alternada, como será tratado mais adiante.

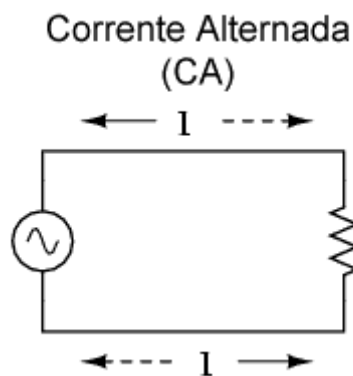
A forma de transmissão de energia, dessa forma, em alternada é bem simples de se entender: É gerada energia em corrente alternada por meio de geradores, os quais passam por transformadores de potencial que elevam a tensão (Fuchs, 1977). Por meio de cabos de energia, a energia gerada é transportada em altas tensões com correntes menores. Ao chegar em subestações são abaixadas as tensões, que são distribuídas sobre “média tensão” dentro das cidades (Fuchs, 1977). Ao chegar nos locais de uso, passam por transformadores para transformação da tensão para 380 V entre fases, o qual é usada nos consumidores finais. Para uso de eletrônicos, eles possuem dispositivos retificadores para corrente contínua.

2.1. Corrente Alternada

Como tratado anteriormente, existem dois tipos de corrente na geração de energia, podendo elas serem: corrente alternada ou corrente contínua. Ambos os tipos de corrente geradas funcionam para o transporte (Fuchs, 1977), assim sendo, para a decisão de qual tipo é melhor ou mais fácil no uso, é necessário, inicialmente, tratar as diferenças e particularidades de cada tipo de corrente.

A figura 1 traz uma exemplificação de como funciona a corrente alternada. Em um momento inicial a corrente se move no sentido anti-horário, indicado pela seta contínua. Em outro momento a corrente se moverá no sentido horário, indicado pela seta pontilhada. Essa alternância do sentido da corrente, é o que se denomina corrente alternada (Dorf e Svoboda, 2012).

Figura 1: Exemplificação do funcionamento da corrente alternada.



Fonte: Silveira, 2018.

A alternância da corrente alternada funciona de forma periódica, repetindo o mesmo efeito quando em regime permanente. Como dito por Haykin e Veen, 2001; quando um sistema se comporta de forma periódica, é possível transformá-lo na Série de Fourier.

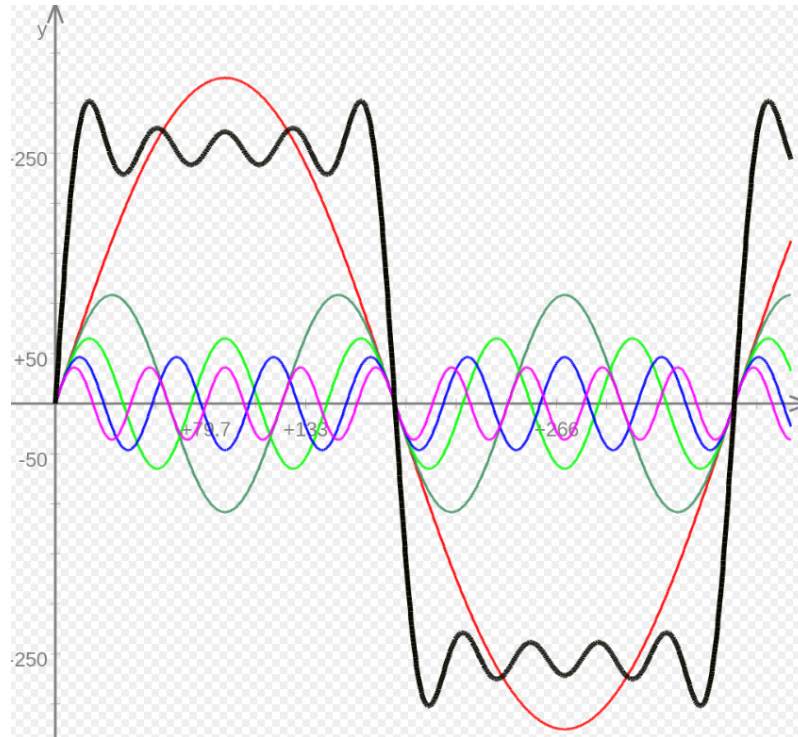
Na equação 1 tem-se a Série de Fourier.

$$f(x) = \frac{a_0}{2} \sum_{n=1}^{\infty} \left[a_n \cos\left(\frac{n\pi x}{L}\right) + b_n \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right) \right] \quad (1)$$

A Série de Fourier é uma série matemática, que como qualquer outra série, serve para encontrar números por somas de outros números. Dentro da Série de Fourier, diz sobre a

possibilidade de se encontrar qualquer sistema de periódico através da soma de senos e cossenos. A figura 2 exemplifica como funciona essa Série (Haykin e Veen, 2001).

Figura 2:Série de Fourier.



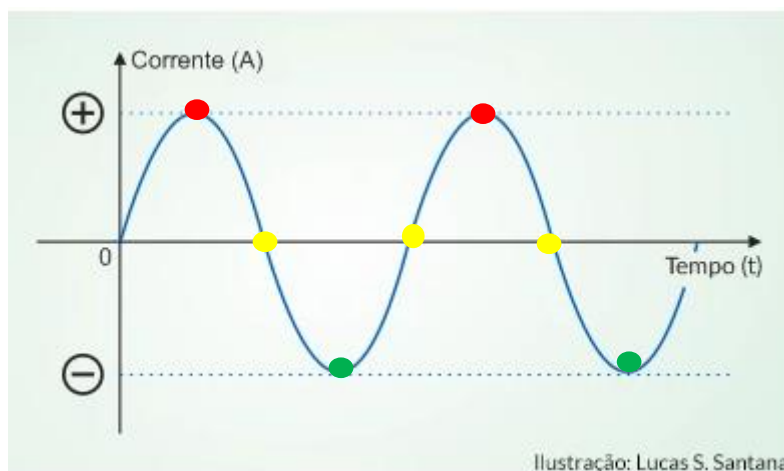
Fonte: Haykin e Veen, 2001.

Como mostrado pela Figura 2, todos os traços, tirando o de preto, são senos e cossenos. Ao pegar essas ondas e somá-las, em razão dos efeitos construtivos e destrutivos obtém-se por resultado a onda em preto que, por sua vez, possui um caráter próximo a uma onda quadrada periódica. Esse é o significado tirado de ondas de Fourier (Haykin e Veen, 2001).

Deste modo, como a corrente alternada se comporta de forma periódica, é possível torná-la uma senóide. Essa periodicidade vai tender a uma frequência de onda da corrente (será chamada de frequência de onda fundamental), a qual por dispositivos eletrônicos, pode ser alterada, criando os harmônicos, que alterarão essa frequência fundamental (Haykin e Veen, 2001). Posteriormente será explicado esse efeito de alteração da frequência da onda por dispositivos eletrônicos.

A Figura 3 traz um esquemático do funcionamento da corrente alternada em seu caráter senoidal.

Figura 3: Esquemático do funcionamento da corrente alternada em seu caráter senoidal.



Fonte: Hugo Shigueo Tanaka, 2012.

Como apresentado na Figura 3, supondo com base na figura 1 que positivo é sentido anti-horário e negativo horário, o ponto em vermelho é o ponto de corrente máxima no sentido anti-horário, o de verde máximo no horário, e o ponto de amarelo o ponto 0, em que há a alteração de sentido da corrente (Dorf e Svoboda, 2012).

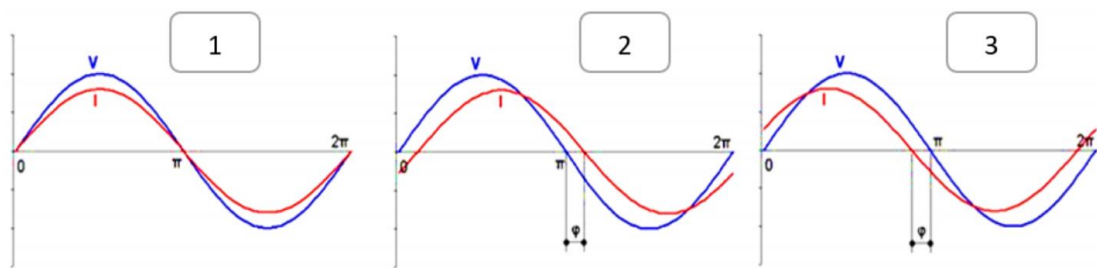
Uma vez já explicada a corrente alternada, é possível analisar as características desse tipo de corrente. Considerando o exposto na Figura 3 como base, se a onda for deslocada para as laterais (direita ou esquerda), haverá a modificação dessa onda. O efeito de onda da forma como apresenta a figura 3, é vinda de circuitos puramente resistivos, com somente resistores. Nesses tipos de circuitos não haverá deslocamento da onda no eixo do tempo (Dorf e Svoboda, 2012).

Indutores e capacitores são componentes fundamentais em circuitos elétricos. Os indutores armazenam energia em um campo magnético e têm a propriedade de resistir a mudanças abruptas na corrente elétrica. Já os capacitores armazenam energia em um campo elétrico, respondendo rapidamente a variações na tensão. Esses dispositivos desempenham papéis essenciais em diversas aplicações, como filtragem de sinais, armazenamento de energia, supressão de ruídos e regulação de corrente e tensão em circuitos eletrônicos (Dorf e Svoboda, 2012).

Quando os circuitos possuem capacitância e indutância, vindos, respectivamente, dos capacitores e indutores, haverá um deslocamento no eixo do tempo dessa onda

apresentada na Figura 3. Se houver um atraso na corrente em relação a tensão, a onda se move para a direita pelo efeito da carga indutiva. Se houver um adiantamento da corrente em relação a tensão, a onda se move para esquerda pelo efeito de carga capacitiva (DORF e SVOBODA, 2012). A figura 4 ilustra esse efeito, em 1 é apresentado o efeito resistivo, em 2 o indutivo e em 3 o capacitivo.

Figura 4: Efeito resistivo, indutivo e capacitivo

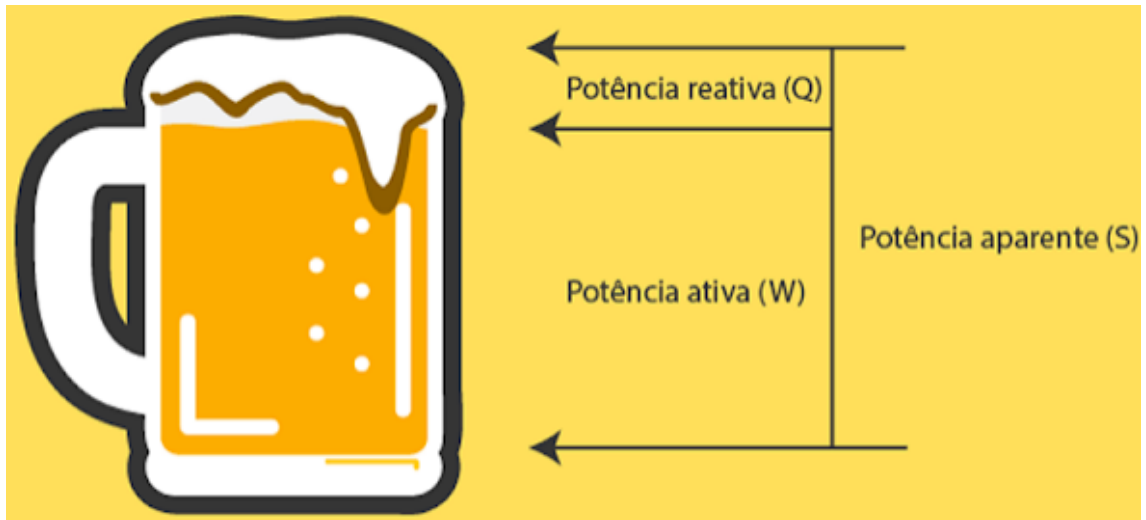


Fonte: Electric, 2020.

Esses efeitos em um sistema de energia, se apresentam quebrando a energia em 2 tipos, sendo elas a energia ativa e energia reativa. A energia ativa é a energia necessária para o uso dos equipamentos, ou seja, é a energia que pode ser transformada em trabalho útil. A energia reativa é a energia perdida pela energização/desenergização do campo elétrico do capacitor e da histerese do campo magnético do indutor, causada pela alternância de sentido da corrente. É justamente esse efeito da energia reativa que causa o atraso/adiantamento da corrente em relação a tensão (Dorf e Svoboda, 2012).

Na Figura 5 é apresentada justamente essa ideia de tipos de energia, fazendo um paralelo com a cerveja. A energia ativa é justamente a parte que o consumidor quer (a cerveja); entretanto junto com ela vem a parte reativa que está presente, uma perda apresentada (a espuma); enquanto o que é produzida é a energia total aparente, uma soma da reativa com a ativa (todo o conteúdo do copo).

Figura 5: Potência ativa, reativa e aparente.



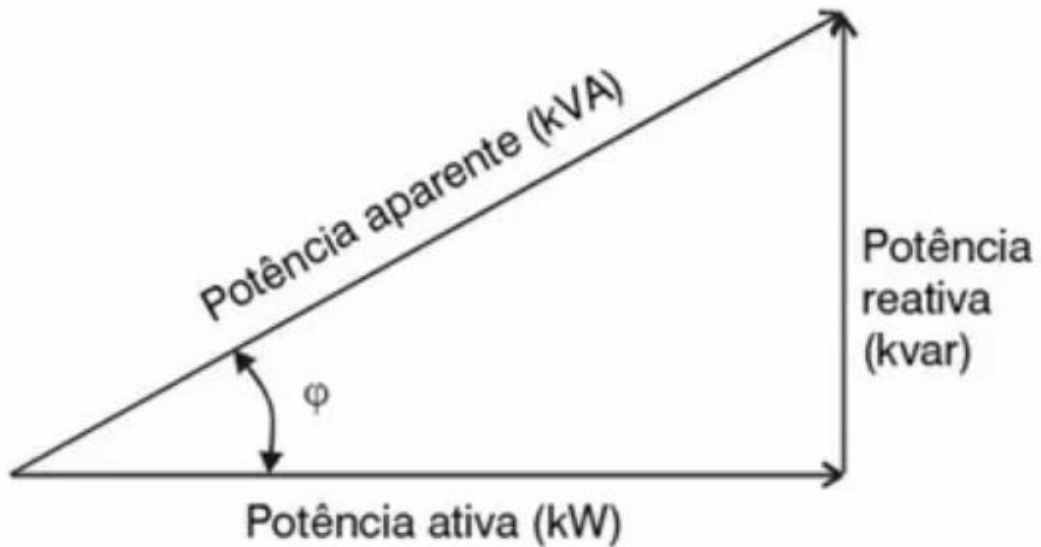
Fonte: Felipe, 2013.

Essa somatória das energias ativas e reativas não se dão de forma simples. Na matemática é traçado um paralelo com o plano dos números complexos. Os vetores da energia ativa e reativa são perpendiculares, ocasionando em uma soma por um triângulo pitagórico (Dorf e Svoboda, 2012). A equação 2 mostra justamente a forma em que a somatória das energias é feita para obter o resultado da energia aparente, sendo E_R energia reativa, E_A energia ativa e E_S energia aparente.

$$E_S = \sqrt{E_A^2 + E_R^2} \quad (2)$$

A equação 2 é relacionada ao triângulo retângulo da Figura 6, definida pelo teorema de Pitágoras (Dorf e Svoboda, 2012). É importante ressaltar que, ao se falar de energia com tempo constante, as análises são transferidas também para potência, visto uma vez que $E = P \times t$. Por essa razão, normalmente o fator de potência é retirado diretamente das potências, e não energias (por mais que possa ser feito), onde a potência aparente (kVA) é representada como S, a potência ativa (kW) como P e a potência reativa como Q (kVAr) (Dorf e Svoboda, 2012).

Figura 6: Triângulo de potência.



Fonte: Henrique Mattede, 2007.

Através da Figura 6, é possível observar o ângulo θ , cujo cosseno é chamado de fator de potência. Outra forma de ver o fator de potência, é como sendo o resultado entre a potência ativa dividida pela potência aparente, ou seja, um medidor para indicar o quanto de potência ativa está saindo do sistema total (Dorf e Svoboda, 2012). A equação 3 mostra esse cálculo do fator de potência, sabendo que o ângulo θ é o ângulo entre potência aparente (S) e ativa (P).

$$FP = \text{cosseno} (\theta) \quad (3)$$

O fator de potência é um dos indicadores importantes para o controle da qualidade de energia elétrica. A Resolução Normativa 1000 da ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel, 2021) estabelece que o limite inferior para o fator de potência, em consumidores do Grupo A, é equivalente a igual a 0,92, ou seja, não pode ser menor que este valor supracitado. Como já falado, o fator de potência depende dos capacitores e indutores, desse modo é feito filtros com bancos de capacitores e indutores para filtragem de corrente e modificação do fator de potência (Dorf e Svoboda, 2012). Uma observação a ser feita é que as linhas de transmissão normalmente possuem um caráter

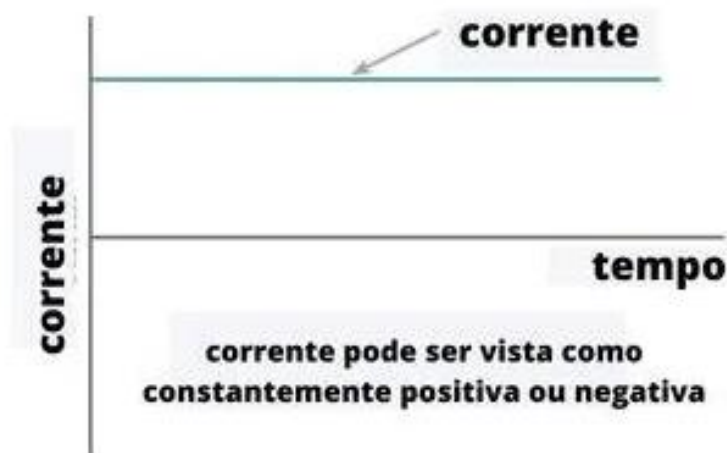
indutivo predominante, por esse motivo os bancos de capacitores são os mais comuns para correção do FP (enquanto a linha atrasa a corrente os capacitores adiantam, anulando os efeitos) (Fuchs, 1977).

2.2. Corrente Contínua

O segundo tipo de corrente existente, a corrente contínua (CC), não possui as mesmas características que a corrente alternada. Enquanto na corrente alternada possui um efeito indutivo e capacitivo, na corrente contínua só existe resistência (Dorf e Svoboda, 2012).

Diferentemente da corrente alternada, a corrente contínua é aproximadamente uma reta. A figura 7 ilustra o comportamento da CC.

Figura 7: Corrente contínua.



Fonte: Universidade Raissa, 2022.

Na realidade, como os geradores geram corrente alternada, a maioria das vezes que as correntes contínuas são vistas, elas são transformações de uma corrente alternada, através de dispositivos retificadores, que não deixam o gráfico da corrente uma reta como na figura 8, e sim com o aspecto trepidado (Dorf e Svoboda, 2012). Nos tópicos 2.3 e 2.4 a seguir será melhor tratado e visto sobre essa retificação da onda.

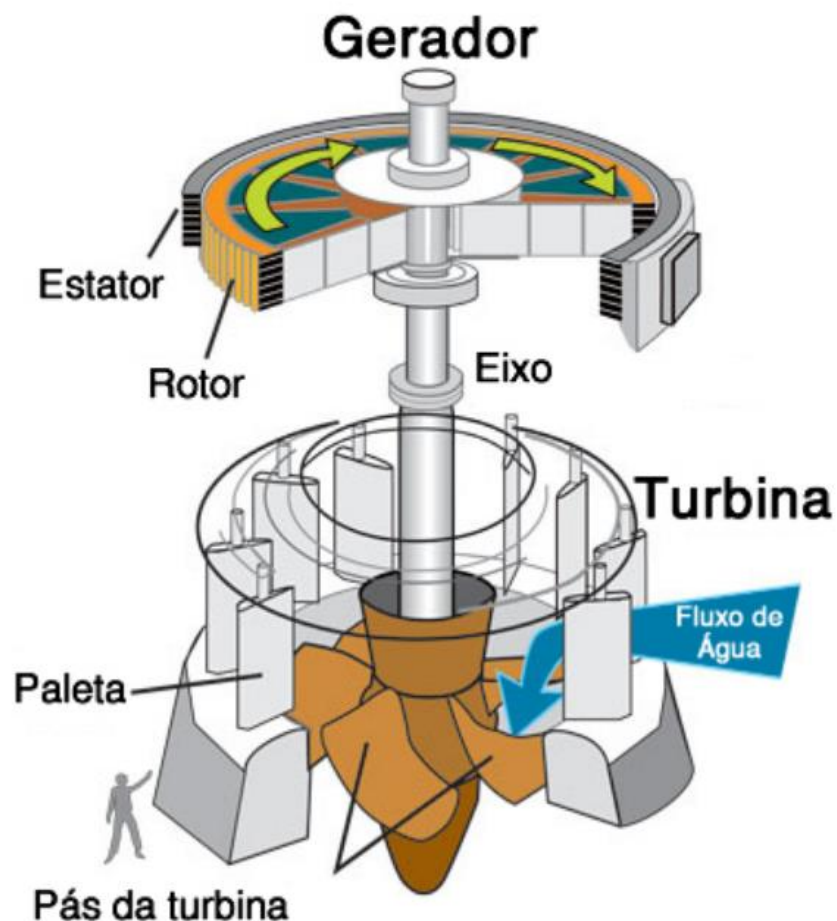
2.3. Funcionamento de geradores.

O princípio de geração de energia por geradores síncronos funciona através do princípio da indução eletromagnética. Grosso modo, os geradores são máquinas elétricas

capazes de converter a energia mecânica em energia elétrica. Considerando o exemplo de uma hidrelétrica, o contato da água nas pás do gerador, faz o eixo rotacionar. A rotação gera um torque resultante, o qual faz um “ímã” gigante girar e, assim, cria uma variação de fluxo magnético. Esta variação gera nas bobinas do gerador uma corrente induzida, a qual é retirada. Como a própria geração é realizada através dessa variação de fluxo, a corrente induzida é alternada (Creppe e Simone, 2010).

Na figura 8 é exemplificado o funcionamento de um gerador em usinas hidrelétricas. A água em contato com as paletas força um giro do eixo, gerando a corrente elétrica induzida na saída, pelo princípio do eletromagnetismo.

Figura 8: Funcionamento de um gerador em usinas hidrelétricas.

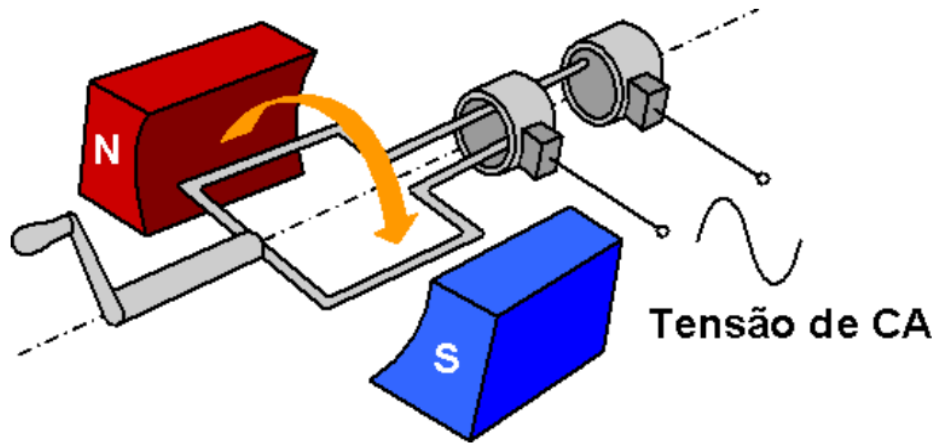


Fonte: U.S Army Corps of Engineers, 2016.

No caso exemplificado pela figura 9, a bobina gira em torno do campo magnético fixo através de uma manivela. Esse giro cria uma variação no campo magnético, que ocasiona

uma corrente na bobina, a qual induz uma corrente elétrica alternada na saída do gerador (Creppe e Simone, 2010).

Figura 9: Funcionamento de um gerador.

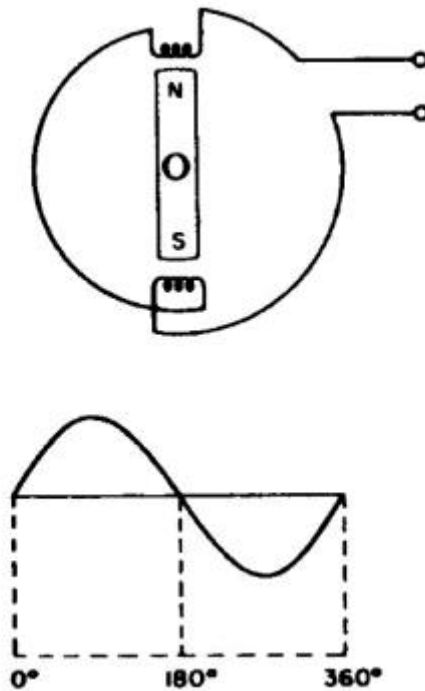


Fonte: SB.LOK, 2018.

Como mostrado, no funcionamento de geração de energia por geradores, a corrente gerada é sempre corrente alternada. A variação do campo magnético é a causadora da corrente elétrica gerada, e por ser variada, deste modo a corrente “herda” essa variação do campo causada, vista em forma de corrente alternada. Na figura 10 é mostrada essa geração de corrente alternada. À medida que o polo magnético (parte superior da Figura indicado por N e S) gira, é induzida uma corrente alternada (Creppe e Simone, 2010).

Para os casos de geradores com geração em corrente contínua, estes possuem dispositivos retificadores em sua saída para transformação de corrente alternada em contínua (Creppe e Simone, 2010). Essa retificação será tratada no tópico a seguir.

Figura 10: Geração de corrente alternada em gerador.



Fonte: Pinheiro, 2007.

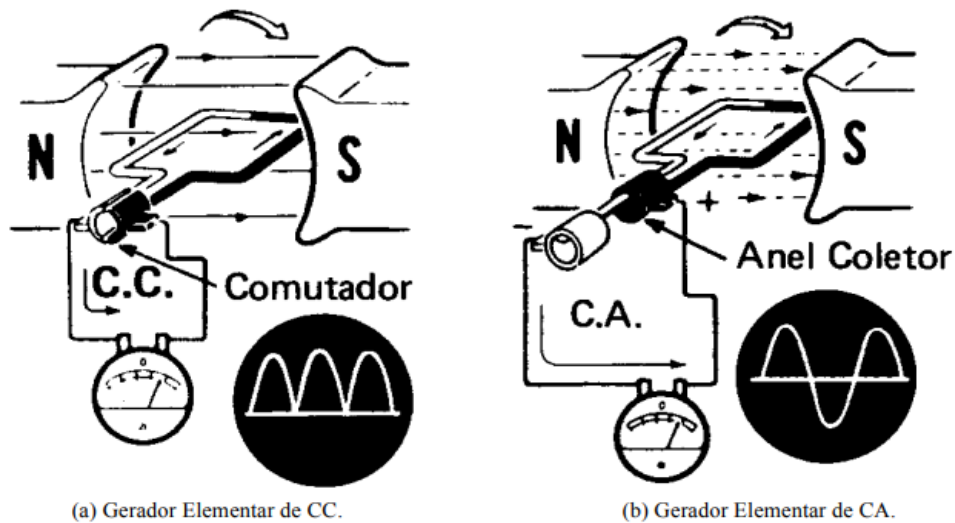
2.4. Retificação de corrente

Para o funcionamento de dispositivos eletrônicos, se faz necessário o fornecimento de uma corrente contínua, pois a corrente alternada é instável para o funcionamento desses dispositivos. Para um eletrônico funcionar de forma estável e contínua, o fornecimento de corrente deve ser constante. Na corrente alternada, uma hora a corrente é máxima e a outra hora é zero (Sedra e Smith, 2007).

Como a geração de corrente se dá de forma alternada pelos geradores, é necessária uma transformação de CA para CC. Essa transformação ocorre por dispositivos retificadores (Sedra e Smith, 2007).

Nos geradores de corrente contínua, como os dínamos, a geração em corrente alternada é transformada em corrente contínua através destes retificadores. Nesse caso em específico, a transformação ocorre por um comutador, que inverte a polaridade a cada meia rotação, fazendo a onda negativa inverter o sinal. Na figura 11 é representada essa transformação (Sedra e Smith, 2007).

Figura 11: Gerador corrente contínua x alternada.



Fonte: Pinheiro, 2007.

A figura 11a refere-se a um gerador CC, enquanto a figura 11b, a um gerador CA e, em ambos, a geração de corrente é similar, sendo a única alteração o comutador no sistema, que funciona justamente como retificador. Pela figura, nota-se que a crista inferior da onda, ao passar pelo comutador, inverteu o sinal, indo para parte superior (Sedra e Smith, 2007).

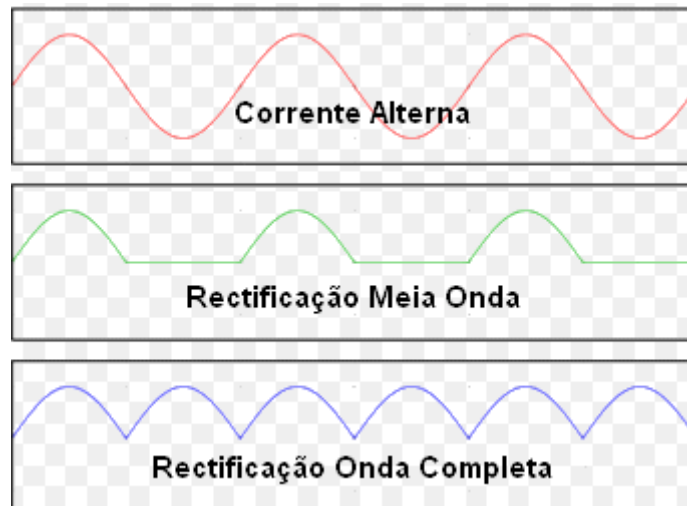
Dentro dos comutadores existe a possibilidade de ser um comutador de meia onda e um comutador de onda completa. A principal diferença entre os tipos é que no primeiro caso as cristas inferiores são cortadas totalmente, criando “buracos”, enquanto na onda completa o comutador por chaveamento inverte a polaridade, invertendo o sinal da corrente na crista negativa (Filho, 2012). A figura 12 mostra essa diferença entre ambos.

A figura 12 mostra a transformação da onda alternada. No primeiro caso mostra a corrente alternada; no segundo a retificação de meia onda, e no terceiro caso a retificação de onda completa.

Após essas ondas passarem pelos comutadores, normalmente passam posteriormente por capacitores, que conseguem armazenar energia em forma de campo elétrico, e liberam para o sistema essa energia guardada a partir do momento que o sistema para de fornecer energia, o que é evidenciado pela figura 13. A descarga do capacitor suaviza a descida da

desenergizarão, fazendo a curva do sistema se aproximar de uma reta, emendando as cristas na parte superior (Filho, 2012).

Figura 12: Retificação de meia onda x onda completa.



Fonte: Filho, 2012.

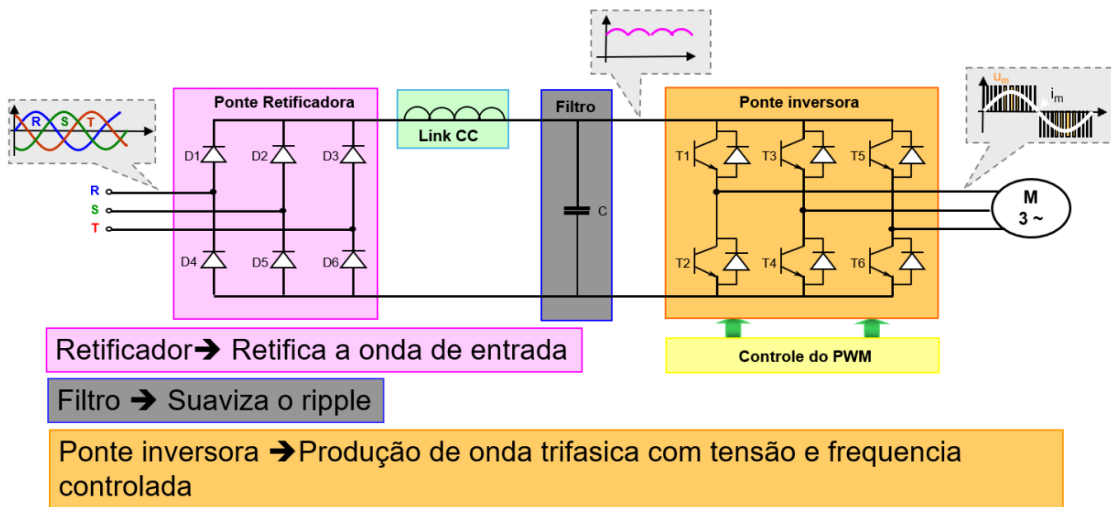
Figura 13: Efeito do capacitor na retificação.



Fonte: Yamamoto, 2015.

Uma forma de retificação de onda muito conhecida é através dos inversores de frequência. O funcionamento para a retificação mostra o mesmo padrão apresentado. Um filtro com diodos para quebra da parte negativa da corrente; e um capacitor na saída para suavização da descida entre as cristas (Filho, 2012). A figura 14 apresenta o funcionamento de um inversor de onda completa. No caso dos inversores, é possível o controle do sistema por meio da frequência de onda também.

Figura 14: Inversor de onda completa.



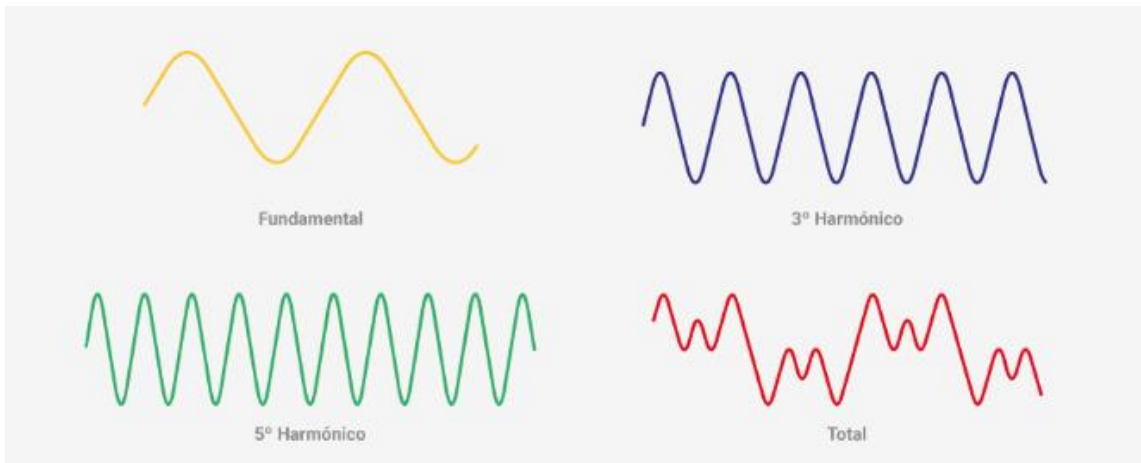
Fonte: Pedra, 2020.

Normalmente, os inversores de frequência são muito utilizados em indústrias, para controle de rotação de máquinas. Quando ligadas, as máquinas possuem um momento transitório em que a corrente pode chegar a 10 vezes o valor da corrente nominal. Essas correntes de partidas são um problema para os equipamentos, então medidas são tomadas para a diminuição delas. O inversor e o soft starter são as duas formas mais elegantes para a resolução dessa problemática. O inversor através da frequência controla o acionamento das máquinas, controlando essa corrente inicial, e o soft starter por chaveamento de tiristores corta a onda inicial (Filho, 2012).

Entretanto, todos os equipamentos possuem características próprias em seu uso, os inversores alteram diretamente a frequência da onda alternada. O problema do uso desses inversores é o surgimento das harmônicas, algo também inerente à corrente alternada. Esse problema é contornado por uso de filtros LC (Filho, 2012). A figura 15 mostra a distorção causada por harmônicos.

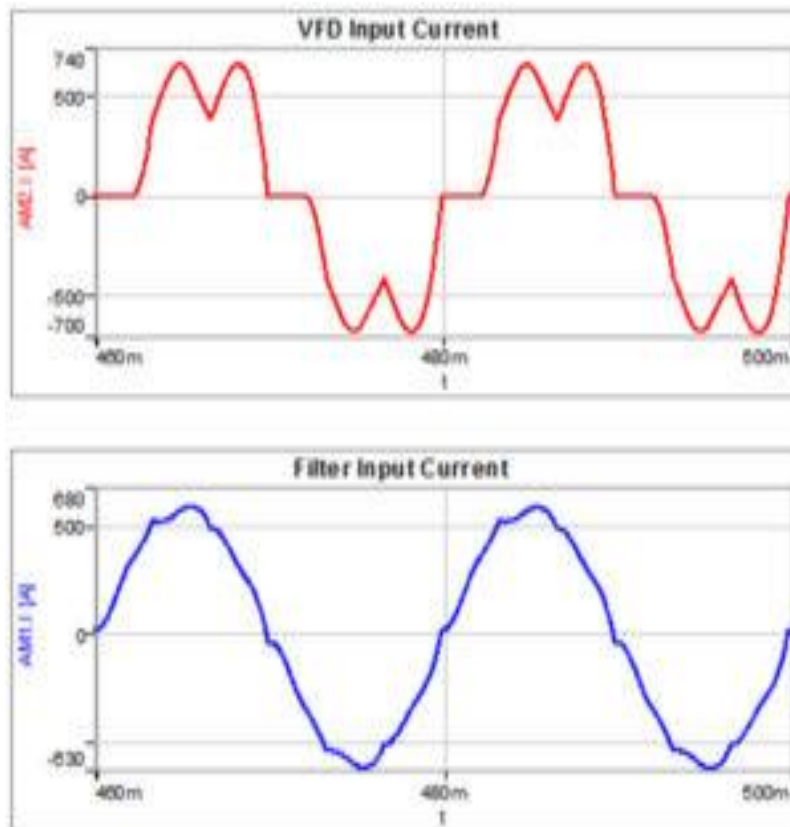
A figura 15 mostra o princípio já mostrado da Série de Fourier, a somatória dos 3 harmônicos gerou uma onda no final distorcida. A onda mais limpa possível requerida é a onda em harmônico fundamental. Essas distorções se dão por razão principal de cargas eletrônicas, que precisam de inversores para retificação da onda em seu uso, e por esse motivo criam essas harmônicas (Filho, 2012). A figura 16 mostra normalmente como é vista uma onda distorcida por harmônicas.

Figura 15: Efeito da distorção da onda por harmônicas.



Fonte: Power Control, 2019.

Figura 16: Onda distorcida por harmônicas.



Fonte: Silva, 2018.

Essas harmônicas são prejudiciais ao sistema pois torna o sistema elétrico imprevisível. O sistema elétrico foi todo baseado para atuar de uma forma e, ao modificar

os parâmetros, a maneira de atuação deixa de funcionar, ocasionando em erros e danos a equipamentos (Sedra e Smith, 2007).

Como visto até o momento, a energia elétrica pode ser fornecida de dois modos, sendo corrente contínua ou corrente alternada. As duas formas possuem suas particularidades, e para uso de aparelhos eletrônicos é necessário a transformação para corrente contínua da corrente.

Entretanto, existe um tipo de gerador em específico, os geradores solares fotovoltaicos, em que a geração se dá em CC. Por isso, é interessante avaliar os efeitos e as consequências de uma geração de corrente contínua em um sistema de distribuição de corrente alternada.

Nos tópicos a seguir será mais bem apresentado sobre a matriz energética brasileira e a importância da energia solar neste meio, para melhor entendimento da importância da tese.

2.5. Matriz energética brasileira

Atualmente, um dos maiores problemas retratados na humanidade é em torno da geração de energia. Resolvendo este problema seria possível solucionar vários outros problemas por consequência. Como retratado por Adams, todos os problemas da humanidade, com uma energia infinita e barata se torna possível a resolução; como uma água mais acessível para todos (dessalinização); melhores plantios e colheitas de alimentos; transporte de medicamentos, comida e de pessoas melhores e mais acessíveis para todos; entre tantos outros problemas (Adams, 2013).

Uma das maiores consequências apresentadas da forma como se gera energia atualmente, se não a maior, diz respeito a poluição gerada por algumas fontes de energia. As fontes chamadas de combustíveis fósseis geram uma alta poluição de gás carbônico. Com toda essa poluição gerada é enfrentado um grande problema chamado efeito estufa.

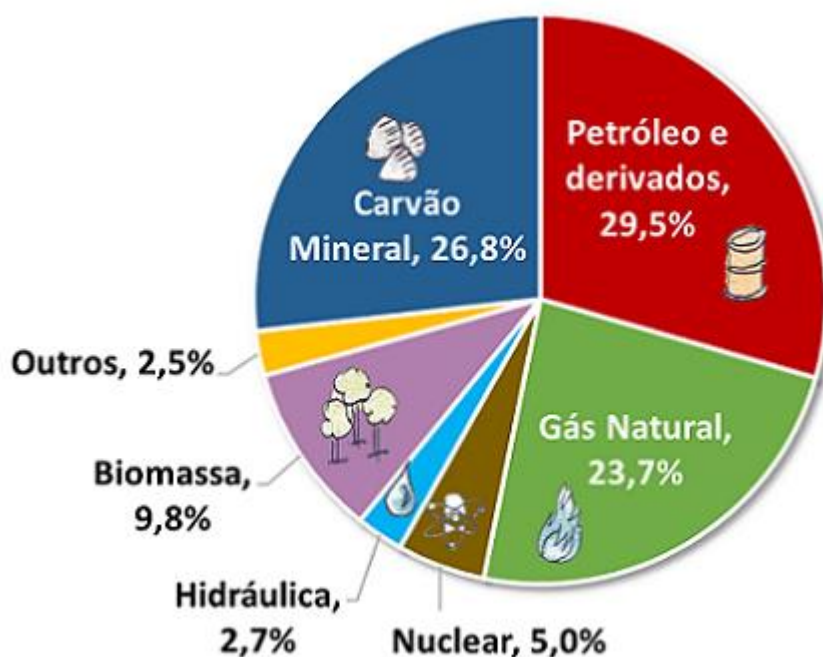
O efeito estufa em si é necessário para a manutenção da vida, porém com um acúmulo cada vez maior de gases na atmosfera, o efeito é cada vez mais agravado, fazendo o planeta ficar cada vez mais quente. Esse aquecimento desencadeia uma série de outros problemas como a morte de corais. Para contornar esse problema existem fontes limpas de energia, como a energia solar e a eólica (Ministério do Meio Ambiente, 2016).

A matriz elétrica brasileira é composta em 80% por fontes renováveis (Absolar, 2023). Porém, para automóveis, já é um problema um pouco maior. Existem sim veículos que não usam energia por combustão, e sim elétrica, porém não são populares no Brasil, devido aos seus preços não acessíveis (Vaz; Barros; Castro Vaz et al, 2015). O ônibus pode ser uma solução para esse problema, tendo em vista que o uso de transporte compartilhado acarretaria menos poluição.

Conforme pode-se observar na figura 17, o combustível fóssil é a fonte de energia mais usada no mundo, correspondendo a 80% do total usado de energia, o que é muito prejudicial, visto que esses tipos de energia contribuem com a poluição da atmosfera terrestre (EPE, 2023).

De fontes renováveis, como apresentado pela EPE, 2023; somando solar, eólica, e geotérmica, correspondem a apenas 2,5% da matriz energética mundial, a parte “outros” da Figura 17. Somando todas as renováveis, têm um total correspondente de 15% aproximado. Os últimos 5% correspondem à energia nuclear.

Figura 17: Proporção de uso de fontes de energia no mundo em 2022.

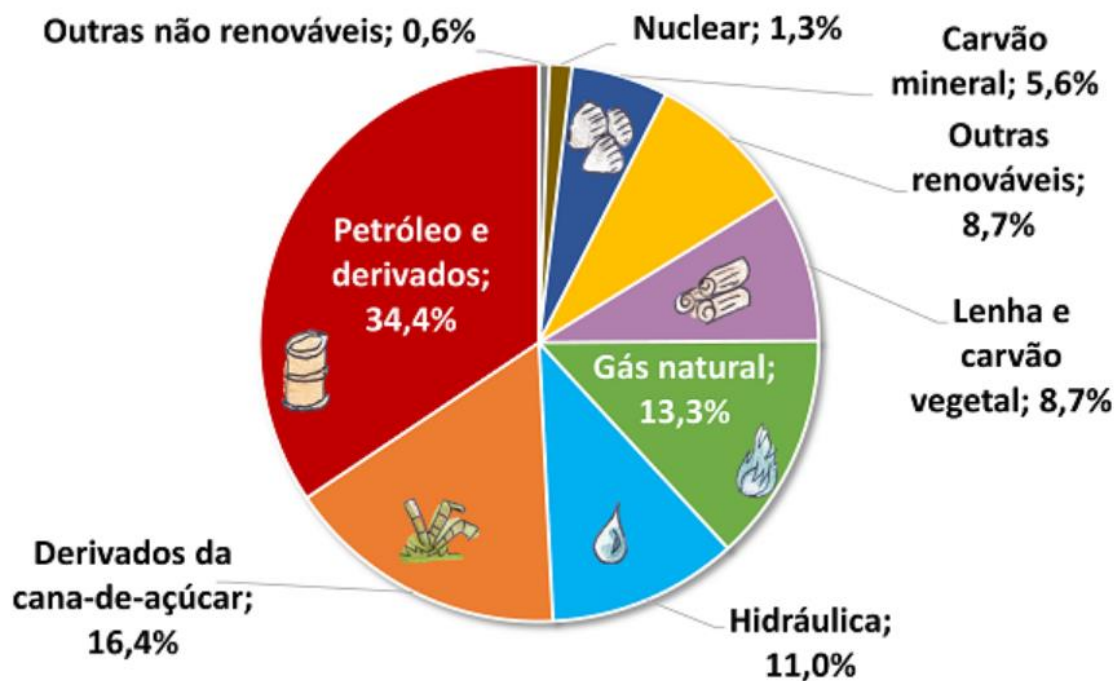


Fonte: Empresa de Pesquisa Energética, 2023.

Já a matriz energética brasileira se comporta de forma diferente da média mundial (Figura 18). Pelo motivo da abundância de água em território brasileiro, não se faz

necessário o uso de gás natural ou carvão mineral para geração de eletricidade, como na Europa (Reis, 2019).

Figura 18: Proporção de uso de fontes de energia no Brasil em 2022.



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética, 2023.

Considerando os dados da Figura 18, nota-se que, somando todas as renováveis, no Brasil, 44,8% da energia utilizada são provenientes de fontes de energia renovável, quase metade da matriz energética brasileira (EPE, 2023).

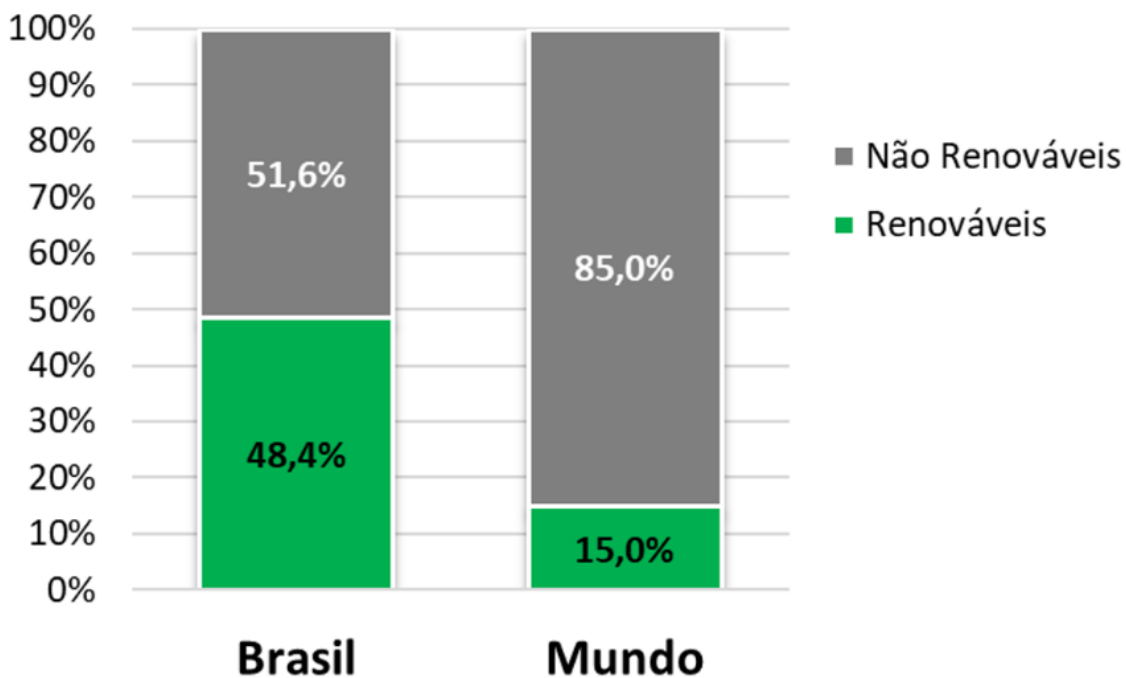
A EPE, considerando dados de 2020, apresentou um gráfico comparativo da quantidade de energia renovável e não renovável utilizada no Brasil em comparação com o mundo. Esse gráfico comparativo foi reproduzido na figura 19.

Pelo comparativo fornecido pela EPE (figura 19), é nítido que o Brasil é um país pioneiro no uso de energias renováveis. No ano de 2020, o Brasil em uso de energias renováveis alcançou uma porcentagem de aproximadamente 50% do total, enquanto o resto do mundo apresenta uma estatística pelo menos três vezes menor neste mesmo ano.

Toda problemática piora ainda mais quando é analisada a efemeridade dessas fontes não renováveis, que como pelo próprio nome já diz, não possui renovação a tempo de uso

contínuo delas. Como explicado pelo U.S *Energy Information Administration*, 2021; estima-se que o petróleo acabará até o ano de 2050.

Figura 19: Comparação matriz energética Brasil x Mundial.



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética, 2023.

Deste modo, a importância de energias renováveis não jaz somente em poluição, e adentra a problemática evidente das fontes de energia em breve. Visto deste modo, é necessária a busca por novas fontes de energia de forma urgente.

Como observado na figura 18, a energia hidráulica é a fonte de energia mais utilizada no Brasil dentre as renováveis, apresentando sozinha cerca de 11% da produção brasileira. Isso já é um grande passo para a sustentabilidade, porém mesmo não poluindo a atmosfera, as hidrelétricas trazem alguns problemas para o meio ambiente. Por exemplo, na construção de uma hidrelétrica, ocorre um alagamento de uma área enorme, acarretando a morte de várias espécies da fauna da região. (Pedrobar, 2018).

2.6. Energia solar

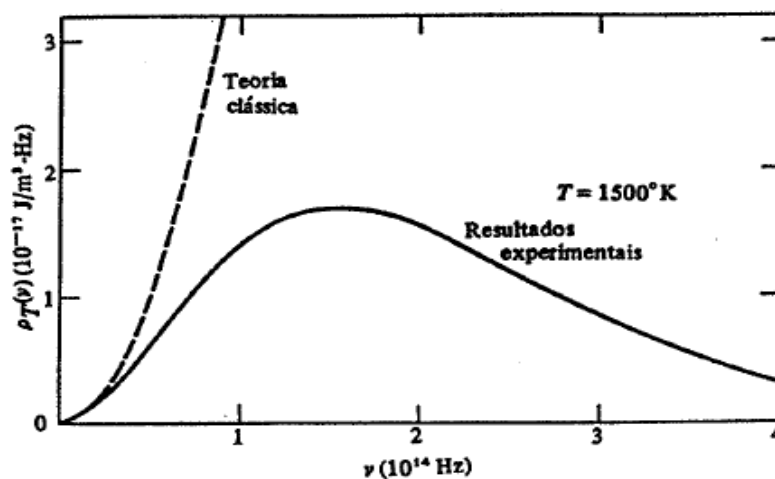
A energia solar é a energia mais primordial do planeta, e graças a Becquerel, hoje é possível usar essa energia, do mesmo modo que as plantas já fazem a milhares de anos.

Essa descoberta de geração de energia pelo sol, rendeu para Einstein um Nobel (Eisenberg e Resnick, 1979).

Por muito tempo na física, existiam grandes problemas não desenvolvidos, como a famosa catástrofe do ultravioleta. Na época em questão, a luz era tratada somente como uma onda eletromagnética e, portanto, a radiação se transmite de forma contínua (Eisenberg e Resnick, 1979).

Ao se analisar na época a radiação por cores (frequências de ondas), uma quebra na teoria era encontrada. Como mostrado por Eisenberg e Resnick, 1979; quando se analisava corpos escuros, os cálculos mostravam que ocorreria uma radiação infinita de energia no equilíbrio, o que não era visto acontecendo na realidade. A figura 21 mostra a diferença experimental da teoria encontrada, mostrando a intensidade de radiação por frequência de onda.

Figura 20: Catástrofe do ultravioleta.



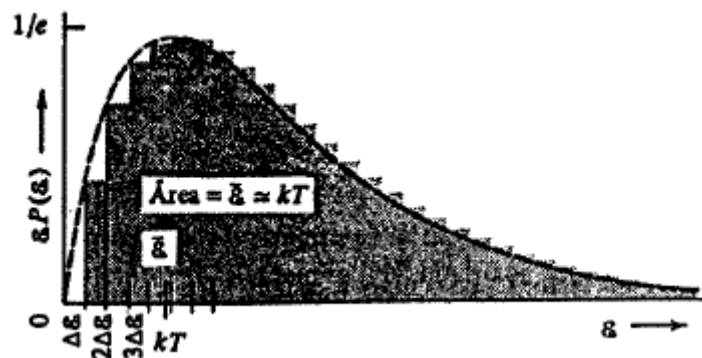
Fonte: Eisenberg e Resnick, 1979.

Pela figura 21 nota-se que para frequências pequenas existe uma quebra na teoria, a radiação se desloca para o infinito. Planck encontrou que todo o problema seria resolvido ao se analisar a radiação da energia por pacotes, análise essa que deu início a física quântica (Eisenberg e Resnick, 1979). Nessa análise feita, foi encontrado pelo mesmo a equação 4, que Einstein posteriormente usaria para sua descoberta. A famosa equação de Planck mostra a energia sendo transmitida por uma constante vezes a frequência de onda, conforme equação 4.

$$E = h \times \eta \quad (4)$$

A equação 4 mostra um grande problema para essa transmissão: A energia vem de “h” em “h”, a quantidade de h por vez depende da frequência “ η ” da radiação, desse modo a radiação estaria vindo de forma picotada, por pacotes de “h”, mas se a luz é uma onda, como a irradiação da mesma poderia ser por pacotes (Eisenberg e Resnick, 1979). A figura 22 mostra a forma de radiação vinda em pacotes. Para frequências altas a radiação se aproximava do esperado quando analisada de forma contínua a radiação.

Figura 21: Irradiação pela equação de Planck.



Fonte: Eisenberg e Resnick, 1979.

Einstein percebendo os cálculos de Planck, postulou que já que a energia era irradiada por pacotes, a transmissão dela quando em contato deveria acontecer da mesma forma. Também postulou que a energia é irradiada em pequenos pacotes de energia chamados fótons de luz. A luz então deveria ser tratada como uma onda, mas também como uma partícula, dependendo somente da forma em que fosse observada (Eisenberg e Resnick, 1979).

Dentro da teoria de Einstein para o efeito fotoelétrico, foi encontrado a equação 5, a qual mostra que a energia a ser irradiada dependeria de um fator Φ de "inércia", fator esse que deveria ser vencido para que o efeito pudesse ser visualizado (Eisenberg e Resnick, 1979).

$$E = h \times \eta - \Phi \quad (5)$$

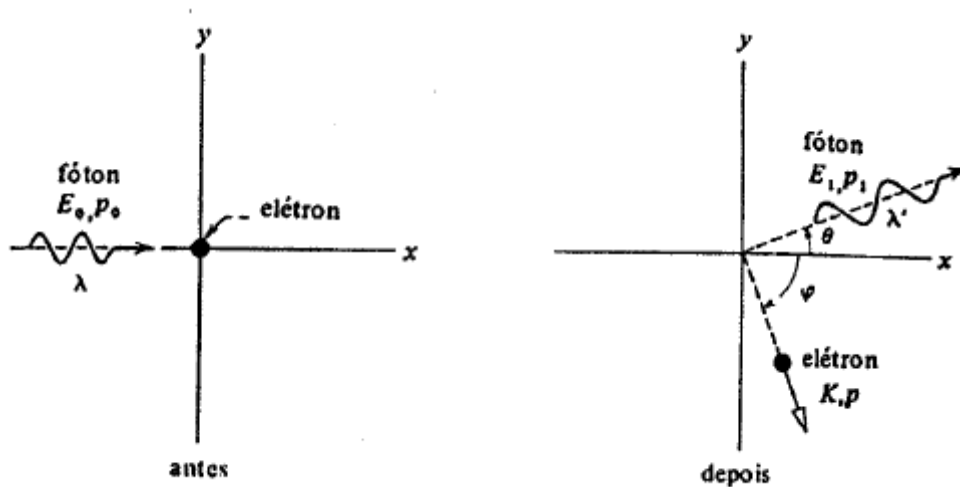
Einstein ainda mostrou que esse fator Φ poderia ser dado em função da constante de Planck “h” (Eisenberg e Resnick, 1979), encontrando a equação 6.

$$E = h \times \eta - h_0 x n_0 \quad (6)$$

Pela equação 6, encontra-se que para o efeito fotoelétrico ocorrer, dependeria somente de uma frequência de corte mínima, dada por η_0 . Se a frequência de onda fosse maior que η_0 , existiria o efeito fotoelétrico (Eisenberg e Resnick, 1979).

Esse efeito fotoelétrico é justamente a energização de elétrons do material energizado pela radiação. Esse elétron energizado começa a “saltar” de camada, escapando da partícula, podendo formar uma corrente elétrica (Eisenberg e Resnick, 1979). Deste modo, por placas, existiria a possibilidade de captação de energia solar, através do efeito fotoelétrico. A figura 23 ilustra esse efeito fotoelétrico.

Figura 22: Efeito fotoelétrico.



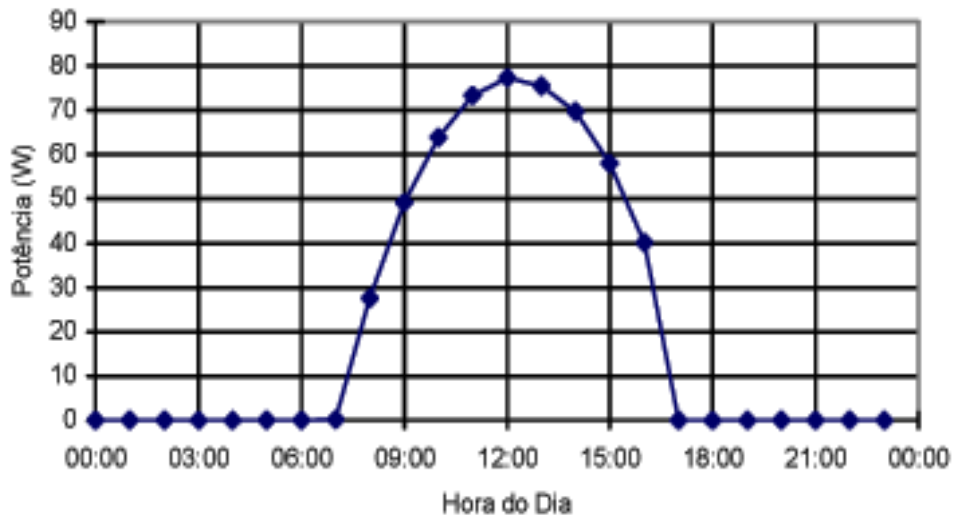
Fonte: Eisenberg e Resnick, 1979.

Como esse efeito de radiação não possui sinal, a corrente gerada pelo mesmo é uma corrente contínua, dependendo somente da intensidade luminosa do sol. Dessa forma, a energia solar é uma energia dada por corrente contínua. Como depende da quantidade de radiação, a quantidade de energia fornecida pela energia solar não é constante, tendo uma curva bem específica ao longo do dia, dada pela figura 23. Vale ressaltar que a curva dada pela figura 23 é ideal, para um dia sem nuvens. Para dias chuvosos e nublados a curva se

altera, diminuindo a irradiação dos módulos solares e a potência de saída (Jardim et al., 2004).

Existe o efeito fotovoltaico posicionando uma placa semicondutora, que funciona de forma similar ao efeito fotoelétrico, e é isso que gera a energia solar.

Figura 23: Curva da potência x horas do dia (energia solar).



Fonte: Jardim et al., 2004.

Outra observação a ser tomada é que a energia solar produzida é maximizada o quanto mais perpendicular à radiação solar estiver. Quanto mais perpendicular, menor é a reflexão de luz solar pelo painel, e maior a absorção de energia solar pelo mesmo (Jardim et al., 2004). Por esse motivo, o sol do meio-dia solar é o máximo ponto no gráfico da figura 23, justamente o momento de radiação perpendicular à placa solar.

Como dito anteriormente, a corrente gerada pela radiação solar é contínua e, portanto, é necessário utilizar um inversor que tem como função transformar a energia produzida pelos módulos solares de corrente contínua para corrente alternada com a finalidade de possibilitar a utilização em aparelhos elétricos.

Os principais equipamentos que compõem um sistema fotovoltaico são os inversores e os módulos. Existem dois tipos de sistema de energia elétrica produzida pelo sol, que recebem o nome de *on-grid* e *off-grid*. O mais utilizado é o *on-grid* desenvolvido para funcionar conectado à rede de distribuição, ou seja, não funciona como inversor autônomo.

Por isso, quando há o corte de energia, seja por problemas na rede de distribuição ou para manutenção, o inversor é desligado automaticamente. Esse tipo de geração utiliza um inversor construído para promover a interação com o sinal senoidal da corrente presente na rede e foi desenvolvido para operar especificamente com a rede se comportando como unidade de controle do sistema fotovoltaico *on-grid*.

Os inversores *on-grid* injetam na instalação elétrica a energia ativa que é produzida pelos módulos. Essa injeção de potência ativa pode diminuir o fator de potência das instalações, pois o consumidor passa a utilizar menos energia ativa da rede elétrica, solicitando, da mesma forma, a energia reativa da concessionária.

Figura 24: Inversor on-grid da marca Fronius.



Fonte: BlueSol, energia solar, 2021.

Já o sistema de geração de energia solar *off-grid* é utilizado em sistemas não acoplados à rede. Os sistemas *off-grid* têm a capacidade de fornecer energia às cargas quando não há rede pública disponível, dependendo apenas de um banco de baterias e da energia gerada pelos painéis fotovoltaicos. Diante disso, um sinal elétrico de corrente alternada é produzido, fornecendo a potência elétrica aos aparelhos consumidores.

2.7. Alteração do fator de potência pela energia solar

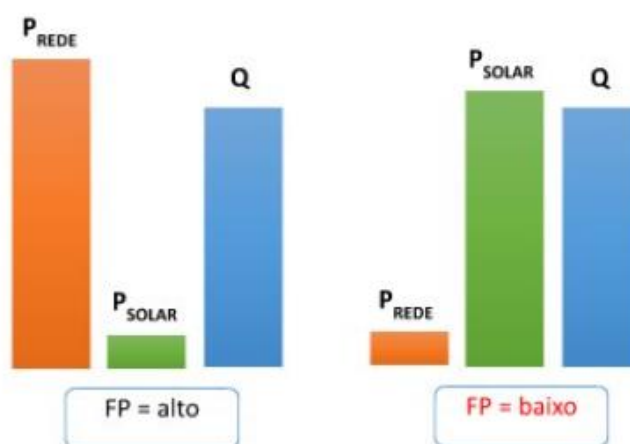
A geração distribuída é benéfica por estar próximo ao local de consumo e para ser utilizada como uma economia futura, mas por outro lado traz algumas preocupações no que se refere a qualidade de energia (QEE) que é diretamente ligada ao fator de potência, pois como a produção de eletricidade a partir das células fotovoltaicas não é constante,

oscila mediante as condições climáticas, o sistema fica instável. Sendo assim, o fator de potência passa a ser algo preocupante.

Com a introdução do sistema fotovoltaico, ocorre a redução do fator de potência, porém essa correção é feita pelo próprio inversor fotovoltaico ou por um banco de capacitores. Além da correção do fator de potência, o recurso do controle de potência ativa ou reativa dos inversores pode ser empregado para dar suporte ao controle de tensão em redes de distribuição longas ou em redes autônomas.

Conforme mostrado na figura 25, os sistemas fotovoltaicos injetam potência ativa, o que causa a redução do fator de potência das instalações, pois do ponto de vista da distribuidora o consumidor passa a utilizar menos energia ativa da rede elétrica, o que faz elevar proporcionalmente o seu consumo de energia reativa. Embora o consumo de potência reativa não seja alterado.

Figura 25: Gráfico da instalação com energia fotovoltaica x sem energia solar.



Fonte: Canal Solar, 2020

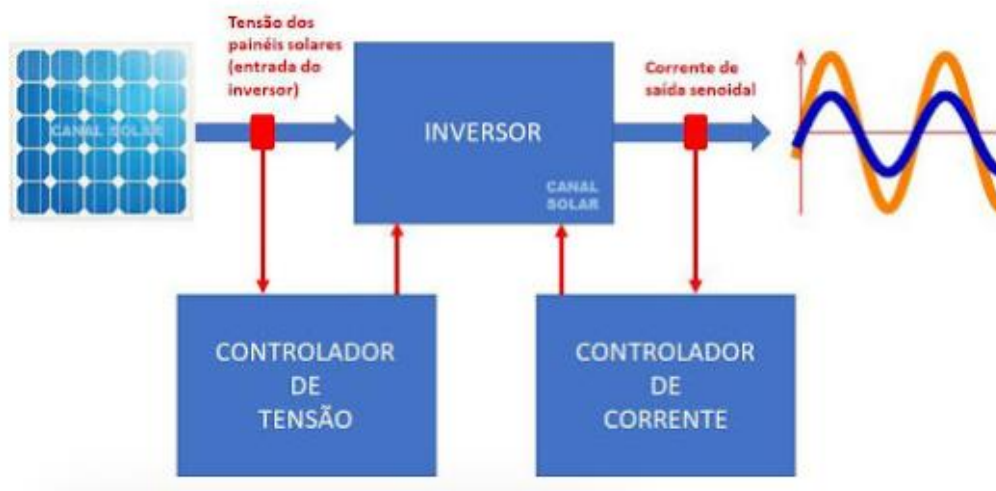
Os inversores *on-grid* têm a capacidade de fazer a injeção de potência reativa no sistema. Portanto, eles podem funcionar como capacitores. Por meio do controle do deslocamento de fase da corrente elétrica, o inversor é capaz de produzir correntes indutivas ou capacitivas.

O recurso de injeção do fator de potência do inversor não foi planejado para substituir os bancos de capacitores, mas para ajustar o fornecimento de reativos melhorando o fator de potência ou dar suporte ao controle de tensão e da frequência nas redes elétricas fracas,

que podem ser redes de distribuição em final de linha, com alta impedância, ou redes autônomas (Villalva, 2020).

O inversor apenas fornece uma pequena parcela de potência reativa, definida por uma curva de capacidade. Isso significa que, na ausência de potência ativa, o inversor não tem capacidade de injeção de potência reativa. Não sendo possível, por exemplo, fazer a compensação noturna do fator de potência com o inversor. A figura 26 mostra o sistema de controle da corrente de saída do inversor fotovoltaico *on-grid*.

Figura 26: Sistema de controle da corrente de saída do inversor.



Fonte: Canal Solar, 2020.

Segundo o portal solar, a instalação de SFVs ocasiona redução do FP das unidades consumidoras durante os horários de geração, o que pode levar a cobranças adicionais sobre excedentes reativos em unidades consumidoras do grupo A, diminuindo, assim, a economia total esperada com o projeto. Portanto, para estes clientes, é necessário considerar o comportamento do FP para o cálculo de viabilidade financeira do projeto.

3. Metodologia

Para a realização deste estudo, foi disponibilizado pela UFG os registros dos medidores do CAE (Centro de Aulas das Engenharias). Dentro dessa área, foram coletadas as medições do fator de potência e potência ativa em dois locais, sendo um na entrada da instalação do prédio e o outro ponto no sistema fotovoltaico.

A análise foi feita para todos os dias de novembro do ano de 2022; e os gráficos gerados serão todos apresentados em ordem com seus respectivos comentários.

O multimedidor é o equipamento usado para a obtenção dessas medições. Na Figura 27 é apresentado um exemplo de um multimedidor.

Figura 27: Multimedidor.



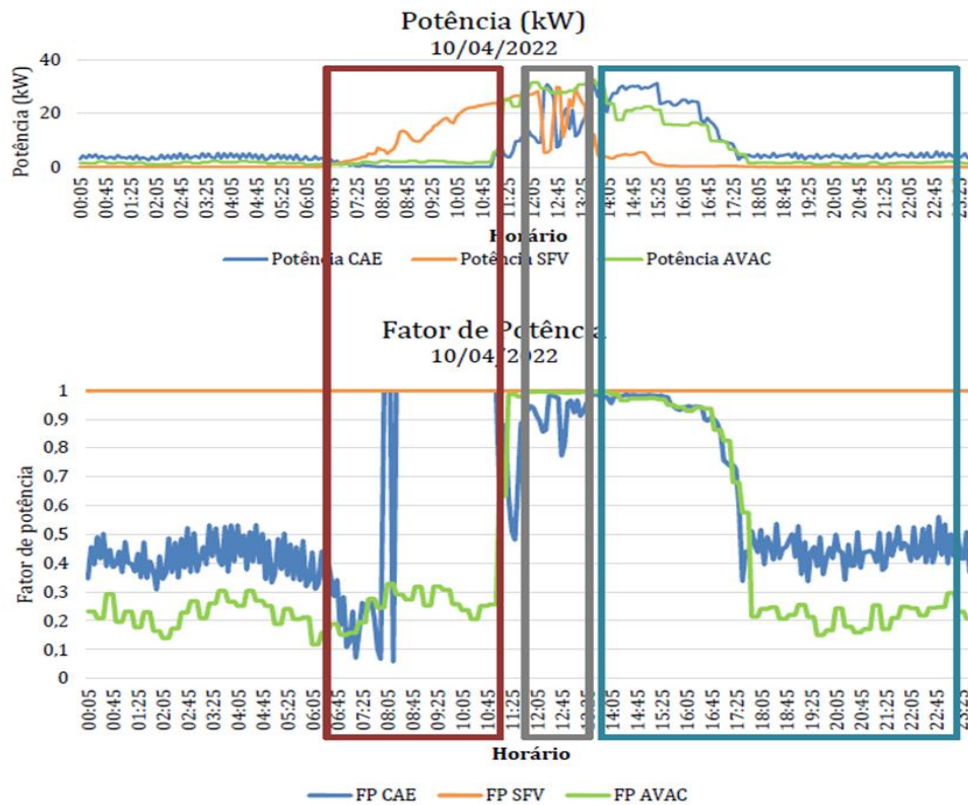
Fonte: CCK, 2023.

Com as medições de cada um dos locais tendo sido realizadas a cada 15 minutos, se torna possível a análise dos dados coletados.

Com todas as comparações feitas será então possível a visualização do funcionamento e o impacto real da energia solar no fator de potência em uma instalação elétrica.

Para uma exemplificação do método aplicado, analisando o estudo feito em (Oliveira, 2022), é possível retirar a potência gerada pelas módulos solares, e a vinda pela rede, assim como o fator de potência, tal como mostrado na figura 28.

Figura 28: Gráfico do fator de potência e da potência no CAE.



Fonte: Oliveira, 2022.

A figura 28 traz a diferença da potência gerada, consumida da rede é usada no sistema de ventilação do ambiente, pelo prédio de Engenharia “CAE”. Para o estudo em questão, serão analisadas apenas as partes azul e laranja, nomeadas de “CAE” e “SFV”. Pelo gráfico é fácil perceber que a energia fornecida pelos módulos solares aumenta, até um pico por volta de 12:00/13:00. No período em que a geração de energia ultrapassa o consumo, a UFG fornece energia para a rede, injetando-a. Neste instante, o FP se torna igual a unidade.

4. Estudo de caso

Como informado anteriormente, foram coletadas medições do mês de novembro de 2022, referentes às grandezas fator de potência e potência ativa, para o prédio do Centro de Aulas das Engenharias (CAE).

Como o consumo depende de quantas pessoas vão utilizar as salas de aula, com seus computadores, celulares, ar-condicionado, e outros aparelhos; se torna previsível um gráfico diário para o uso de energia no local.

A figura 29 apresenta o local do CAE pela vista do “*Google Maps*”. Pela imagem é possível ver os módulos fotovoltaicos do local.

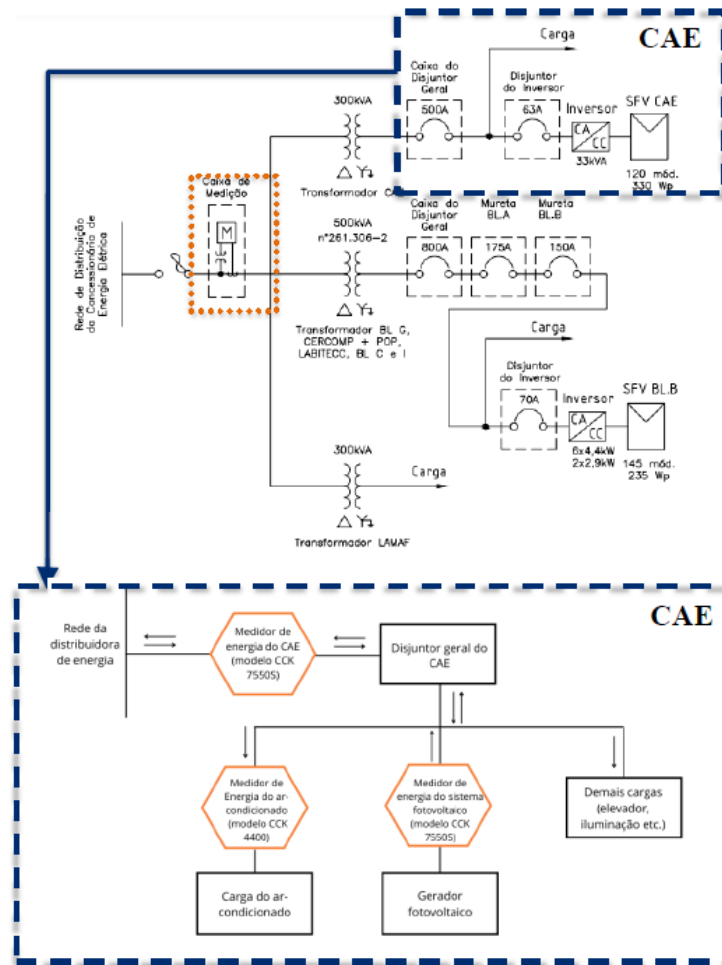
Figura 29: Centro de Aulas das Engenharias (CAE) – UFG.



Fonte: *Google Map*, 2023.

Conforme já mencionado, a análise foi feita para todos os dias de novembro do ano de 2022, e os gráficos feitos serão todos apresentados em ordem com seus respectivos comentários.

Figura 30: Diagrama unifilar simplificado e diagrama de blocos da CAE.



Fonte: Oliveira, 2022.

Os dois medidores usados neste trabalho foram o “medidor de energia do CAE” e o “Medidor de energia sistema fotovoltaico”. Através desses dois medidores foi possível o estudo da alteração no Fator de Potência dentro do CAE, causado pela energia solar.

SEMANA 01 _ 01/11/2022 – 05/11/2022

Os gráficos a seguir são referentes à primeira semana de medição, sendo os gráficos 01, 03, 05, 07 e 09 referentes a potência da geração solar (indicado por azul) e a demanda requerida da concessionária (indicado por laranja). Essa demanda no gráfico é o consumido no total, subtraído potência gerada pelo sistema de energia solar, é o quanto a mais, além do produzido pelo solar, é demandado da concessionária. Como a medição fica na saída, o valor entregue já é o valor subtraído.

Já os gráficos 02, 04, 06, 08 e 10 são referentes à medição do fator de potência dos dias dessa mesma semana.

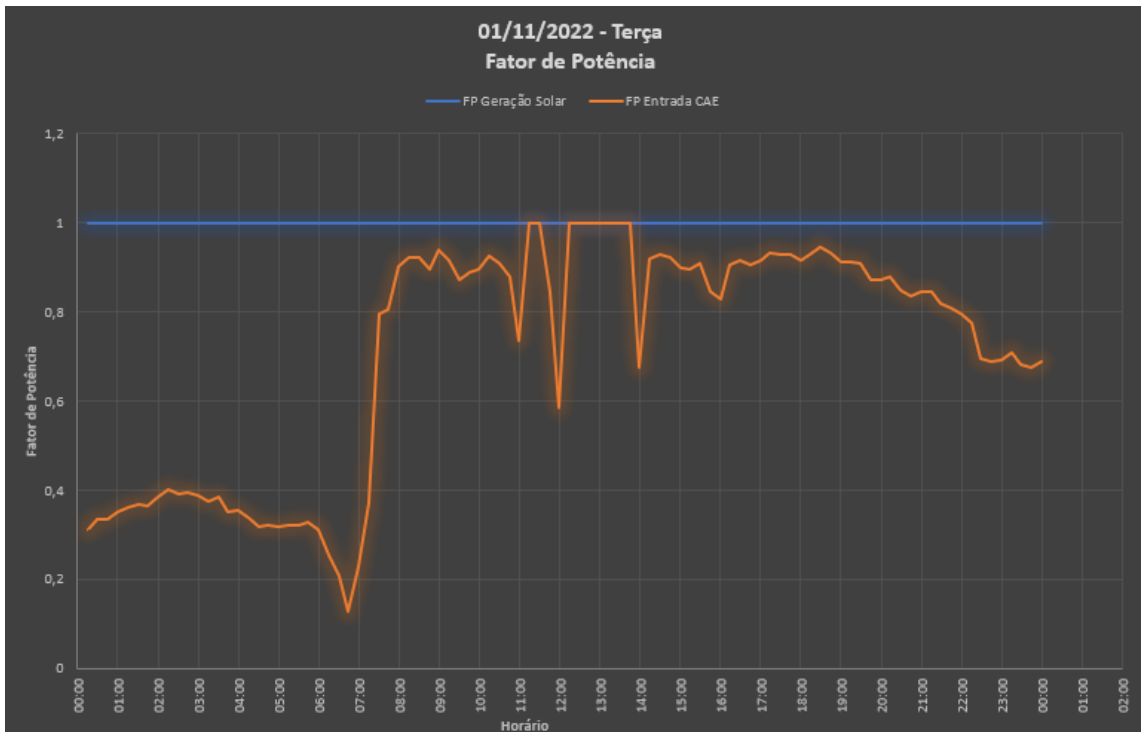
Os gráficos das figuras 41 e 42 mostram a demanda vista pela concessionária e o FP ao longo de toda a primeira semana de medição, respectivamente.

Gráfico 1: Gráfico da potência no dia 01/11/2022.



Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 2: Gráfico do fator de potência no dia 01/11/2022.



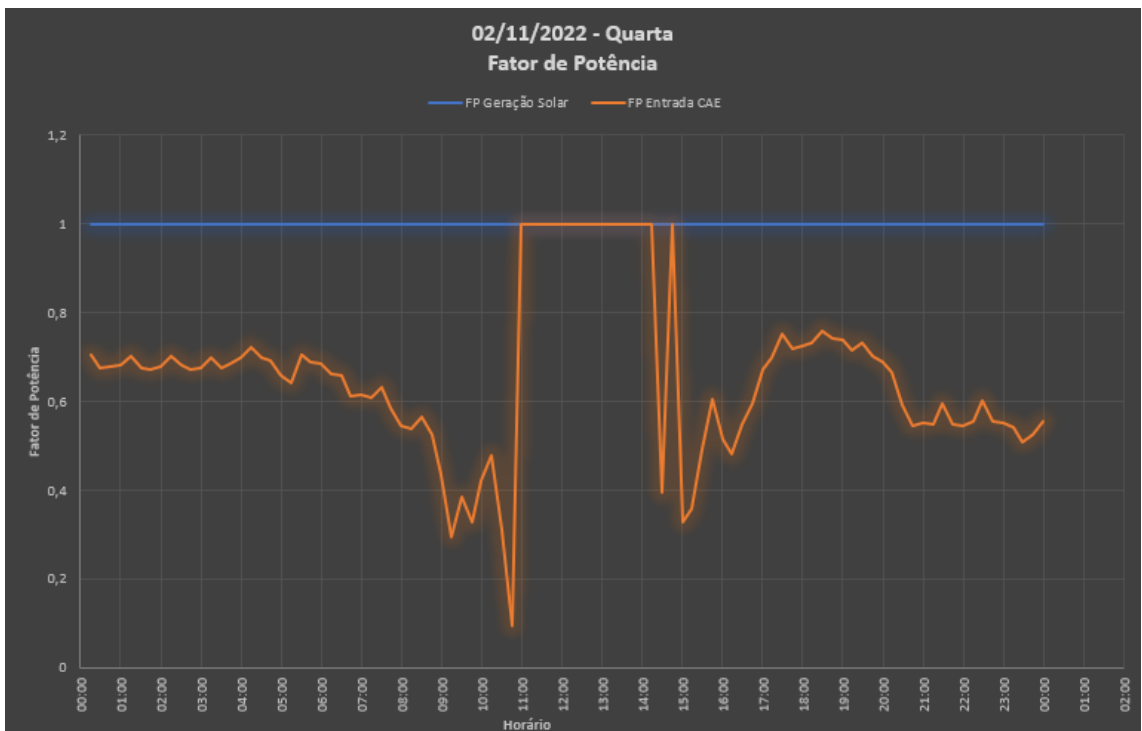
Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 3. Gráfico da potência no dia 02/11/2022.



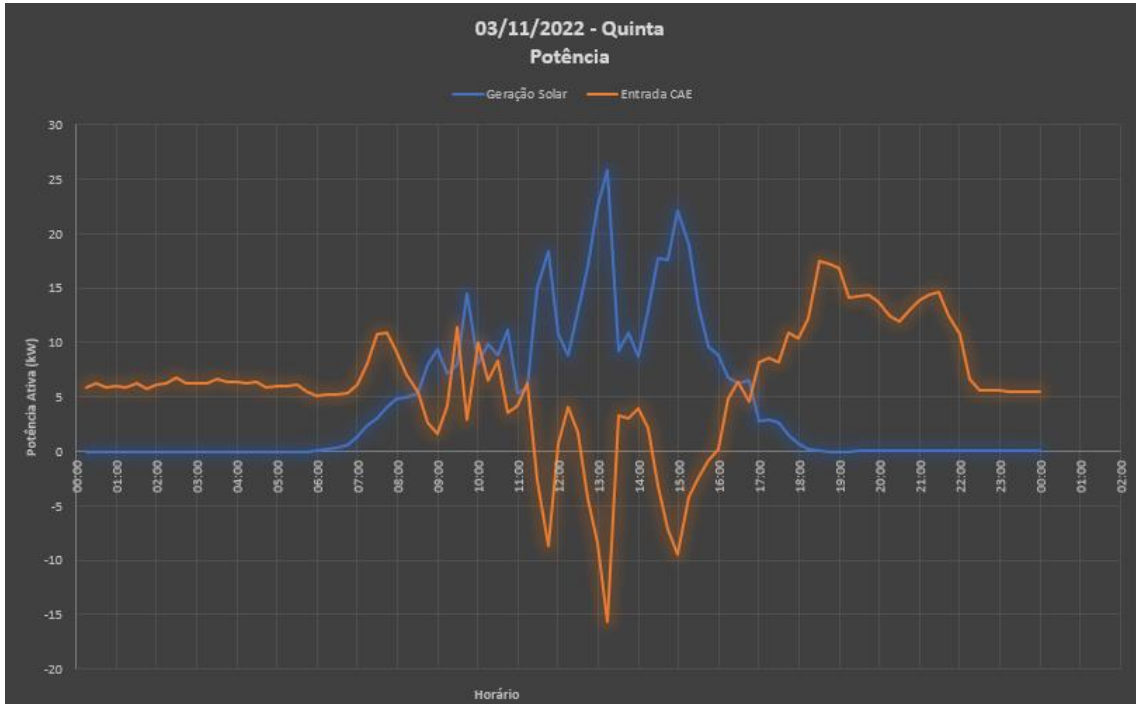
Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 4: Gráfico do fator de potência no dia 02/11/2022.



Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 5: Gráfico da potência no dia 03/11/2022.



Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 6: Gráfico do fator de potência no dia 03/11/2022.



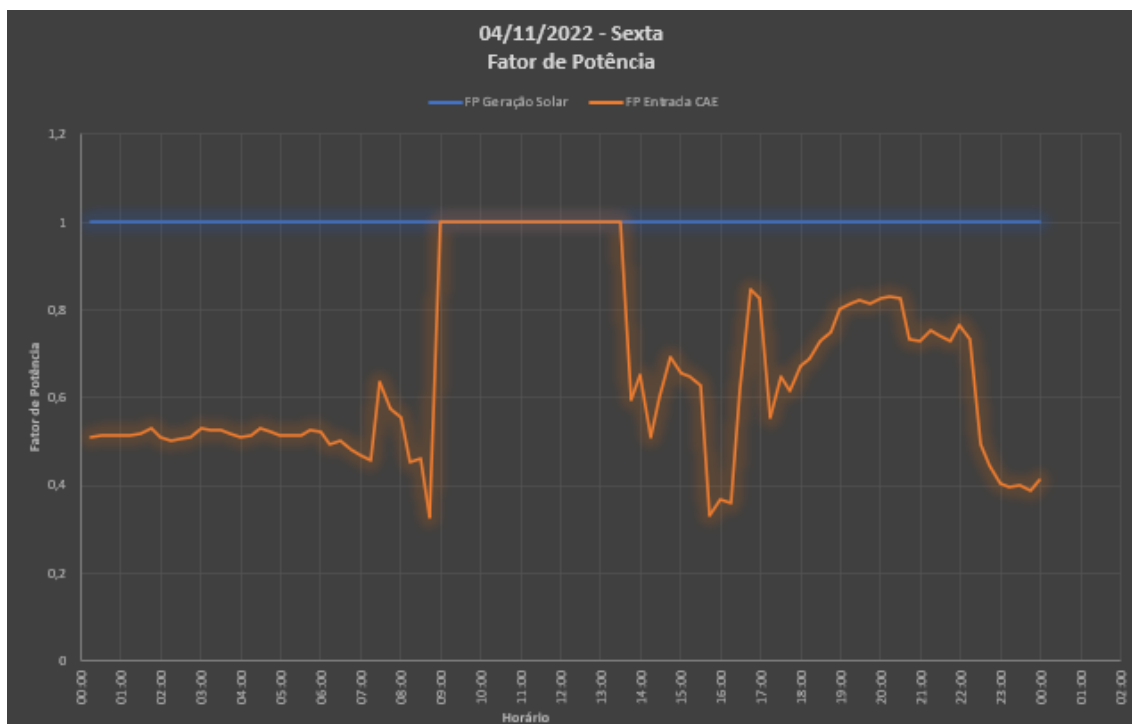
Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 7: Gráfico da potência no dia 04/11/2022.



Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 8: Gráfico do fator de potência no dia 04/11/2022.



Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 9: Gráfico da potência no dia 05/11/2022.



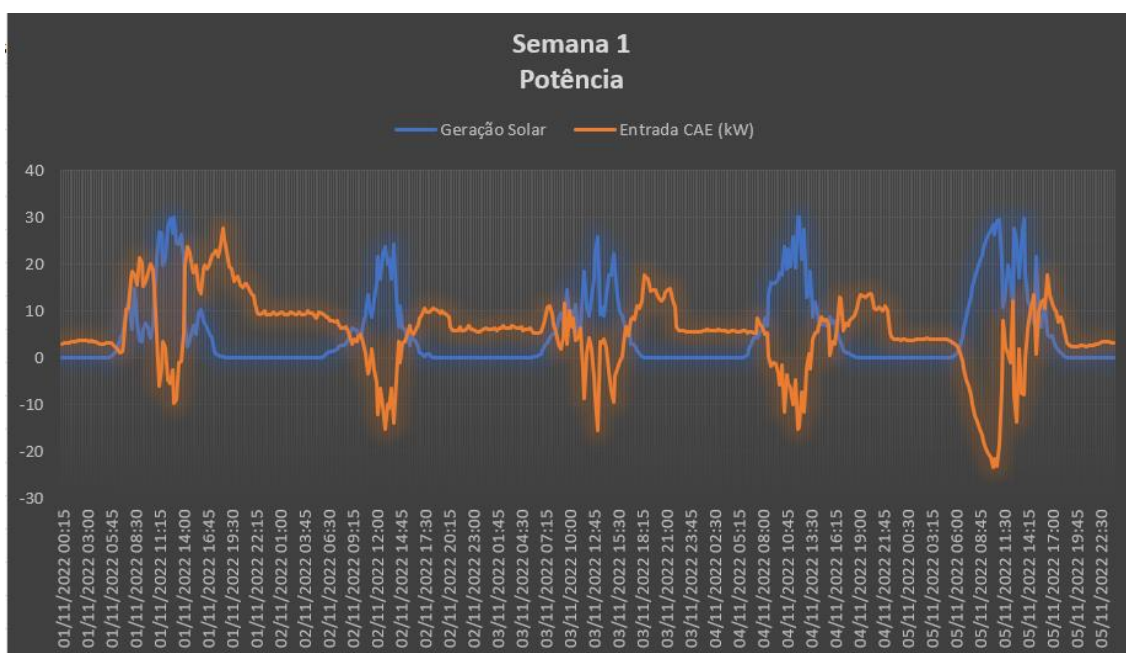
Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 10: Gráfico do fator de potência no dia 05/11/2022.



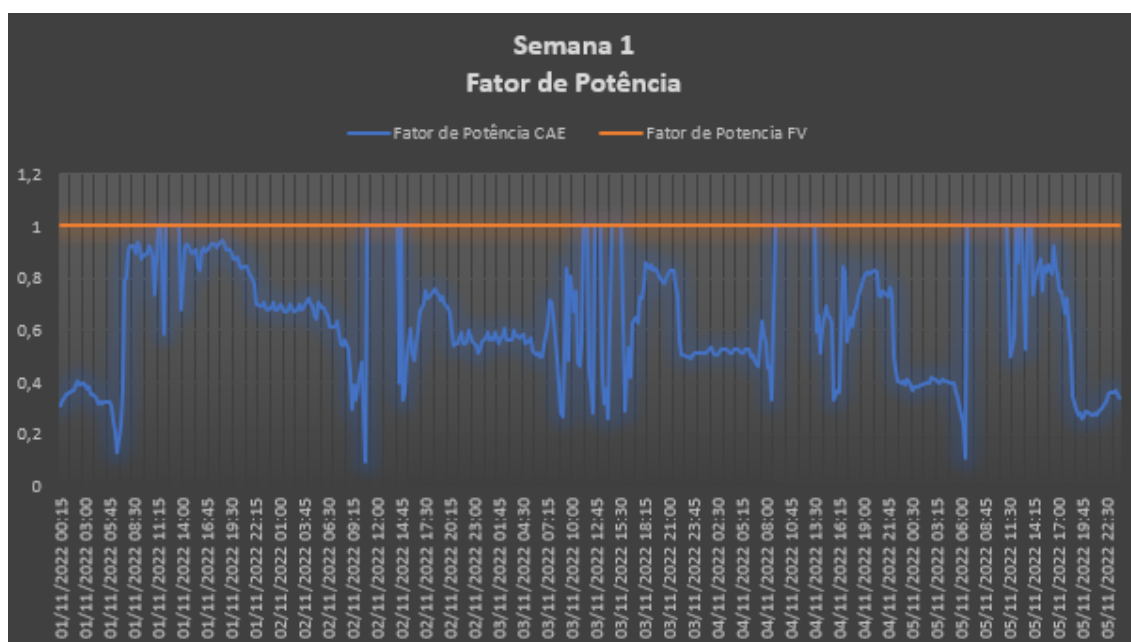
Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 11: Gráfico da potência no período - 01/11/2022 a 05/11/2022



. Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 12: Gráfico do fator de potência no período - 01/11/2022 a 05/11/2022.



Fonte: elaborado pelos autores.

Para o primeiro dia de medição, o consumo do prédio, visto pelo gráfico 01, foi na maior parte do dia superior a geração de energia solar. Entretanto, durante as 11:00hs até as 14:00 a geração solar ultrapassou a energia demandada. A ocorrência da diminuição

de energia solicitada da rede da distribuidora, analisando pelo gráfico, se deu justamente pela geração solar, em que momentos de maior geração ocasionaram momentos de menor consumo da energia da concessionária, de forma que o inverso ocorre do mesmo modo. O gráfico da geração solar está caminhando ao inverso do gráfico do consumo visto pela concessionária.

Ainda dentro do primeiro dia, analisando o FP, gráfico 02, nota-se que ele é bem estável durante os momentos de alto consumo. No momento das 11:00hs às 14:00hs o FP se torna unitário, justamente pelo fato de estar gerando mais energia que o consumo do prédio CAE, ou seja, ocorre, nestes momentos, o fluxo reverso de energia. Nos demais momentos, o FP fica abaixo de 1, inclusive menor que 0,92 em grande parte do dia, o que pode gerar multas por baixo fator de potência no ponto de medição da UC junto à concessionária.

Para a quarta feira, dia 02/11/2022; percebe-se pelos gráficos 03 e 04 que a geração mais uma vez caminha ao inverso do demandado pela concessionária. Novamente, nos momentos de geração solar maior que a demanda do CAE, o FP se torna igual à unidade. Nos demais momentos, percebe-se que o FP decai para valores baixíssimos, chegando até a 0,2.

Na quinta-feira (gráficos 05 e 06) ocorreram vários momentos de inversão de fornecimento da energia. Nesses vários momentos nota-se que o FP permanece baixo. Durante o dia, a maioria das medições realizadas mostraram um FP abaixo de 0,6. Analisando a geração solar no dia, percebe-se que foi um dia com vários picos e vales, provavelmente por nuvens, que gerou um consumo vindo da concessionária com mesma característica, entretanto no inverso (nos picos da geração solar são os vales da energia demandada, e vice-versa).

Pela quinta feira, fica bem nítido que os picos da geração solar ocasionam os vales da demanda, e por consequência, os momentos mais baixos de Fator de Potência.

Continuando a análise, na sexta-feira, dia 04/11/2022 (gráficos 07 e 08), a potência consumida foi na maioria do dia menor que zero, tendo a energia sido fornecida para a concessionária. Nestes momentos, o FP ficou igual à unidade, enquanto nos demais os valores foram baixos, devido à característica do prédio e, quando se tem o consumo do

mesmo muito próximo da geração solar, a potência demandada da concessionária se torna muito baixo e, nestes momentos, o FP fica muito baixo.

Por último, para fechar a semana, no sábado, dia 05/11/2022 (gráficos 09 e 10), existe por uma grande parte uma evidência fortíssima da alteração na energia solar no sistema ao todo. Das 7:00hrs até as 15:30hrs, o gráfico da geração solar é exatamente o contrário do gráfico de demanda na entrada do CAE. Durante os momentos de fornecimento de energia o FP fica em 1, entretanto em momentos de inversão de consumo para fornecimento, e fornecimento para consumo; o FP permanece em valores baixos.

Ainda no sábado, em todos os momentos que a “demanda” está baixa, o fator de potência abaixa junto, justamente pela proximidade do valor da potência da geração solar com a potência demandada pelo CAE, tal como explicado anteriormente.

Observando essa primeira semana, os experimentos foram promissores. Fica evidente, principalmente pelo sábado, que a geração de energia solar altera a quantidade demandada para concessionária, a qual por consequência, altera o valor do fator de potência.

· **SEMANA 02 _ 06/11/2022 – 12/11/2022**

Continuando o estudo do mês, foi analisada a segunda semana do mesmo mês de novembro de 2022. Os gráficos a seguir mostrados pelos gráficos 13, 15, 17, 19, 21, 23 e 25 são a respeito das potências de geração de energia solar e demandado pela concessionária, um para cada dia da semana. Os gráficos 14, 16, 18, 20, 22, 24 e 26 são referentes ao fator de potência da geração de energia solar e da potência demandada para a concessionária, ainda em cima dos mesmos dias da segunda semana.

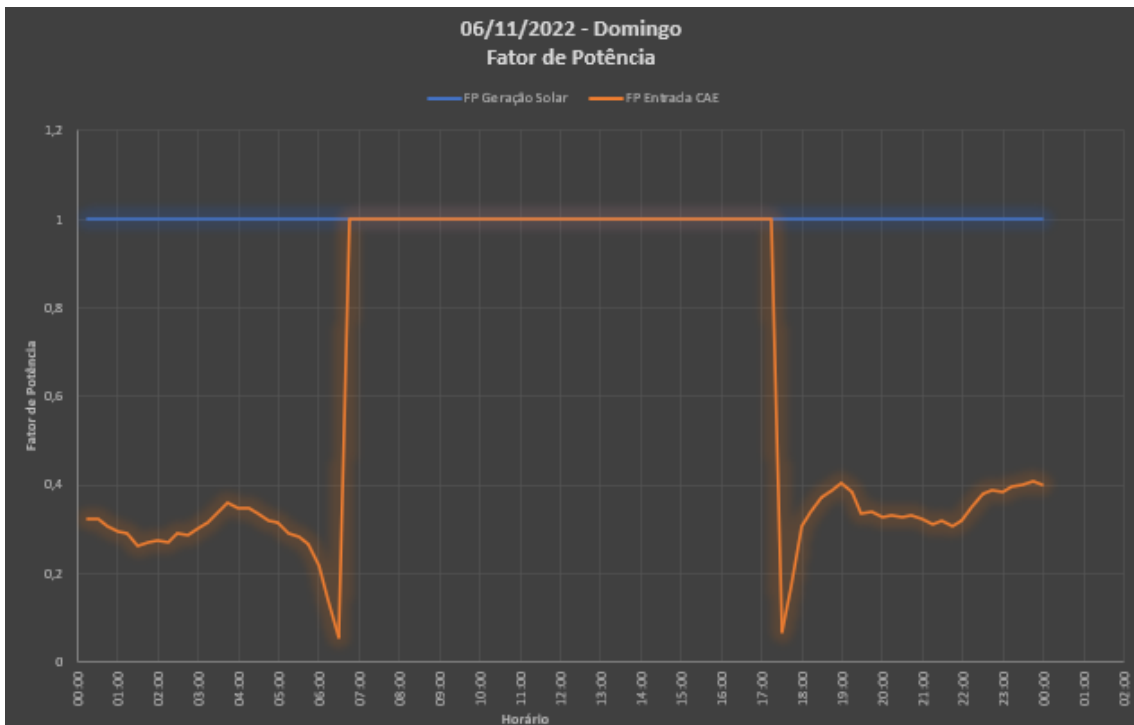
Os gráficos 27 e 28 mostram a demanda vista pela concessionária e o FP ao longo de toda a primeira semana de medição, respectivamente.

Gráfico 13: Gráfico da Potência, dia 06/11/2022.



Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 14: Gráfico do Fator de Potência dia 06/11/2022.



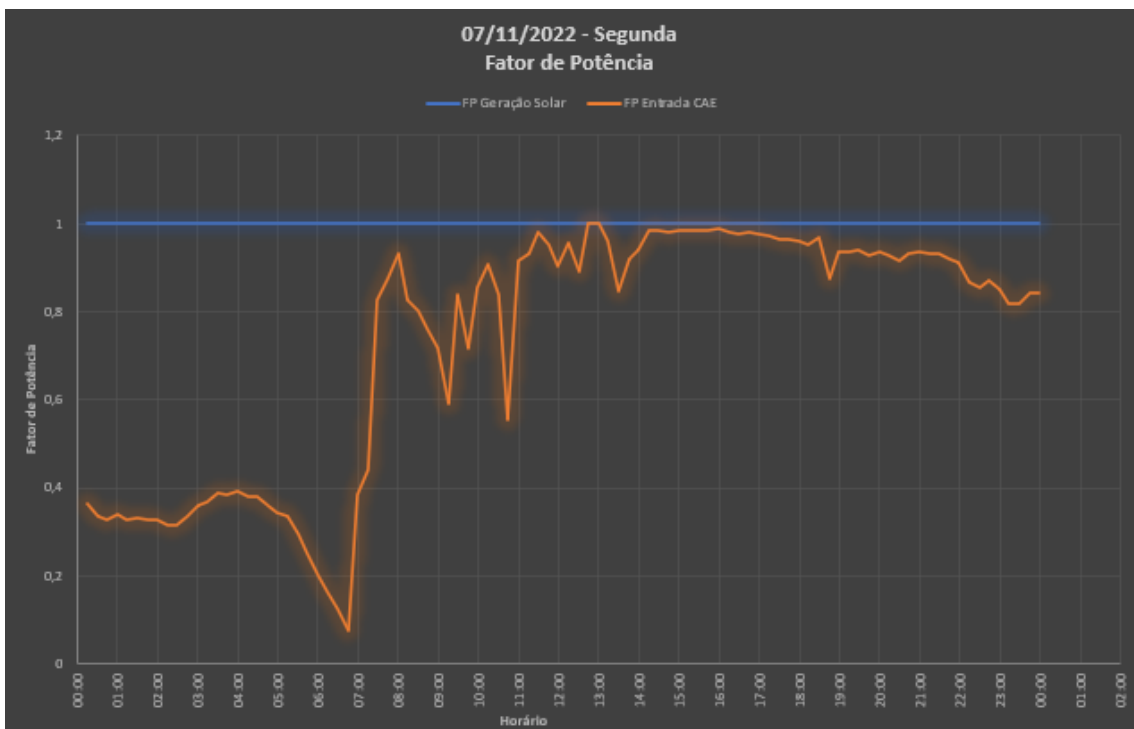
Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 15: Gráfico da Potência, dia 07/11/2022.



Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 16: Gráfico do Fator de Potência, dia 07/11/2022.



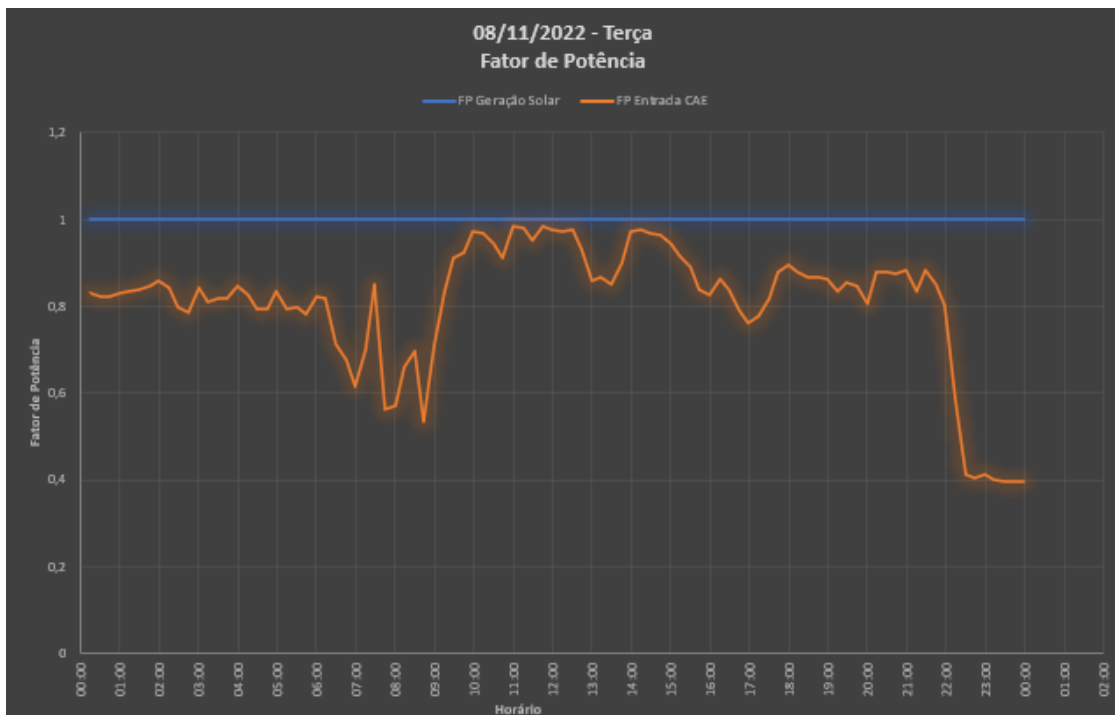
Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 17: Gráfico da Potência, dia 08/11/2022.



Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 18: Gráfico do Fator de Potência, dia 08/11/2022.



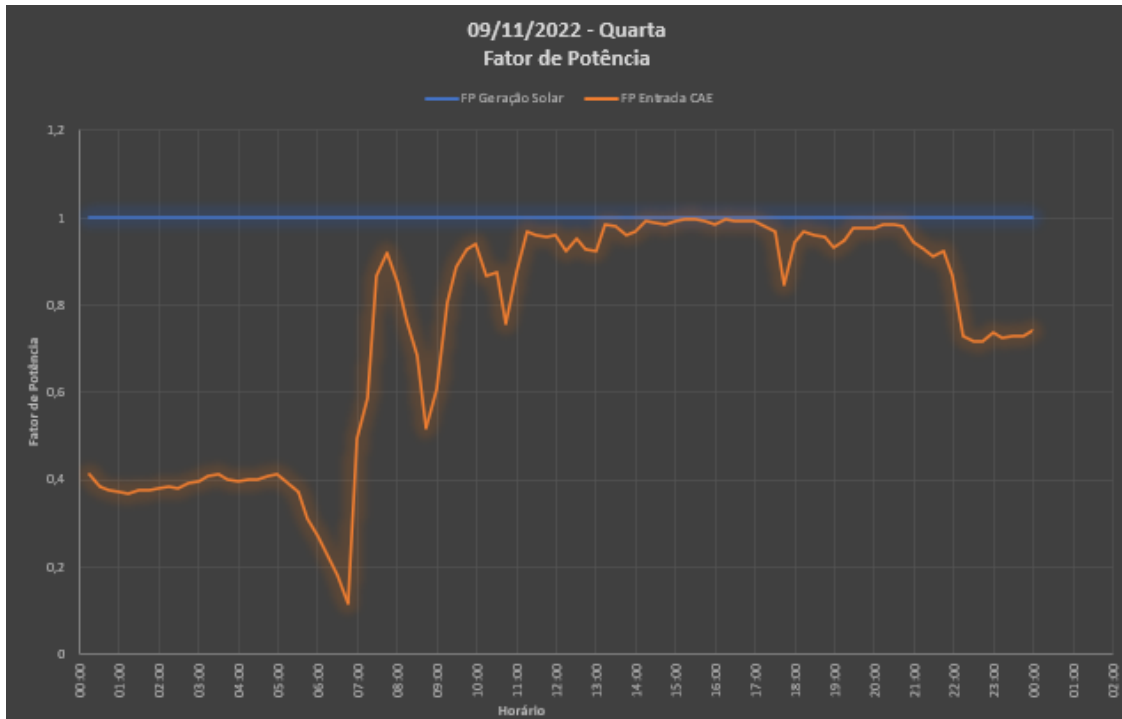
Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 19: Gráfico da Potência, dia 09/11/2022.



Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 20: Gráfico do Fator de Potência, dia 09/11/2022.



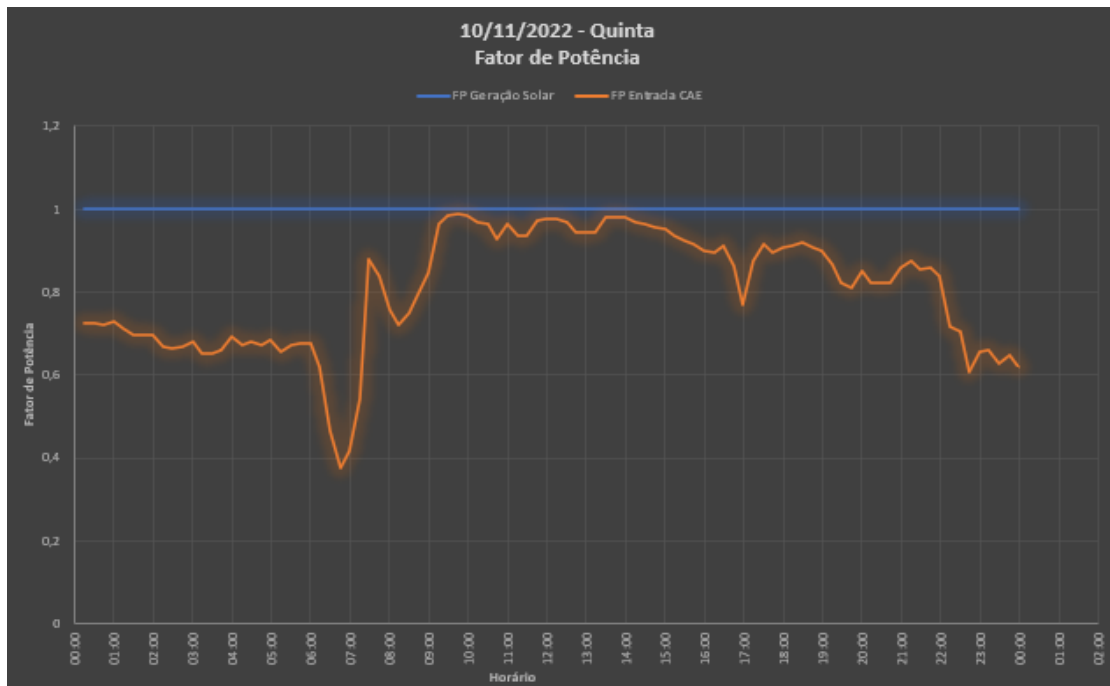
Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 21: Gráfico da Potência, dia 10/11/2022.



Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 22: Gráfico do Fator de Potência, dia 10/11/2022.



Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 23: Gráfico da Potência, dia 11/11/2022



Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 24: Gráfico do Fator de Potência, dia 11/11/2022.



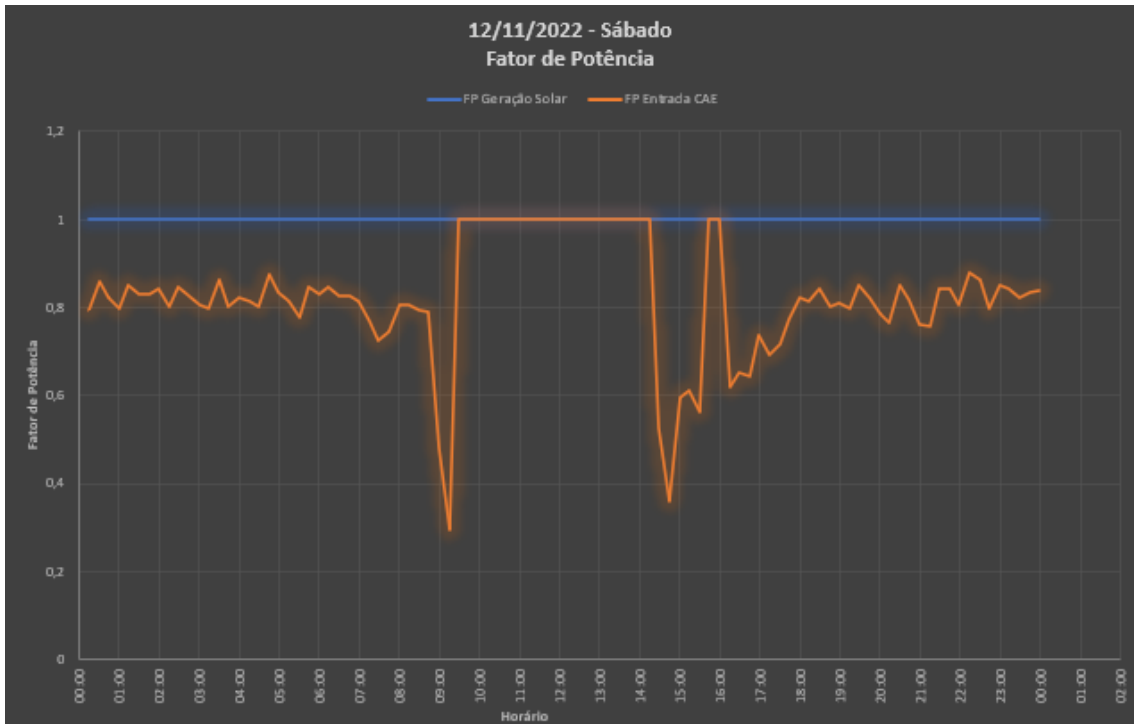
Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 25: Gráfico da Potência, dia 12/11/2022.



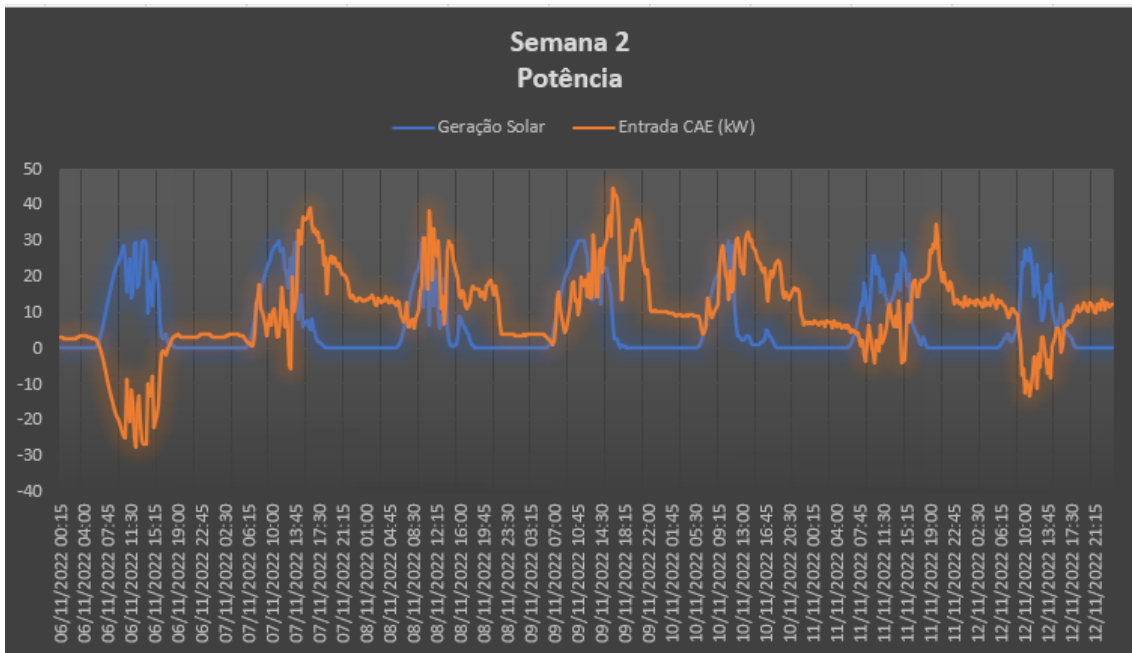
Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 26: Gráfico do Fator de Potência, dia 12/11/2022.



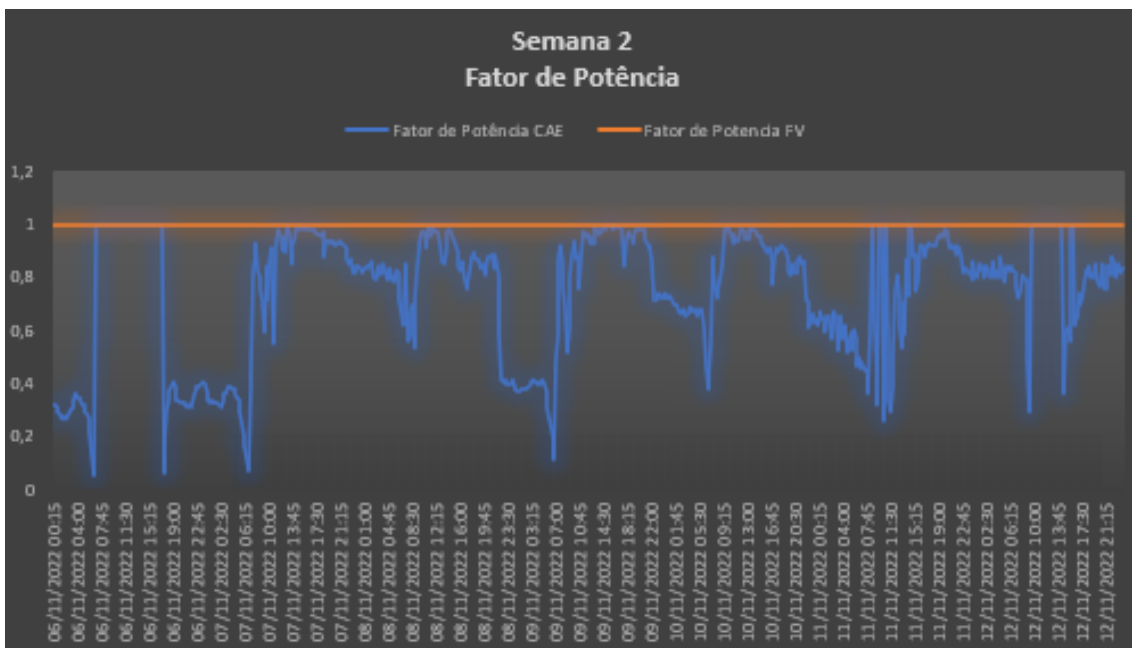
Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 27: Gráfico da Potência, 06/11/2022 a 12/11/2022.



Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 28: Gráfico do Fator de Potência, 06/11/2022 a 12/11/2022.



Fonte: elaborado pelos autores.

Pelo início da semana, no Domingo (gráficos 13 e 14), um dia de pouco consumo de energia, a geração solar foi basicamente o inverso do fornecimento. Como no dia o consumo foi praticamente nulo, a demanda vista pela concessionária é basicamente

geração solar fornecendo energia. O FP, conforme já explicado nestas situações, permaneceu em 1 nestes momentos, anulando-senos instantes de igualdade entre a geração solar e o consumo do CAE (início da manhã e final da tarde).

Na segunda-feira, dia 07/11/2022 (gráficos 15 e 16), a geração solar não acompanha o consumo no dia. A partir das 14:00hrs a geração solar decai bruscamente, ocasionando um aumento igualmente brusco da demanda na entrada do CAE. Os momentos de maiores demandas e menos geração solar foram os mesmos momentos de maior FP do dia, mostrando o caráter do FP da carga no prédio do CAE.

Continuando pela terça-feira, dia 08/11/2022 (gráficos 17 e 18), a geração solar foi totalmente inconstante. Essa inconstância gerou um fornecimento igualmente inconstante. Entretanto, no dia em questão, a demanda foi muito superior à geração solar, mesmo em momentos de pico de geração de energia solar. Por esse motivo o gráfico de fator de potência permaneceu praticamente inalterado, mostrando o caráter da carga no prédio do CAE. O único momento de maior queda do consumo no dia, pelas 13:30 hrs, foi o mesmo momento de queda do FP, porém essa queda não atingiu o valor de 0,8.

Na quarta-feira (gráficos 19 e 20), o consumo de energia foi parecido com a segunda-feira. Nos momentos de queda na geração solar, a demanda aumenta (depois das 13:00), justamente pela diminuição do fornecimento de energia pela segunda fonte (a solar). Quanto maior a demanda observada no dia, maior é o FP medido.

Continuando a semana, na quinta feira (gráficos 21 e 22) a geração solar foi muito inferior, em números, que a quantidade da “demanda” visto ao todo. Como a demanda permanece grande durante todo o dia, e a geração solar praticamente acaba pelas 12:00 hrs, o FP permanece novamente alto durante todo o dia, mostrando a característica de FP das cargas do CAE. Novamente, no início da manhã, observa-se a igualdade entre a geração solar e o consumo do CAE, e, neste instante, o FP atinge 0,4.

Observando pela sexta feira, dia 11/11/2022 (gráficos 23 e 24), fica mais claro a alteração de energia pela geração solar. Desconsiderando os momentos de FP igual a 1, e analisando somente os antes e depois desses momentos, quando a demanda observada pela concessionária se torna baixa, o FP abaixa em conjunto, permanecendo durante os momentos de geração solar em torno de 0,4. O FP só aumenta após às 16:00 hs, quando acaba a geração solar, e a demanda na entrada do CAE aumenta.

No sábado (gráficos 25 e 26), o consumo de energia foi baixo ao longo do dia, fazendo os gráficos da geração solar e da entrada do CAE serem aproximadamente o inverso uma da outra. Nos momentos de pouco consumo de energia vindo da concessionária, o FP decai de 0,6 a 0,4. Nos momentos da inversão do sentido de fornecimento o FP se torna unitário.

Por meio de toda a semana estudada, do dia 06 ao dia 12 de novembro de 2022, nos gráficos 27 e 28, repara-se a possível alteração da energia solar dentro no FP. O consumo ao longo da semana foi de valores bem altos, comparado com a semana anterior, e variações grandes nos valores do Fator de Potência.

Até o momento, observa-se que:

- . Com valores altos de “demanda” visto pela concessionária, observa-se valores altos de Fator de Potência, típicos das cargas elétricas que estão no CAE;

- . Nos momentos de proximidade nos valores entre a demanda do prédio e da geração solar, o FP diminui drasticamente.

- . Nas situações de geração solar maior que a demanda do prédio e consequentemente, fluxo reverso de corrente e potência, o FP se torna unitário.

- . **SEMANA 03 _ 13/11/2022 – 19/11/2022**

A seguir serão apresentados os valores de potência e fator de potência da próxima semana de novembro (terceira semana dia 13 ao 19), seguindo o mesmo molde já usado nos dias anteriores. Os gráficos 29, 31, 33, 35, 37, 39 e 41 são referentes a potência dos dias, enquanto os gráficos 30, 32, 34, 36, 38, 40 e 42, são a respeito do fator de potência.

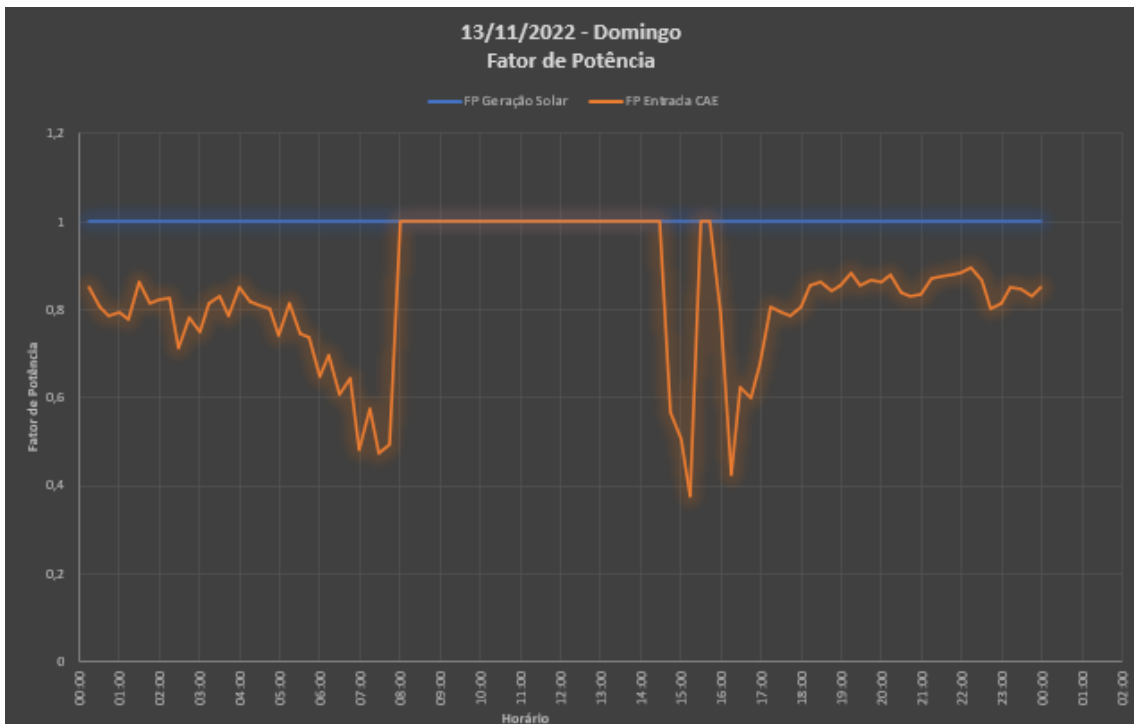
Os gráficos 43 e 44 mostram a demanda vista pela concessionária e o FP ao longo de toda a primeira semana de medição, respectivamente.

Gráfico 29: Gráfico da Potência, dia 13/11/2022.



Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 30: Gráfico do Fator de Potência, dia 13/11/2022.



Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 31: Gráfico da Potência, dia 14/11/2022.



Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 32: Gráfico do Fator de Potência, dia 14/11/2022.



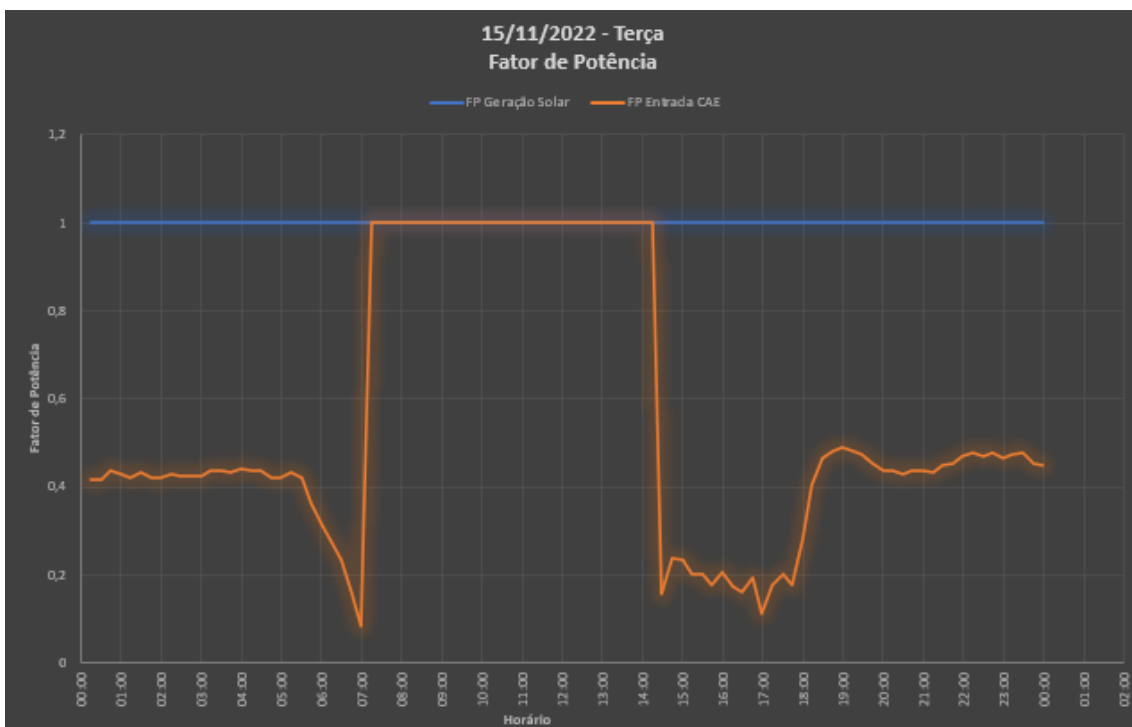
Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 33: Gráfico da Potência, dia 15/11/2022.



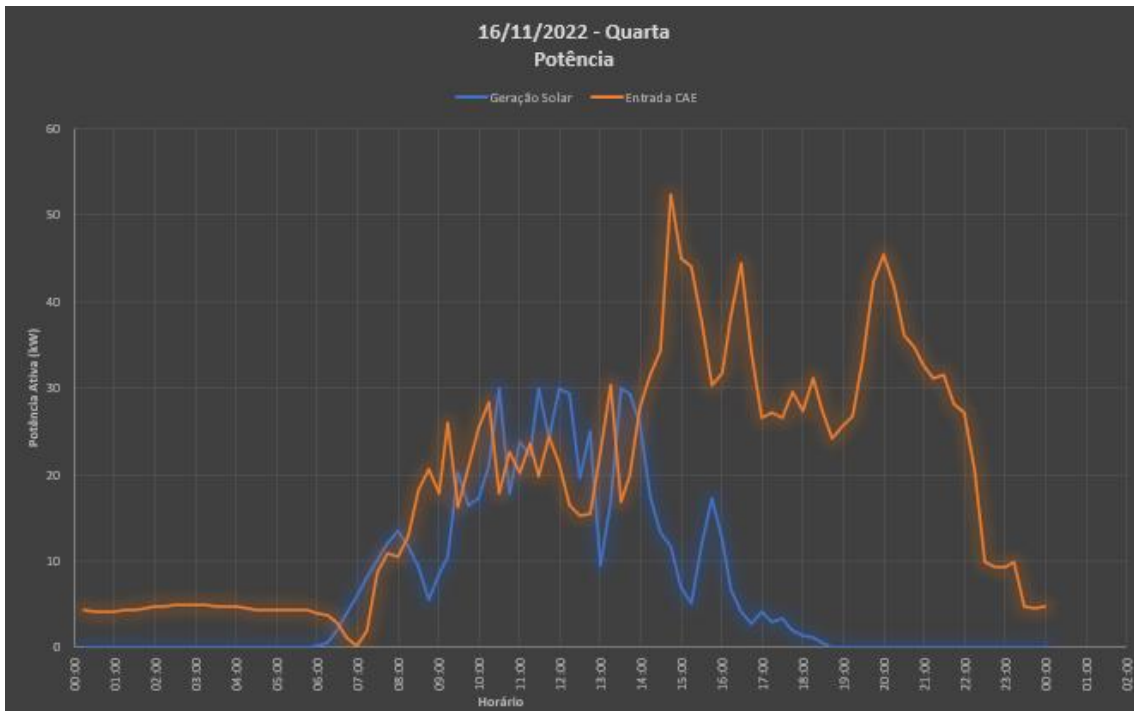
Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 34: Gráfico do Fator de Potência, dia 15/11/2022.



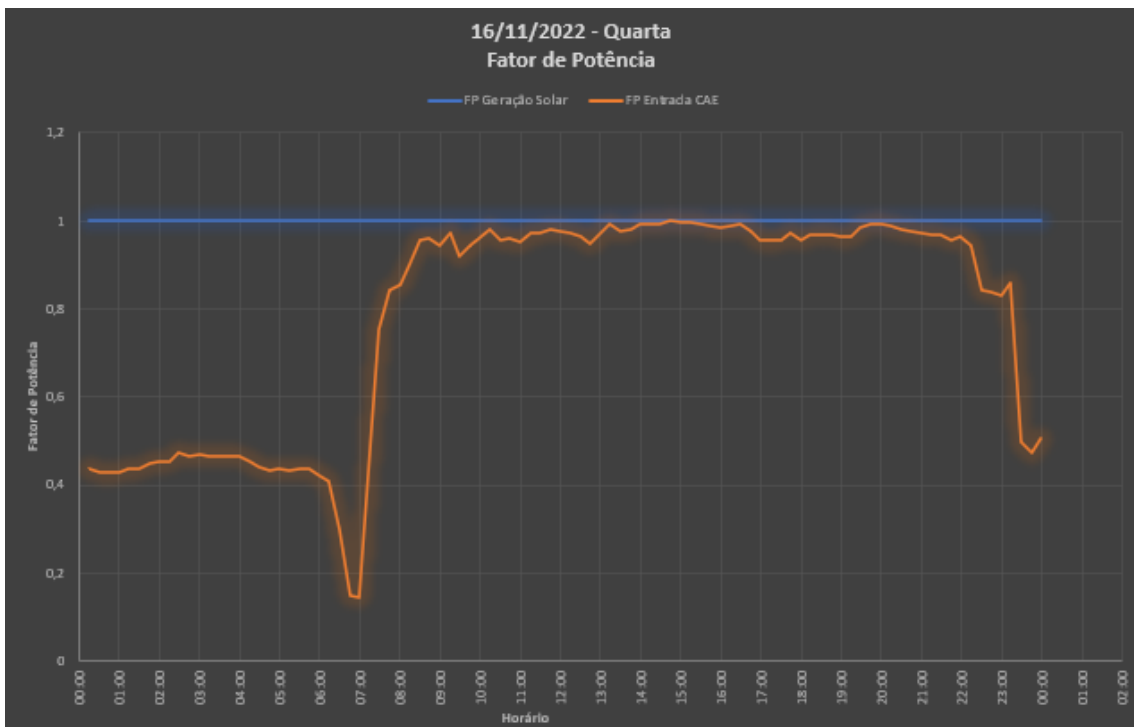
Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 35: Gráfico da Potência, dia 06/11/2022.



Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 36: Gráfico do Fator de Potência, dia 16/11/2022.



Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 37: Gráfico da Potência, dia 17/11/2022.



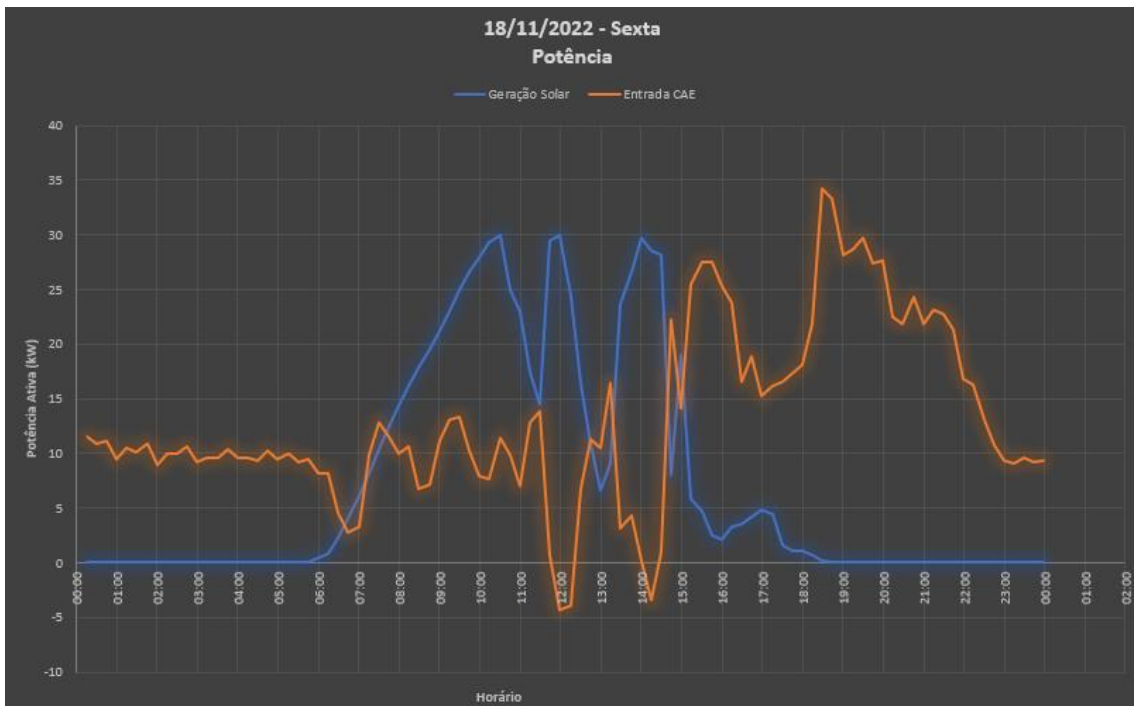
Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 38: Gráfico do Fator de Potência, dia 17/11/2022.



Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 39: Gráfico da Potência, dia 18/11/2022.



Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 40: Gráfico do Fator de Potência, dia 18/11/2022.



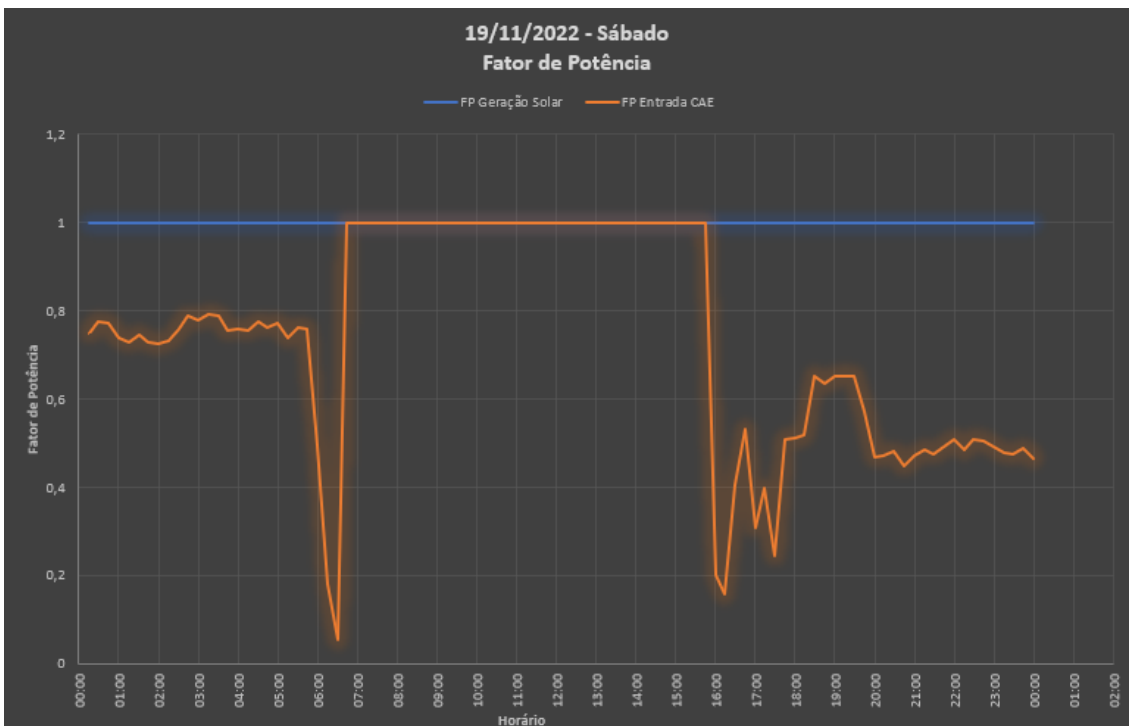
Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 41: Gráfico da Potência, dia 19/11/2022.



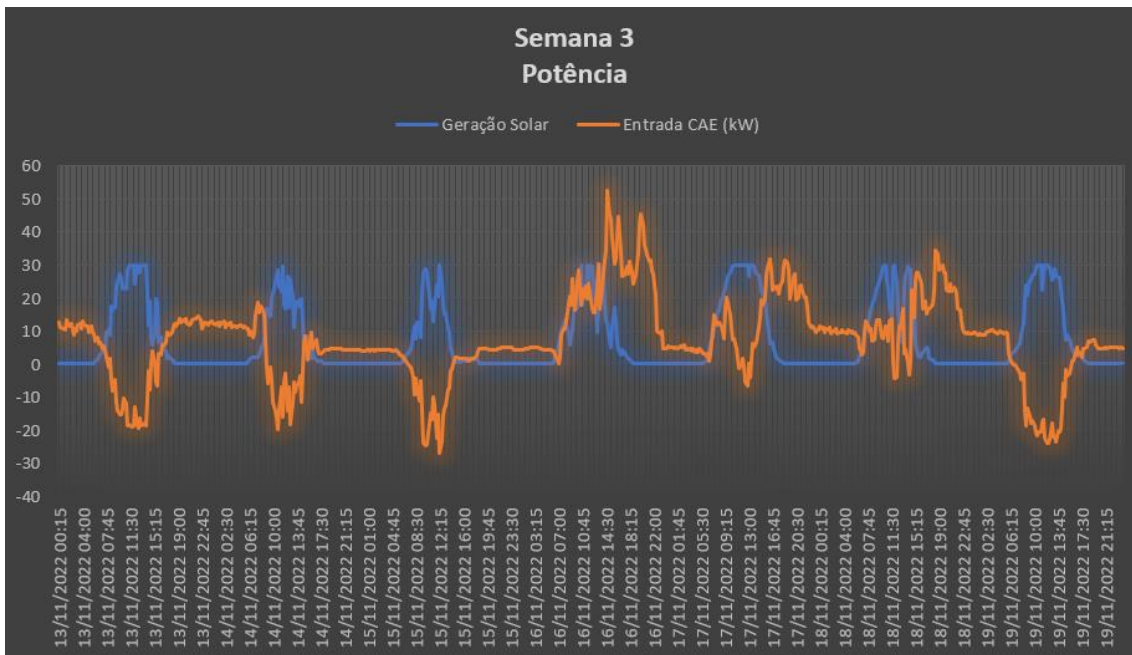
Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 42: Gráfico do Fator de Potência, dia 19/11/2022.



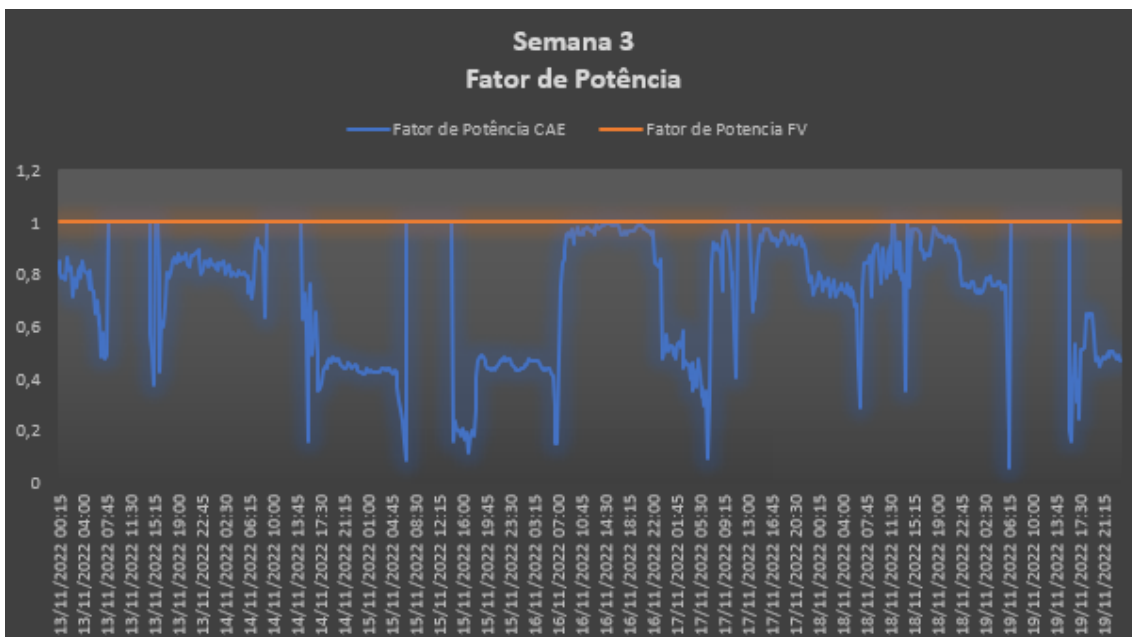
Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 43: Gráfico da Potência, 13/11/2022 a 19/11/2022.



Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 44: Gráfico do Fator de Potência, 13/11/2022 a 19/11/2022.



Fonte: elaborado pelos autores.

Iniciando a terceira semana, no domingo dia 13/11/2022 (gráficos 29 e 30), o consumo foi bem abaixo da geração de energia, ocasionando novamente em gráficos inversos entre a geração e a demanda na entrada no CAE. Nos momentos de baixo

consumo, caso das 7:00hs, 14:00 hs e 15:00 hs; o FP da demanda no CAE vista pela concessionária, abaixa bruscamente (FP entre 0,4 e 0,6).

Na segunda-feira (gráficos 31 e 32) o consumo do prédio foi novamente baixo, possuindo uma característica similar ao observado no dia anterior, os gráficos da demanda e da geração solar são o inverso uma da outra. Pegando para análise das 15 hs adiante, como o consumo foi baixo, o FP foi extremamente baixo, de modo que no pico de geração às 15:30 hs, é observado um vale no FP, com valor abaixo de 0,2. Esse valor tão baixo foi medido devido à proximidade do 0 da demanda na entrada do CAE.

Na terça-feira (gráficos 33 e 34) novamente o gráfico de geração solar foi o inverso do gráfico da demanda do CAE visto pela concessionária. Observa-se das 14:00 hs às 18:00 hs um FP extremamente abaixo do normal, por volta de 0,2.

Na quarta-feira (gráficos 35 e 36) a geração solar não esteve perto de ser suficiente para suprir a demanda do prédio. Entretanto, ainda assim, nota-se que durante a geração solar a demanda da entrada do CAE permanece em valores mais baixos, os quais crescem após a finalização da geração solar, por volta das 13:30 hs. Como o consumo foi muito alto ao longo do dia, a alteração no FP foi muito baixa, mas ainda assim perceptível. Existe um leve aumento do FP após as 13:30, suave, mas ainda evidente.

Na quinta-feira, dia 17/11/2022 (gráficos 37 e 38), a geração solar supriu bem a demanda do bloco, tendo uma inversão do sentido de fornecimento nesse dia. Os valores mais baixos da demanda vista pela concessionária, abaixou o FP, se comparado ao dia anterior. Existe um vale às 11:00 hs, a qual não deveria existir se não pela geração solar incluída.

Na sexta-feira (gráficos 39 e 40) a geração solar foi bem instável, com a demanda na entrada do CAE acompanhando essa instabilidade. Analisando o FP do dia, o gráfico mostra um FP completamente instável, chegando a valores próximos a 1 em momentos, e valores abaixo de 0,8 em outros. Essa inconstância no FP foi causada pela própria inconstância da geração solar.

Para fechar a semana, por último, no sábado, dia 19/11/2022 (gráficos 41 e 42), os gráficos da potência novamente ficam o inverso uma da outra. Nos momentos de transição do sentido de fornecimento, os valores de FP decaem para valores abaixo de

0,2, mostrando a característica do que ocorre com valores baixos de demanda da concessionária.

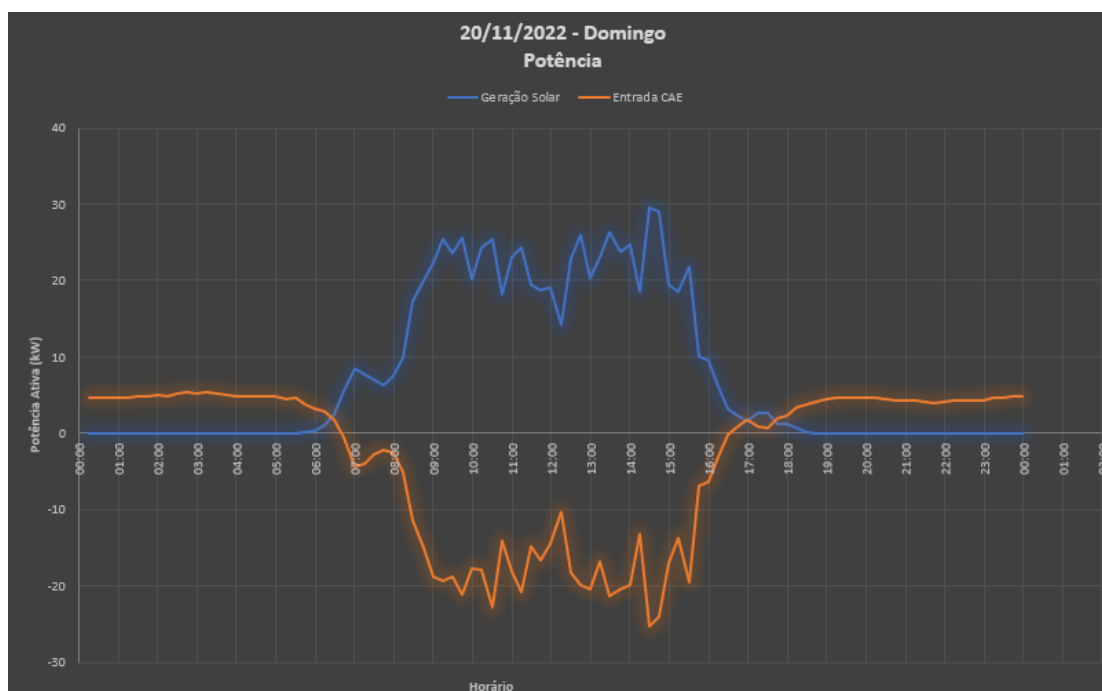
O comportamento observado pelo fator de potência, até o momento, se aproxima do esperado. Uma nova semana (gráficos 43 e 44) com valores altos de FP em momentos de altos consumos e valores baixos de FP em menores consumos. O dia de maior consumo na semana observado, foi a quarta-feira, também o maior FP da semana.

· SEMANA 04 _ 20/11/2022 – 26/11/2022

Continuando a análise semanal da potência e fator de potência na entrada do CAE e no SFV, a seguir serão mostrados os valores das medições da quarta semana, sendo os gráficos 45, 47, 49, 51, 53, 55 e 57 referentes às potências e os gráficos 46, 48, 50, 52, 54, 56 e 58 referentes ao fator de potência.

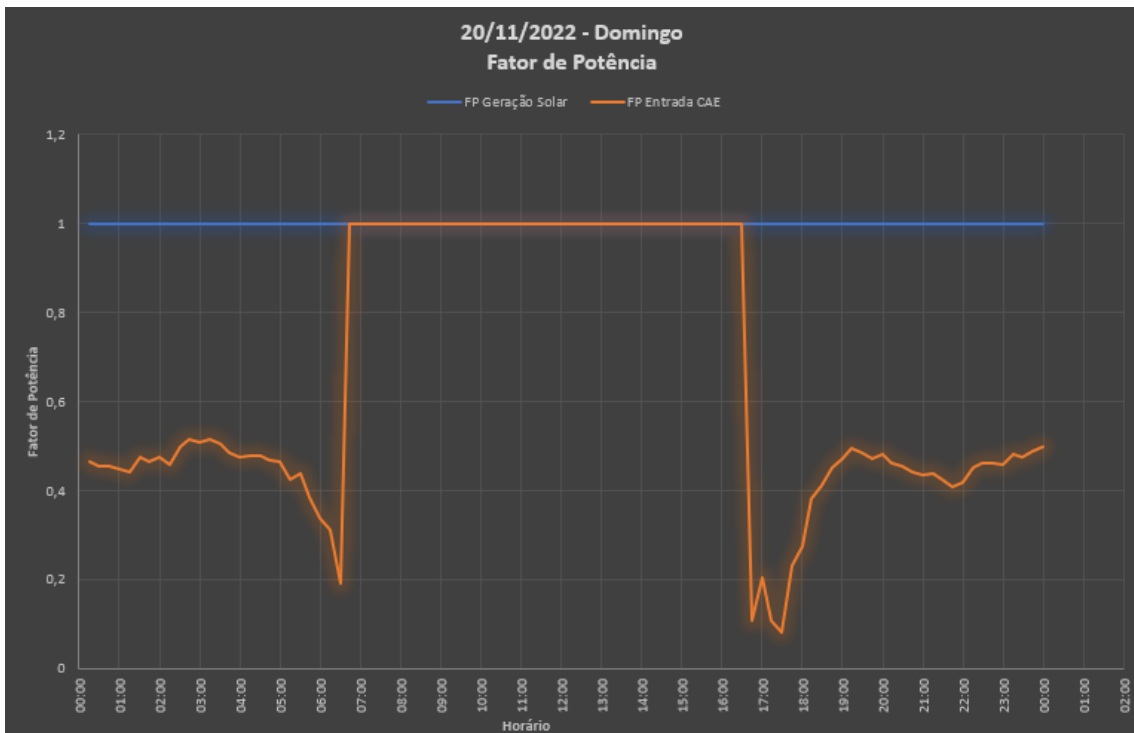
Os gráficos 59 e 60 mostram a potência e o FP ao longo da quarta semana de medições.

Gráfico 45: Gráfico da Potência, dia 20/11/2022.



Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 46: Gráfico do Fator de Potência, dia 20/11/2022.



Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 47: Gráfico da Potência, dia 21/11/2022.



Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 48: Gráfico do Fator de Potência, dia 21/11/2022.



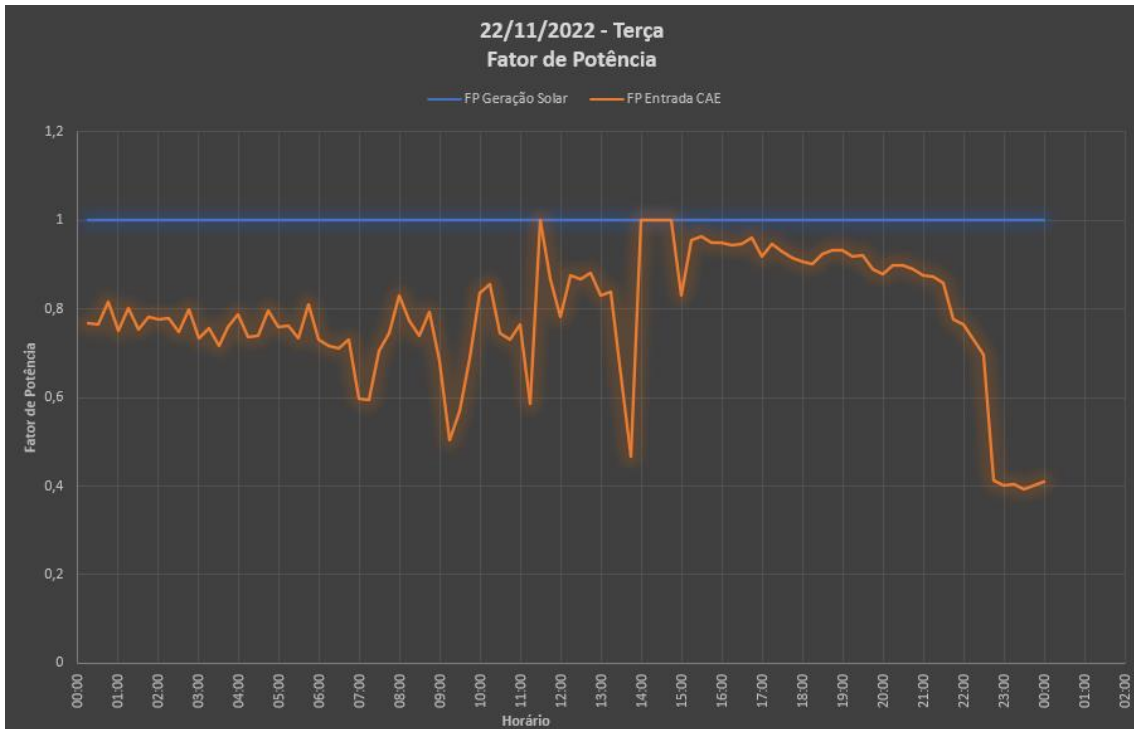
Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 49: Gráfico da Potência, dia 22/11/2022.



Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 50: Gráfico do Fator de Potência, dia 22/11/2022.



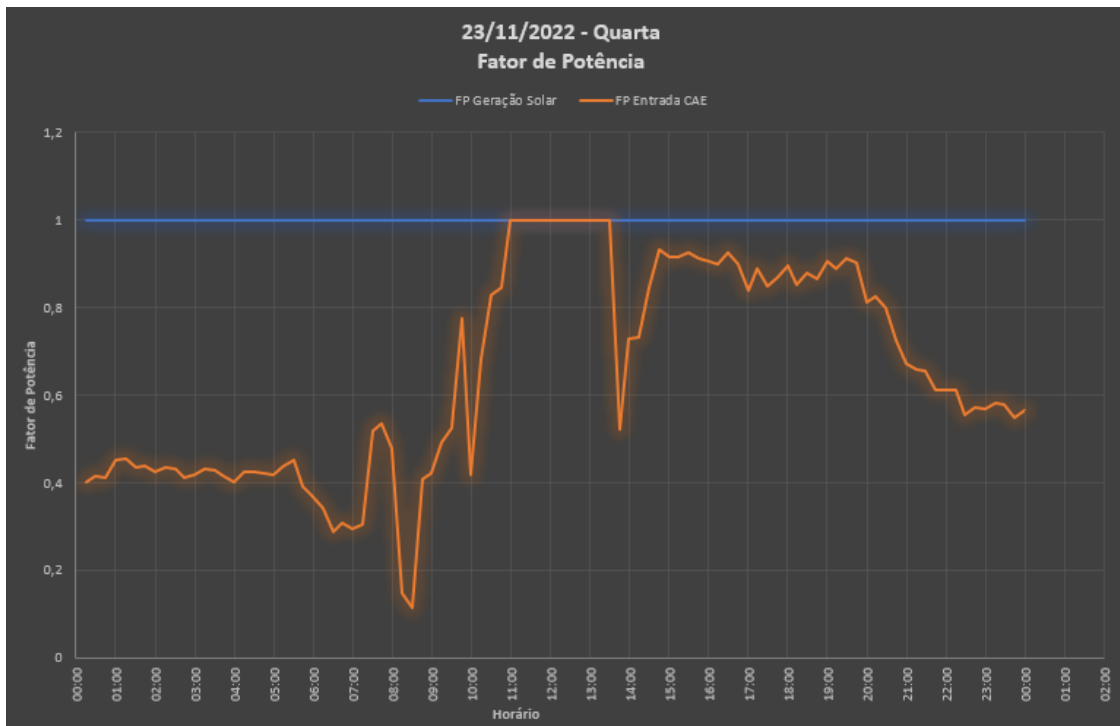
Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 51: Gráfico da Potência, dia 23/11/2022.



Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 52: Gráfico do Fator de Potência, dia 23/11/2022.



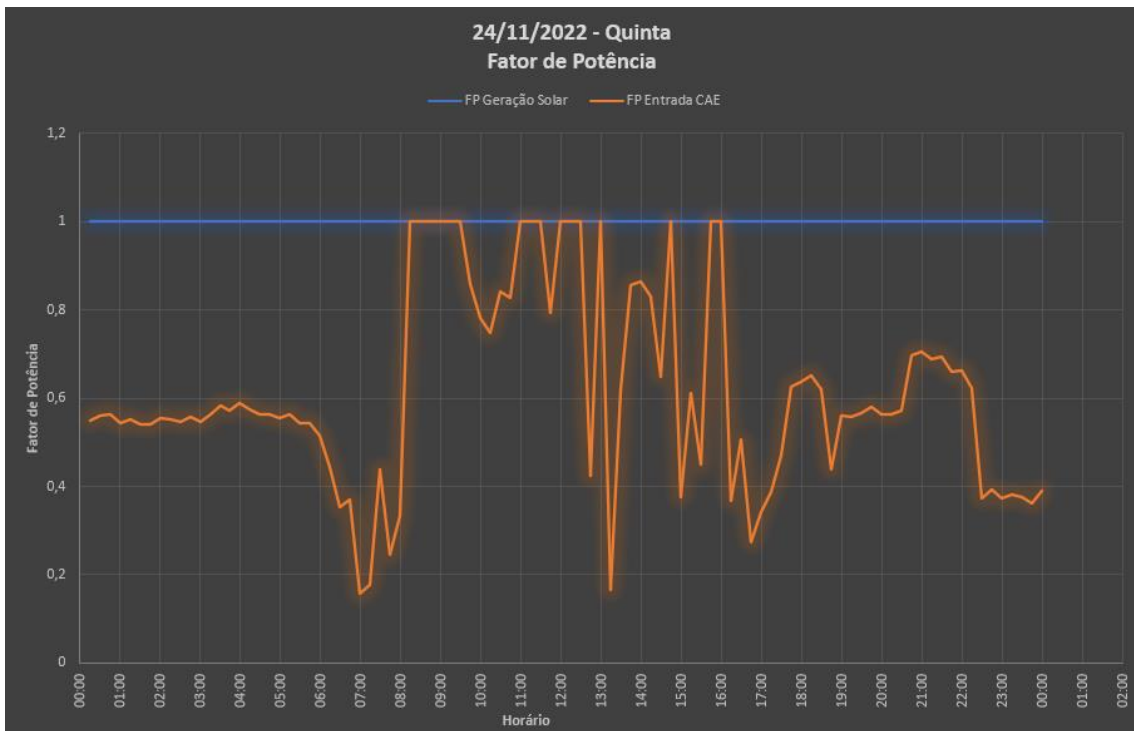
Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 53: Gráfico da Potência, dia 24/11/2022.



Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 54: Gráfico do Fator de Potência, dia 24/11/2022.



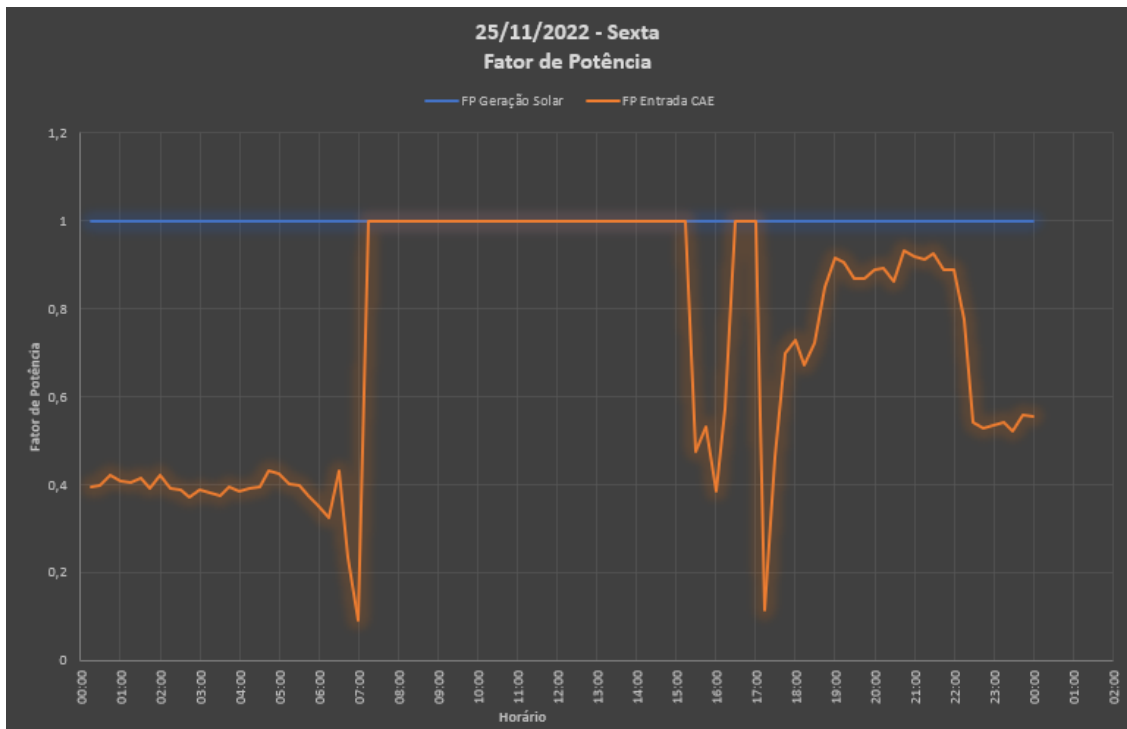
Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 55: Gráfico da Potência, dia 25/11/2022.



Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 56: Gráfico do Fator de Potência, dia 25/11/2022.



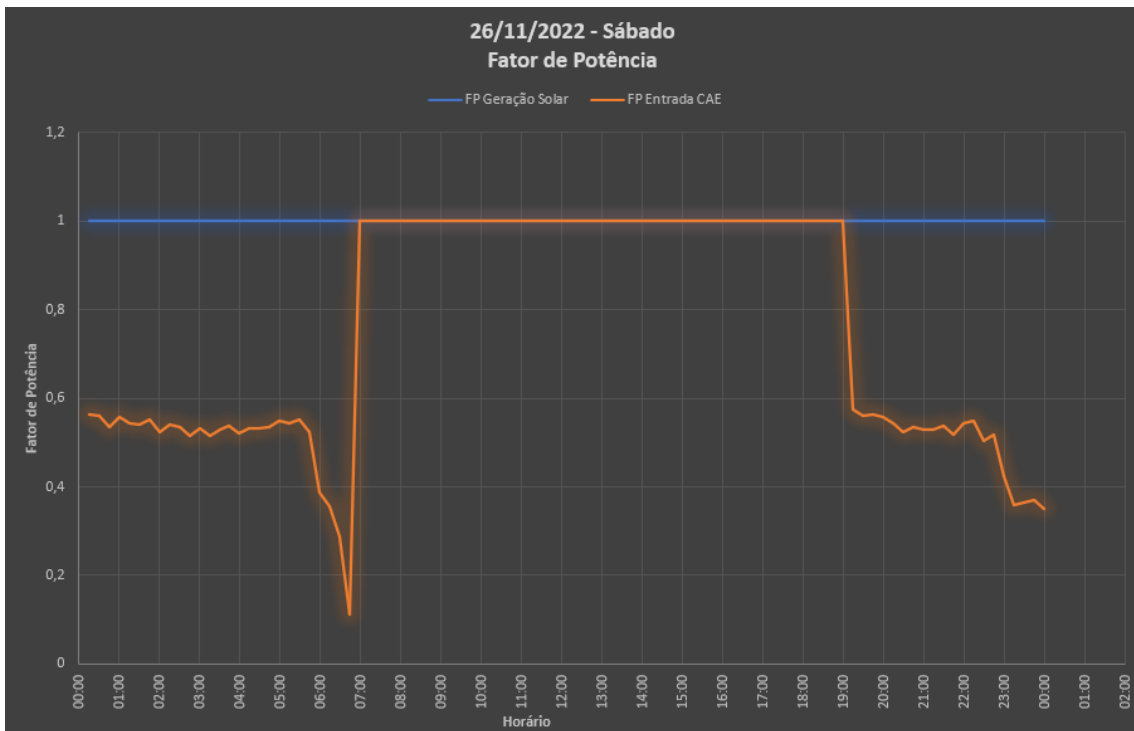
Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 57: Gráfico da Potência, dia 26/11/2022.



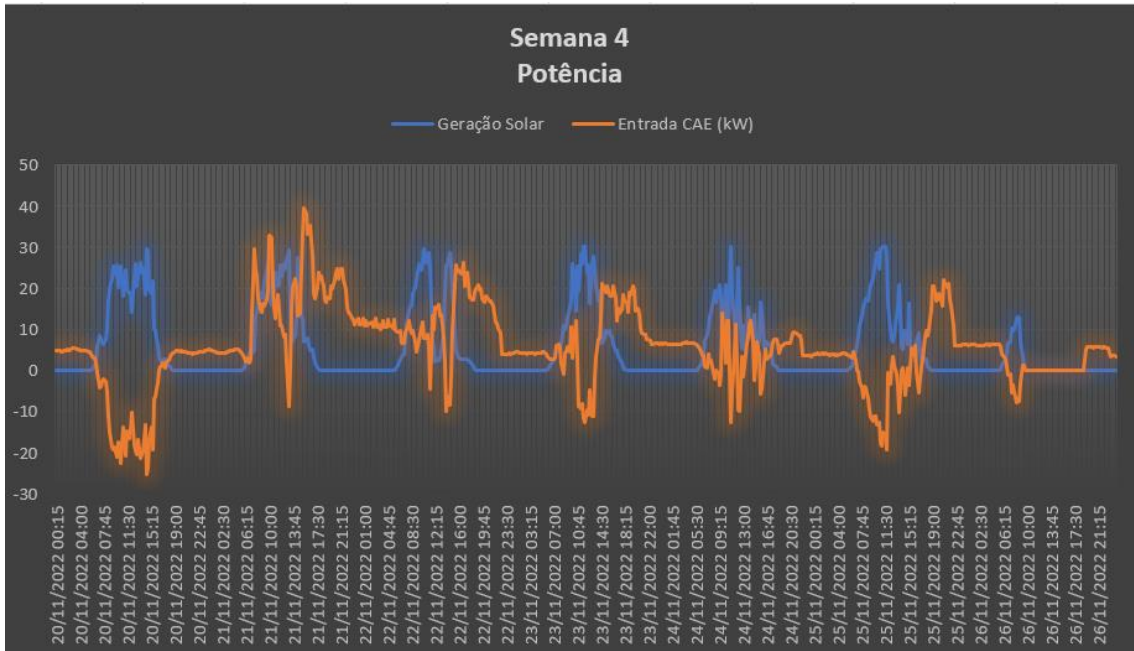
Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 58: Gráfico do Fator de Potência, dia 26/11/2022.



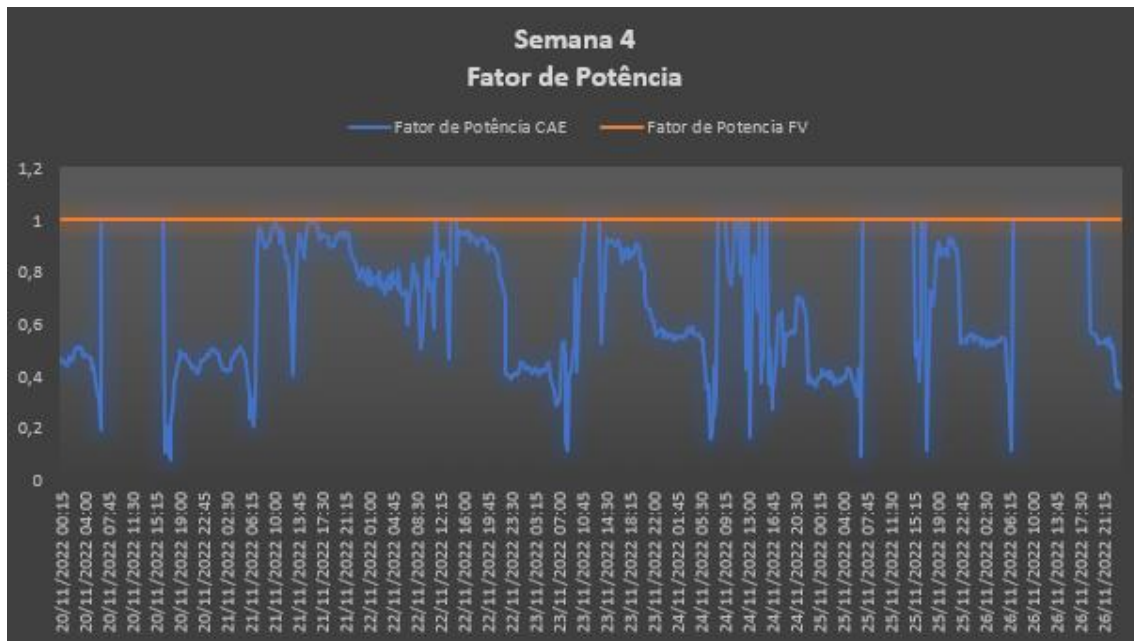
Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 59: Gráfico da Potência, 20/11/2022 a 26/11/2022.



Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 60: Gráfico da Potência, 20/11/2022 a 26/11/2022.



Fonte: elaborado pelos autores.

Começando a penúltima semana, domingo, dia 20/11/2022 (gráficos 45 e 46), o dia foi similar aos outros domingos, com o gráfico da potência na entrada do CAE sendo o inverso do gráfico da geração solar. Nos momentos de transição da direção do fornecimento, o fator de potência decai bruscamente.

Continuando na segunda (gráficos 47 e 48), mais uma vez o gráfico possui um comportamento de alta demanda na maior parte do dia. Durante este dia houve somente uma queda às 13:00 hs da demanda vista pela concessionária, o que causou o maior vale de FP do dia. Sem a geração solar, esse vale teria sido expressivamente menor.

Na terça-feira, dia 22/11/2022 (gráficos 49 e 50), a demanda vista na entrada do CAE foi baixa, ocasionando um FP abaixo de 0,8 na maior parte do dia. Observa-se que, na maior parte dos dias, às 13:00 hs o FP decai devido ao término das aulas às 12:30 hs. Porém, como a geração solar nesse horário decaiu a quase 0, a demanda vista pela concessionária aumentou, aumentando o FP. O FP só decai às 14:00 hs, momento em que a geração solar volta a subir, decaindo a demanda. Esse dia é uma base muito boa a ser tomada para observação do efeito da geração solar no FP da energia vinda da concessionária.

Na quarta-feira, dia 22/11/2022 (gráficos 51 e 52), o fator de potência só atinge valores estáveis após as 14:00 hs, quando a geração solar decresce. Em momentos anteriores a geração solar é efetivamente maior que a quantidade demandada, ocasionando em um FP baixo e inconstante.

Na quinta-feira (gráficos 53 e 54), a geração solar foi extremamente inconstante, com vários valores de picos e vales. Essa característica modificou a demanda da entrada do CAE para valores igualmente inconstantes. A consequência disso no FP, é justamente valores inconstantes no mesmo também, com várias inversões de sentido e valores baixos no FP.

Na sexta-feira, dia 25/11/2022 (gráficos 55 e 56) a geração solar e a demanda foram o inverso uma da outra, devido ao pouco consumo do bloco no dia. A consequência, como nas vezes anteriores, é a inversão no sentido de fornecimento na maior parte do dia, com valores baixos de FP nos pontos de inversão.

Finalizando mais uma semana, o sábado, dia 26/11/2022 (gráficos 57 e 58), as medições não funcionaram. O dia em questão não deve ser considerado para efeito do estudo.

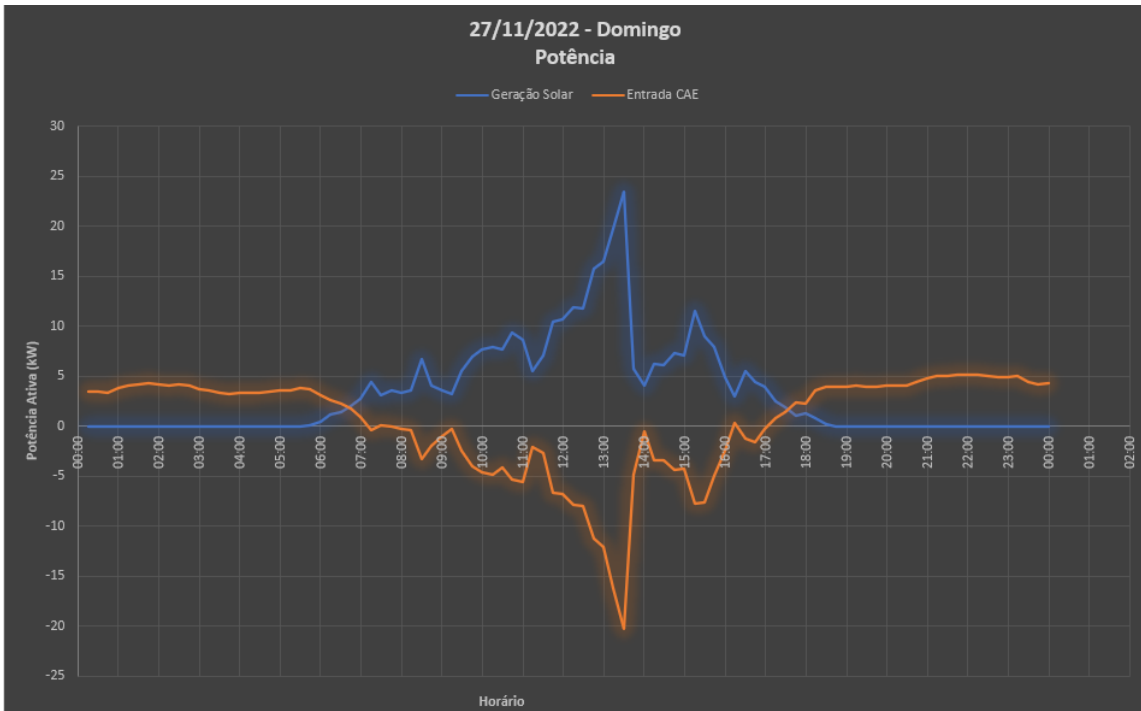
A semana 4, gráficos 59 e 60, entregou novamente respostas coerentes com o esperado do estudo. Momentos de alta “demanda” e baixa geração solar o FP observado é o mais elevado (característica do FP das cargas no CAE); momentos que a demanda iguala a geração solar em um valor mediano, o FP fica com valores baixos; enquanto por último, em dias de alta geração solar com “demanda” baixíssima, o FP vai para a unidade.

· **SEMANA 05 _ 27/11/2022 – 30/11/2022**

Por último, para fechar o mês, os gráficos 61, 63, 65 e 67 mostram as potências dos últimos 4 dias do mês de novembro, com as figuras 62, 64, 66 e 68 mostrando o fator de potência desses mesmos 4 dias.

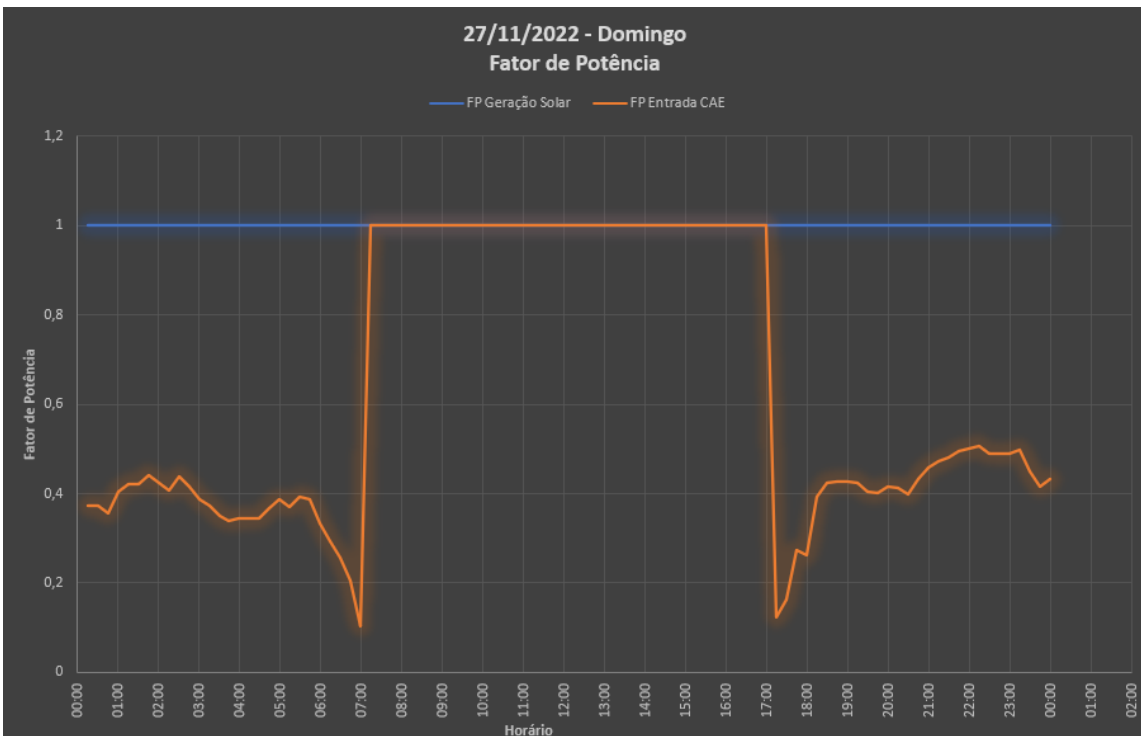
Os gráficos 69 e 70 mostram a demanda vista pela concessionária e o FP ao longo de toda a última semana de medição, respectivamente.

Gráfico 71: Gráfico da Potência, dia 27/11/2022.



Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 72: Gráfico do Fator de Potência, dia 27/11/2022.



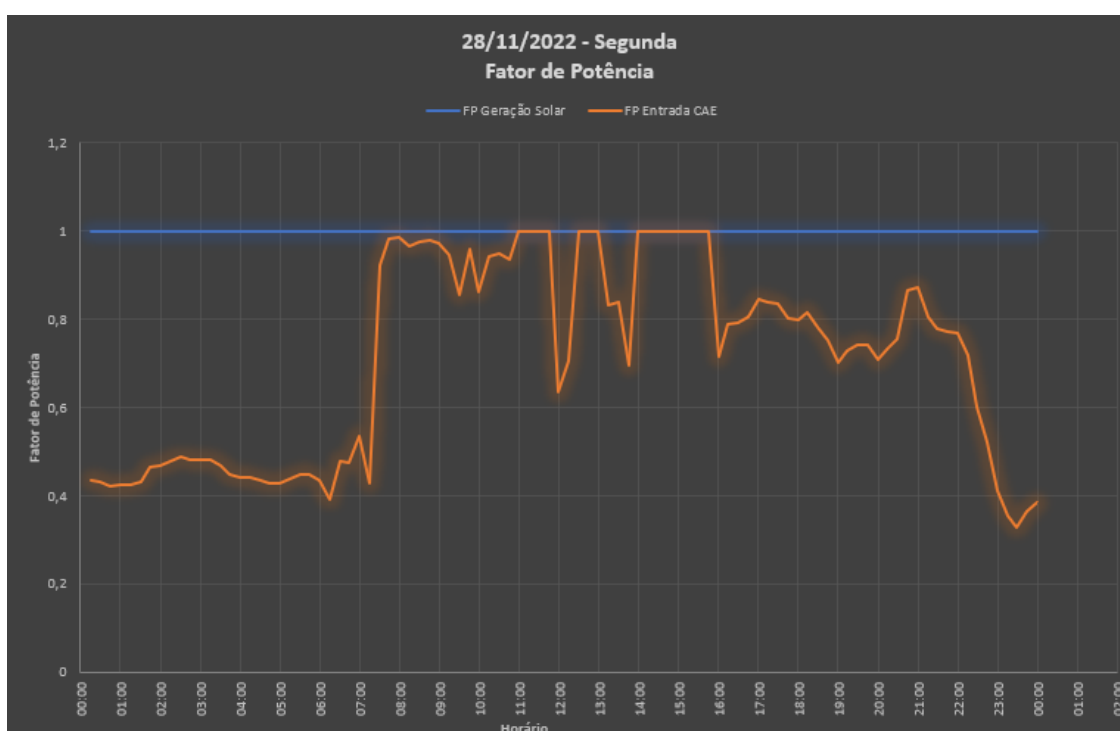
Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 73: Gráfico da Potência, dia 28/11/2022.



Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 74: Gráfico do Fator de Potência, dia 28/11/2022.



Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 75: Gráfico da Potência, dia 29/11/2022.



Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 76: Gráfico do Fator de Potência, dia 29/11/2022.



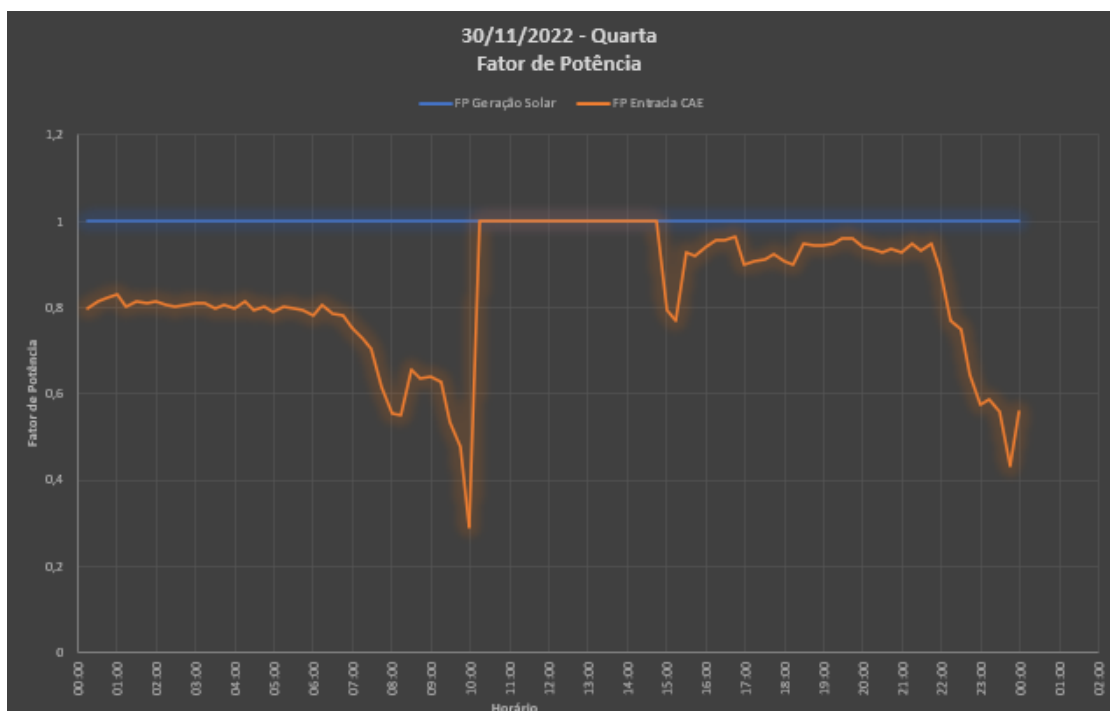
Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 77: Gráfico da Potência, dia 30/11/2022.



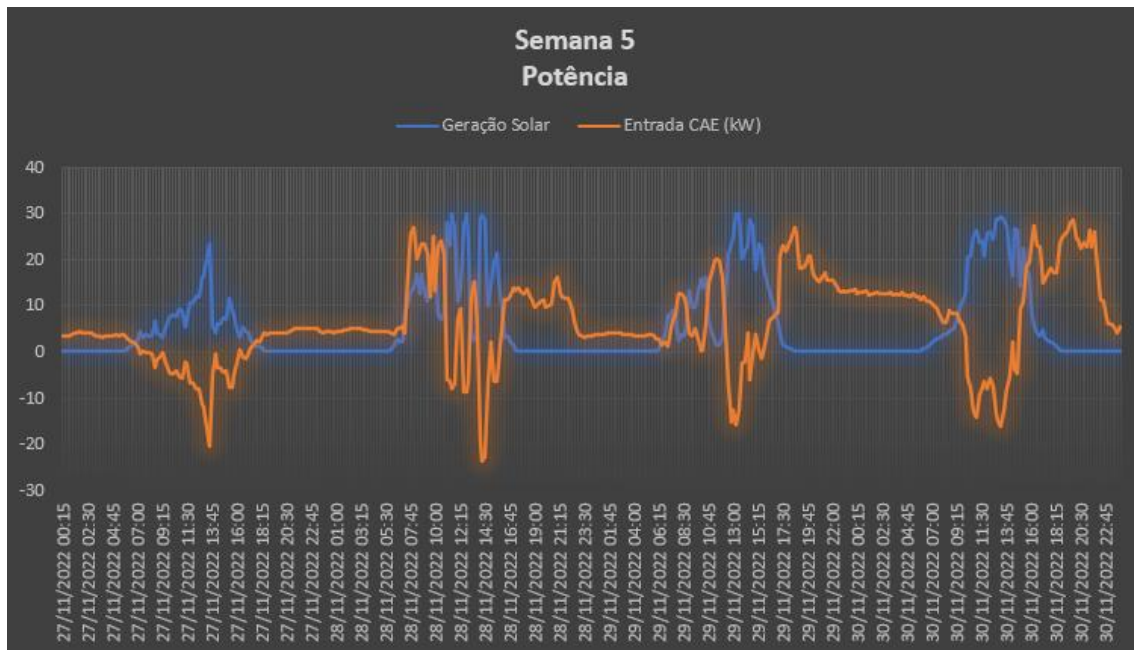
Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 78: Gráfico do Fator de Potência, dia 30/11/2022.



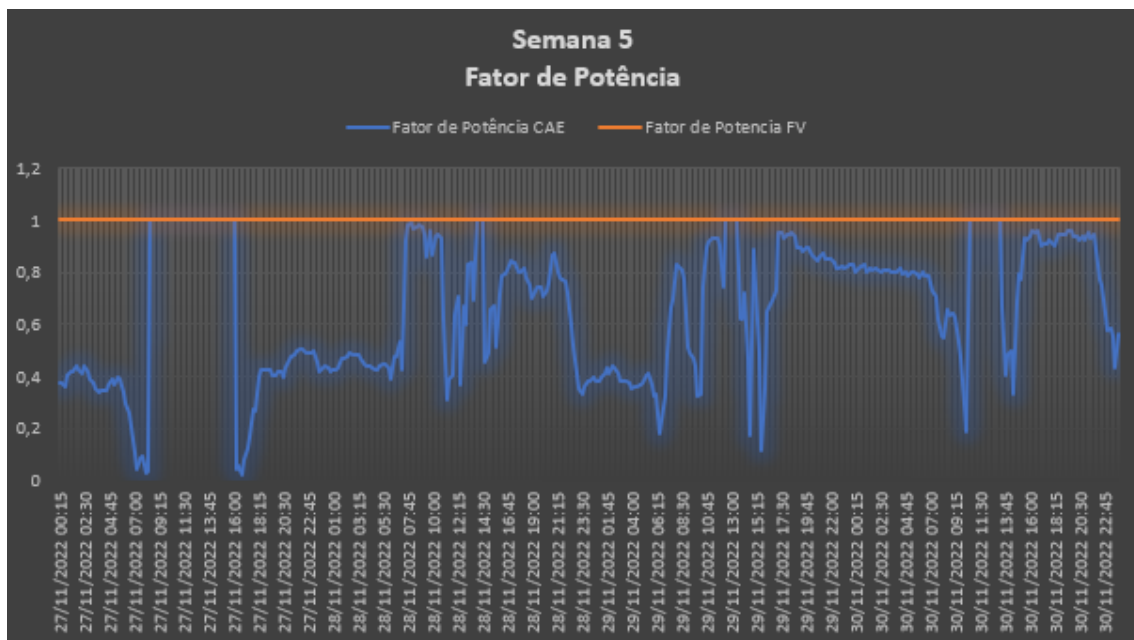
Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 79: Gráfico da Potência, 27/11/2022 a 30/11/2022.



Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 80: Gráfico do Fator de Potência, 27/11/2022 a 30/11/2022.



Fonte: elaborado pelos autores.

Iniciando a última semana do mês de novembro, no domingo, dia 27/11/2022 (gráficos 71 e 72), o comportamento medido foi o mesmo de todos os outros domingos,

inversão de fornecimento de energia na maior parte do dia, com FP baixo nos limites da inversão.

Na segunda-feira (gráficos 73 e 74), a geração solar foi extremamente inconstante. De forma similar a outros dias com essa mesma inconstância de geração solar, a demanda da entrada no CAE foi igualmente inconstante, gerando um FP com vários picos, vales e inversões ($FP = 1$), sendo que nesses momentos de inversões, o fator de potência atinge os menores valores observados, pois a potência requerida pelas cargas do CAE é gerada pelo sol e, nestes instantes, a potência do CAE é perto de zero e o FP também fica perto de zero.

Na terça-feira e na quarta-feira, dias 29/11 e 30/11 (gráficos 75, 76, 77 e 78), o consumo e a geração solar foram similares. Em ambos os dias os maiores picos de “demanda” são observados na parte noturna, após o sol se pôr, momentos sem a geração de energia solar. Ainda, nos dois dias, o gráfico da geração solar caminha contrário ao gráfico da demanda durante os momentos de geração solar; mostrando justamente o efeito da geração solar na diminuição da quantidade de energia demandada para a concessionária. O fator de potência de ambos os dias permanece abaixo de 0,8 pela parte da manhã; e na parte da noite, o FP aumenta para o maior valor, devido à maior demanda e características do FP da carga do prédio.

Pela última semana (gráficos 79 e 80), mais uma vez, fica claro a alteração da geração solar no Fator de Potência. Um sistema que se comporta da mesma maneira em todas as medições realizadas.

Por uma análise mensal, observa-se que de forma geral, a potência e o fator de potência acompanham 3 tipos diferentes de disposições ao longo dos dias do mês:

Tipo 1, a potência demandada é extremamente alta, superando drasticamente em valores a potência de geração solar. Desse tipo de disposição o fator de potência em todos os dias observados foi alto e principalmente estável, prevalecendo a característica do FP das cargas elétricas do CAE.

Tipo 2, a potência demandada é mediana, e acompanha em números a geração de energia solar. Nesses momentos, são mais facilmente notados, se comparado ao primeiro tipo, os distúrbios gerados pela geração solar, com vários altos e baixos no gráfico da

demanda, acompanhando os baixos e altos da geração solar, respectivamente. O fator de potência observado nesse segundo tipo é um fator mediano, girando o seu valor em torno de 0,8 a 0,6; com grande instabilidade ao longo do dia. Esse FP já começa a apresentar alguns problemas.

O terceiro tipo se relaciona com os horários e dias em que a “demanda” foi drasticamente inferior à geração solar. Nesses momentos, o FP fica com valor igual à unidade, pois o fluxo de corrente fica reverso. Para a ocorrência desse terceiro tipo, o FP decai para os valores mais baixos antes e após fixar no valor de “1”; atingindo valores abaixo de 0,6 com grande instabilidade do FP.

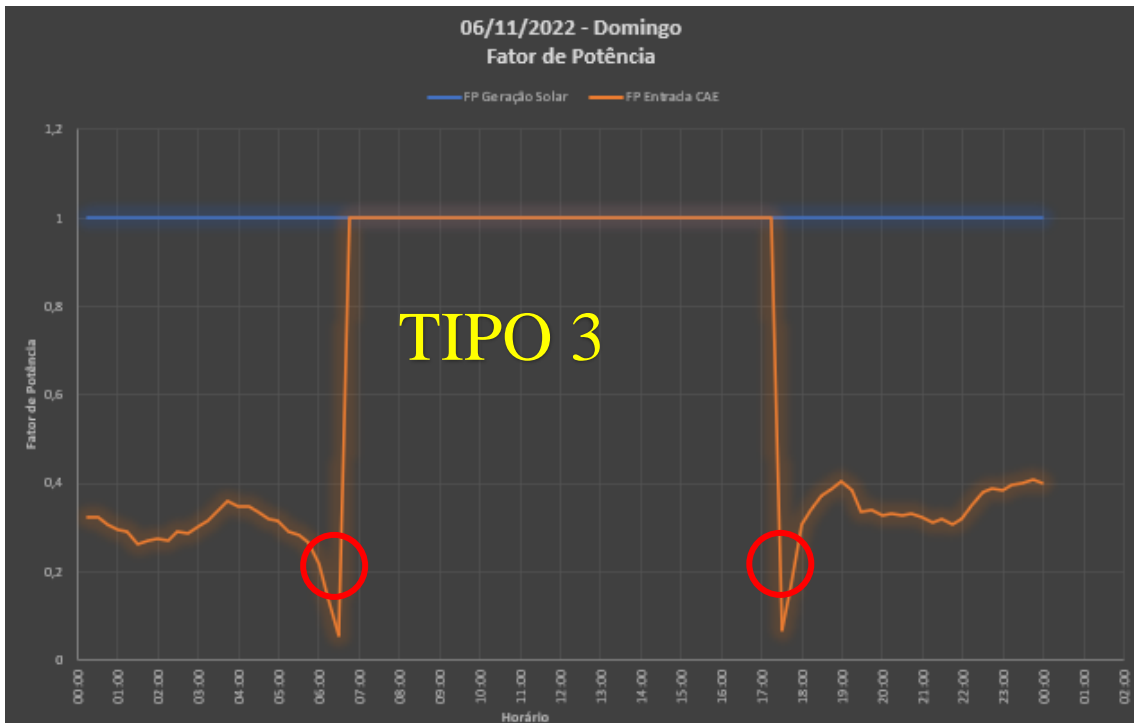
Todos esses três tipos de comportamento citados acima foram observados nos gráficos diários realizados do mês. Para melhor exemplificação dos 3 tipos observados, a seguir será apresentado novamente os gráficos da segunda semana, focando justamente nesse comportamento observado.

Gráfico 81: Gráfico da Potência, dia 06/11/2022.



Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 82: Gráfico do Fator de Potência dia 06/11/2022.



Fonte: elaborado pelos autores.

Primeiramente, começando pelo domingo, observa-se analisando os gráficos 81 e 82 que a partir das 6:30 até aproximadamente 17:30 toda a potência gerada é injetada. Mostrando justamente nos momentos circulados, o momento de inversão do sentido de fornecimento de energia, são os responsáveis por valores baixíssimos de fator de potência.

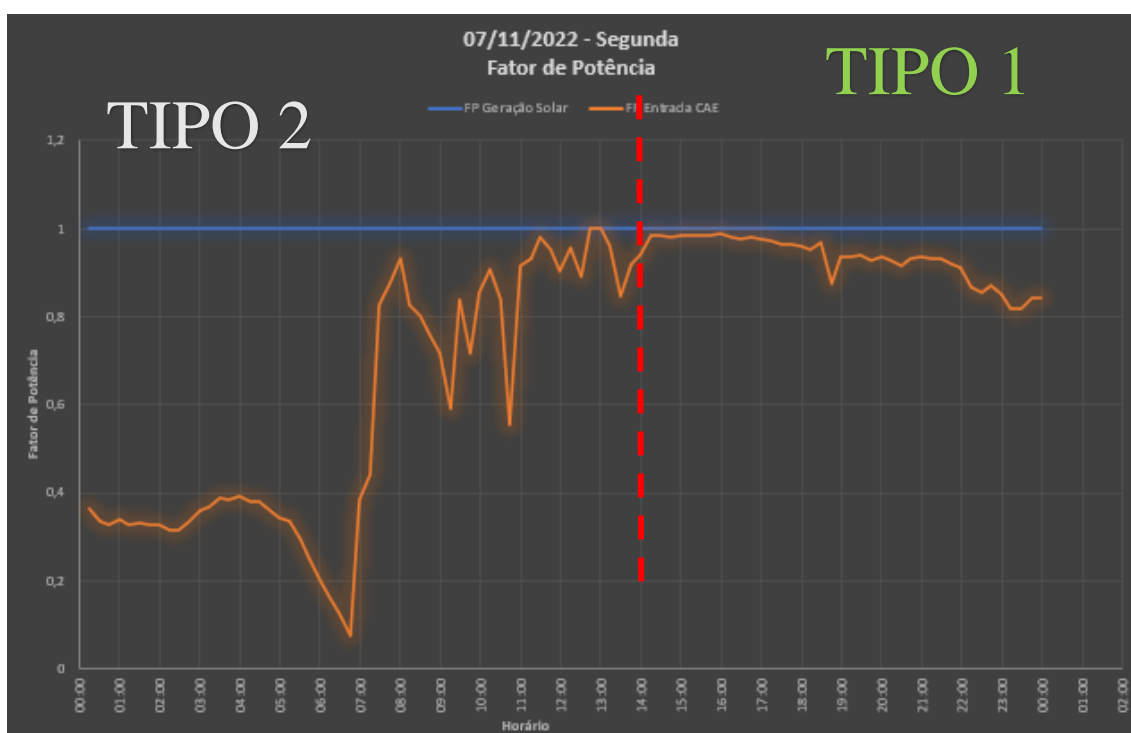
Pela análise realizada, o dia em questão deve entrar no terceiro tipo observado, FP altamente instável com valores a baixo de 0,6.

Gráfico 83: Gráfico da Potência, dia 07/11/2022.



Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 84: Gráfico do Fator de Potência, dia 07/11/2022.

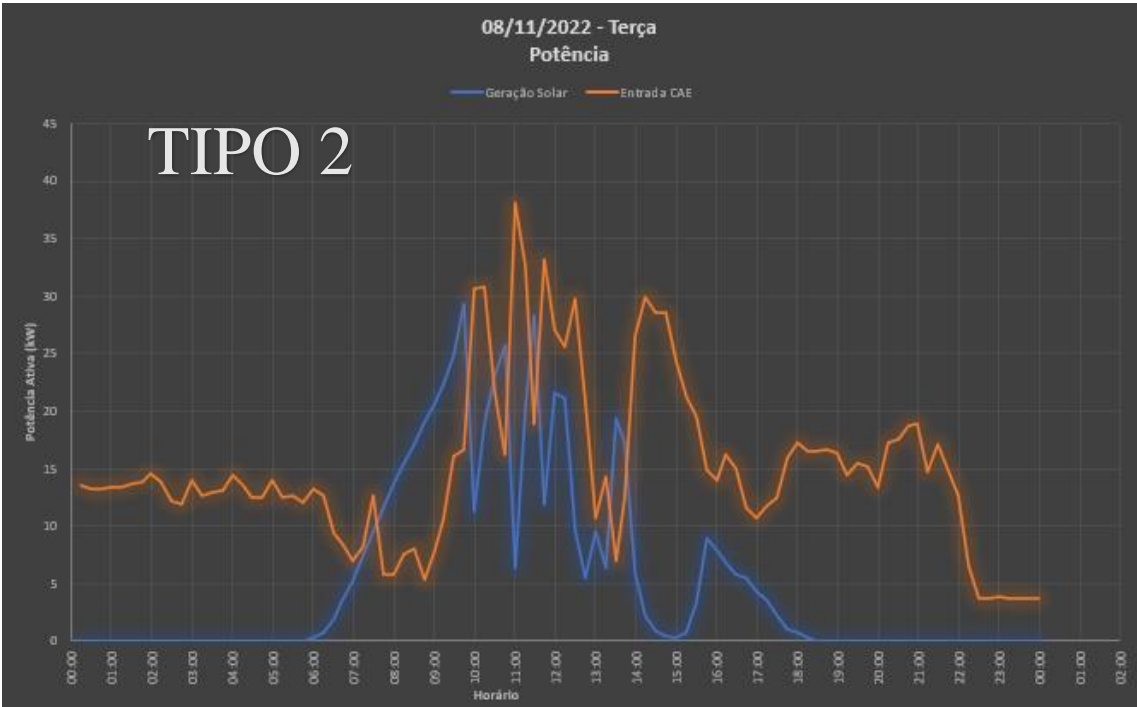


Fonte: elaborado pelos autores.

Segunda feira, observando os gráficos 83 e 84, fica nítido a separação do gráfico em dois momentos distintos. Primeiramente, a potência gerada, fica acompanhando os valores de potência da entrada do CAE, sendo levemente superior. A partir das 14 horas, a geração solar decresce bruscamente, causando uma potência na entrada do CAE superior a gerada no bloco.

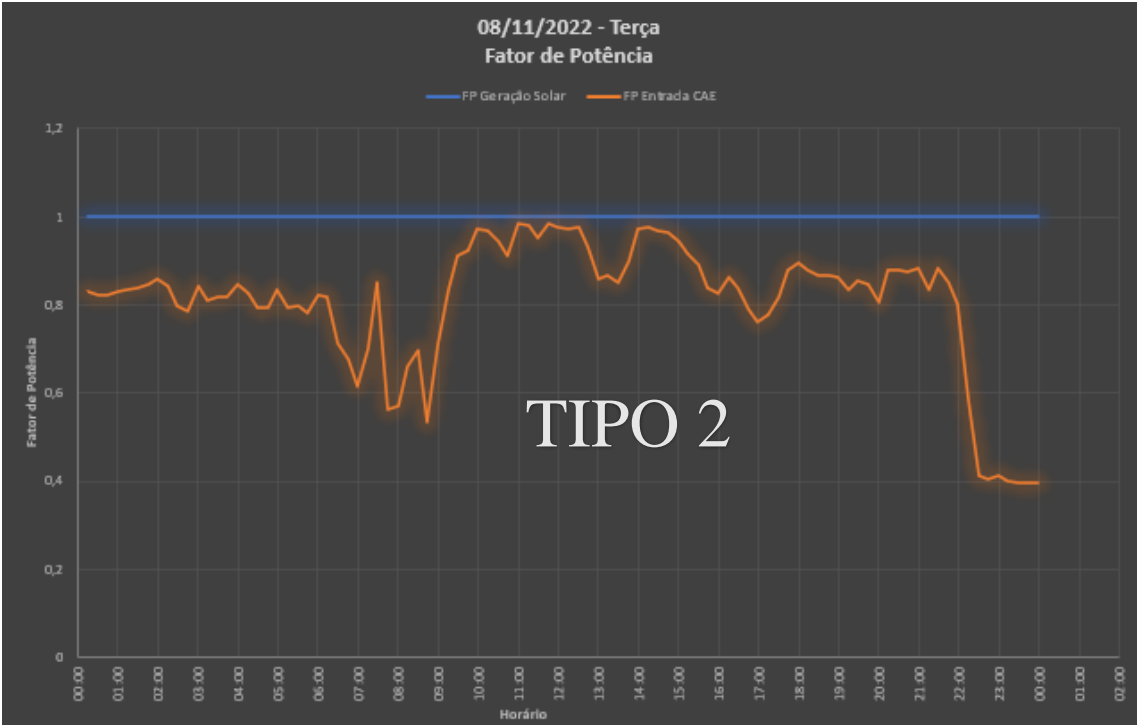
No primeiro momento é observado justamente um FP mais instável, em torno de 0,6 a 0,8; o qual se estabiliza somente posterior as 14 horas. Dessa forma até as 14:00 o gráfico apresenta o segundo tipo observado; enquanto a partir das 14:00 é observado o primeiro tipo observado.

Gráfico 85: Gráfico da Potência, dia 08/11/2022.



Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 86: Gráfico do Fator de Potência, dia 08/11/2022.



Fonte: elaborado pelos autores.

Terça feira, gráficos 85 e 86, a geração de energia solar foi completamente instável ao decorrer do dia. A geração solar acompanhou a quantidade de potência na entrada do CAE. Desse modo, fica bem claro que a instabilidade do gráfico do fator de potência, com valores em torno de 0,8; gerou o segundo tipo observado.

Gráfico 87: Gráfico da Potência, dia 09/11/2022.



Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 88: Gráfico do Fator de Potência, dia 09/11/2022.

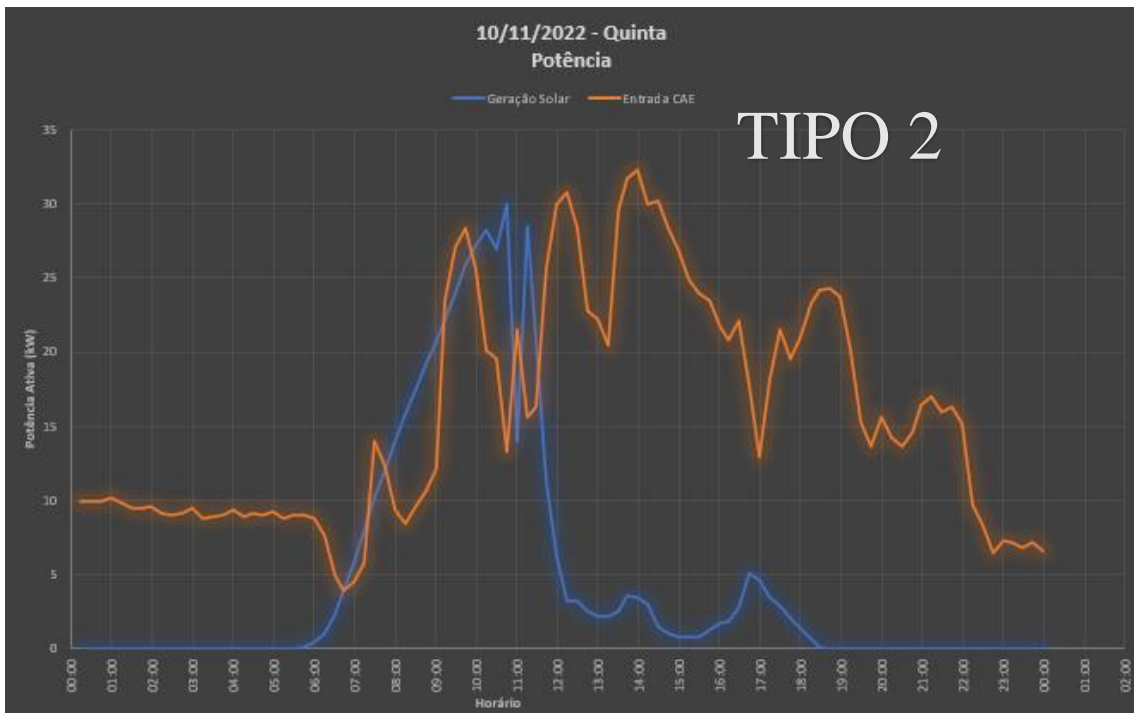


Fonte: elaborado pelos autores.

Quarta feira, gráficos 87 e 88, foi observado um comportamento similar ao da segunda feira. Até as 14:00, a geração solar estava acompanhando a potência da entrada do CAE, após as 14:00, por uma redução da geração solar, a potência da entrada do CAE aumenta. No primeiro momento, o FP é instável, com valores em torno de 0,8; e no segundo momento o FP se estabiliza acima de 0,8.

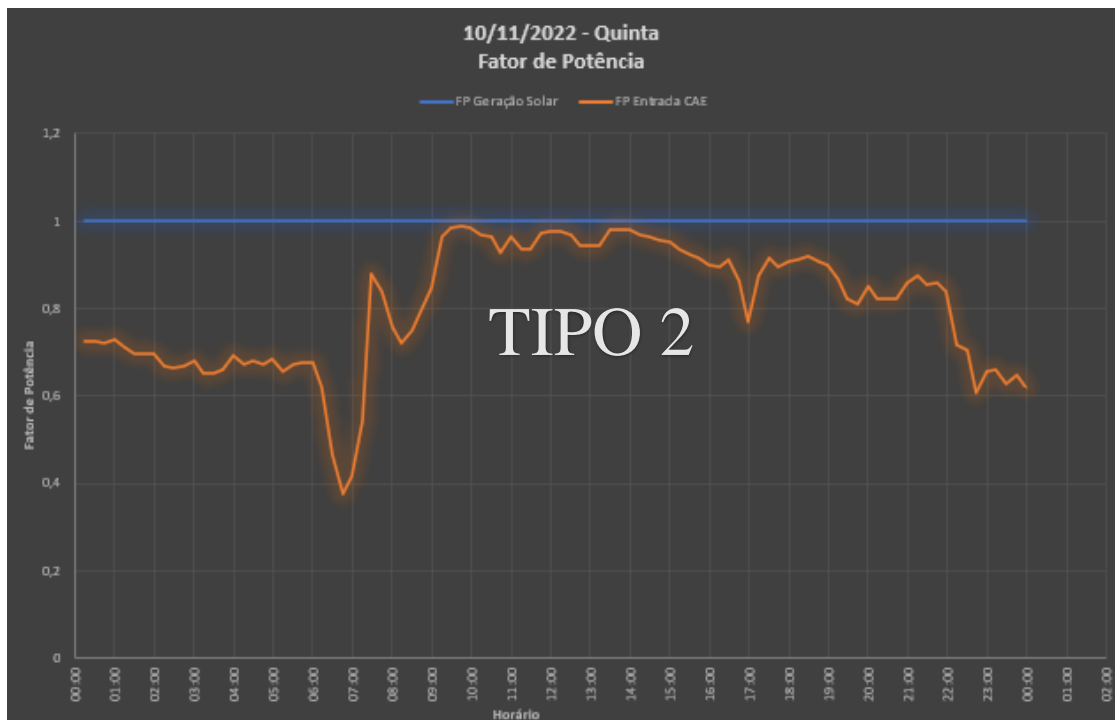
Deste modo conclui-se justamente que o dia abre no segundo comportamento observado, mudando para o primeiro comportamento observado a partir das 14:00.

Gráfico 89: Gráfico da Potência, dia 10/11/2022.



Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 90: Gráfico do Fator de Potência, dia 10/11/2022.



Fonte: elaborado pelos autores.

Quinta feira, gráficos 89 e 90, foi observado um comportamento específico. Primeiramente o dia começa com uma grande geração solar, e por volta de umas 11:30 a

geração decai. Porém por mais que haja esse decaimento da geração solar, a potência da entrada do CAE continua constante, sem alteração. Ao observar o FP do dia, percebe-se que o FP permanece com um FP relativamente instável, por mais que superior a 0,8.

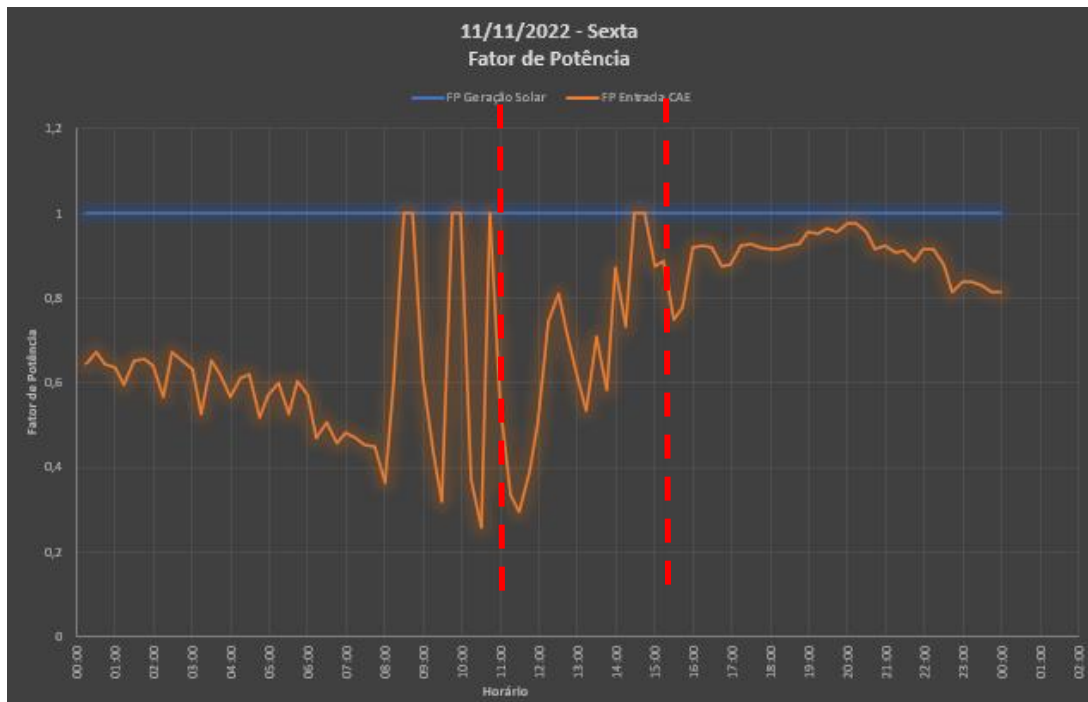
Como o principal fator observado nos 3 tipos listados foi a instabilidade, o tipo observado no dia em questão é do segundo tipo.

Gráfico 91: Gráfico da Potência, dia 11/11/2022.



Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 92: Gráfico do Fator de Potência, dia 11/11/2022.



Fonte: elaborado pelos autores.

Quinta feira, gráficos 91 e 92, foi um dia em que os 3 tipos descritos foram observados. Primeiramente o dia possui pouca potencia vindo da entrada do CAE, tendo inclusive varias inversões do sentido de fornecimento de energia. Após o meio dia, o sistema começa a se estabilizar um pouco mais, subindo o valor do FP, durando ate as 16:00; momento em que é observado o FP mais estável, com valores superiores a 0,8.

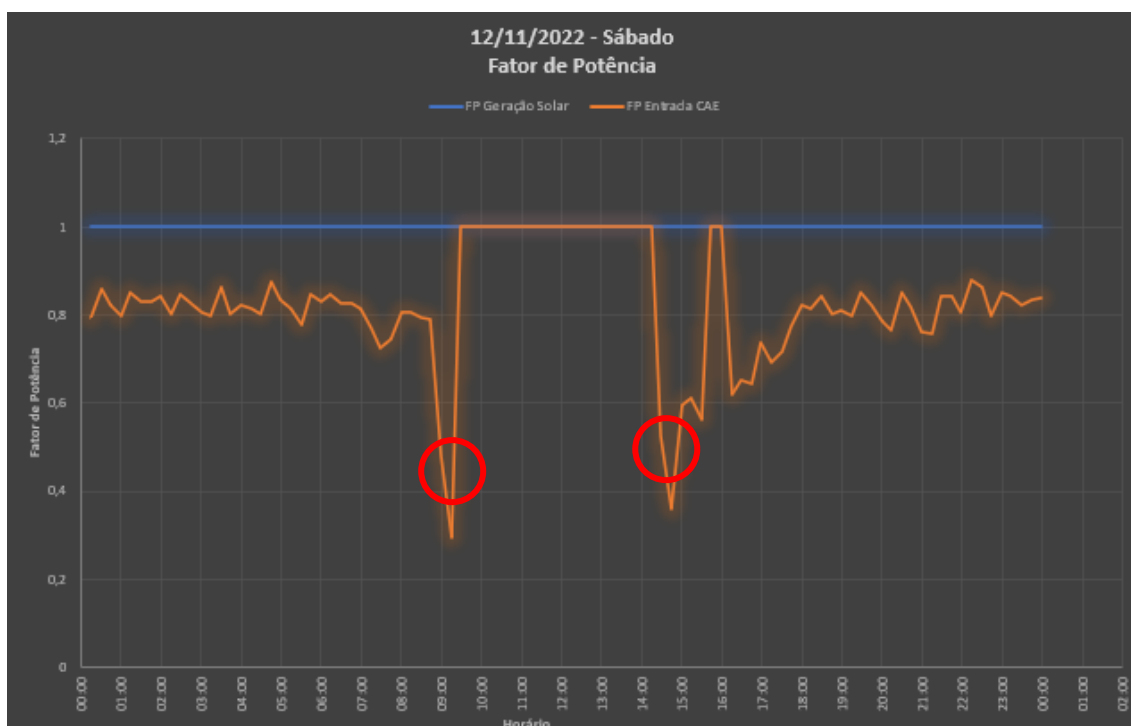
Desse modo fica nítido que o dia começou no terceiro tipo descrito, indo para o segundo, e finalizando por fim no primeiro.

Gráfico 93: Gráfico da Potência, dia 12/11/2022.



Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 94: Gráfico do Fator de Potência, dia 12/11/2022.



Fonte: elaborado pelos autores.

Por fim, analisando o último dia da semana, no sábado, gráficos 93 e 94; o dia foi similar ao domingo, com inversão do sentido de fornecimento, tendo a energia sido

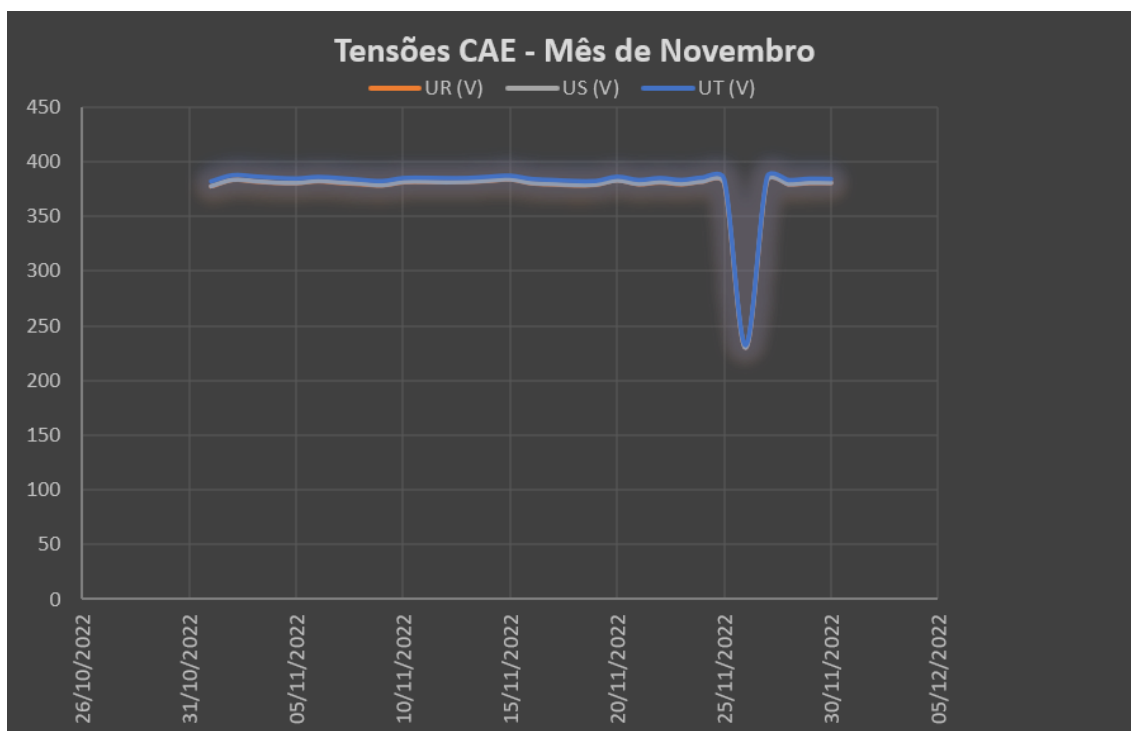
injetada na rede da concessionária. Logo, foi observado o terceiro tipo descrito. Nota-se que circulados, são apresentados os valores mais baixos de FP, ocorridos devido a inversão do sentido de fornecimento.

Por tudo dito, percebe-se que esse assunto é ainda alvo de muitos estudos e novas tecnologias/soluções a serem encontradas.

Como o máximo de geração solar é sempre o mesmo, devido ao limite implicado nos módulos solares e pelo inversor, poderia existir a possibilidade de até mesmo estimar valores do FP considerando a porcentagem de energia solar produzida em relação à energia demandada para a concessionária. Esse estudo é algo mais aprofundado, e não foi feito neste trabalho em questão.

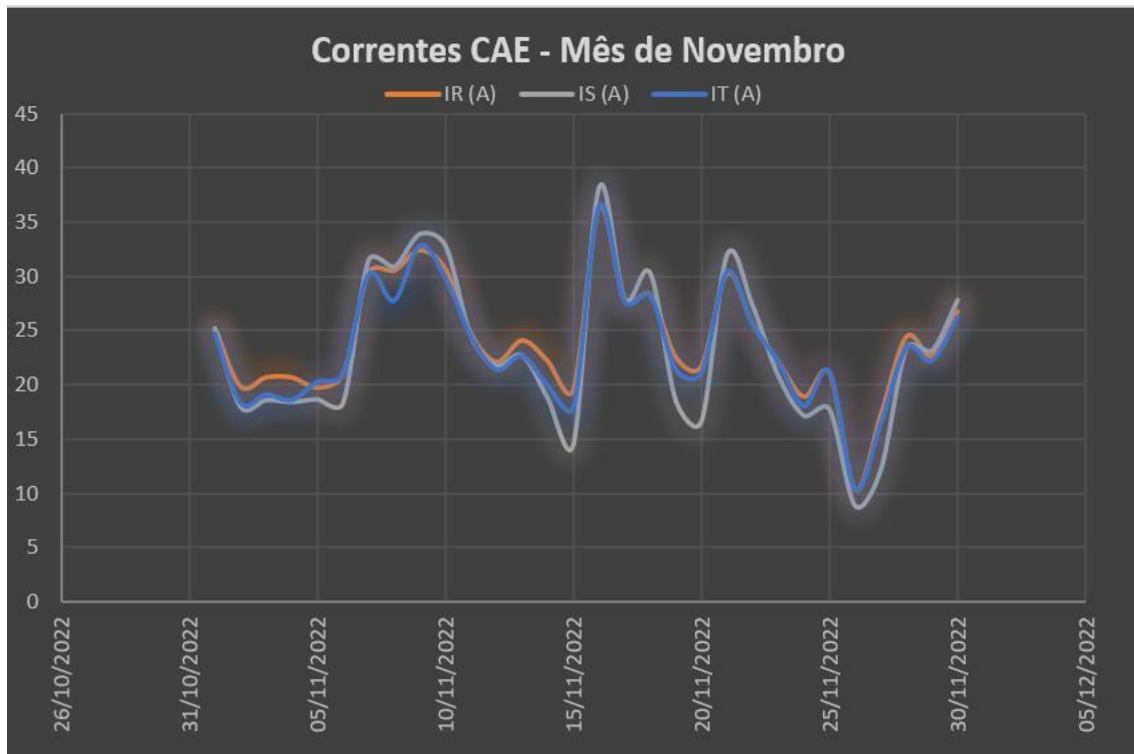
Por fim, serão apresentados os gráficos de tensão e corrente durante todo o mês de novembro de 2022 no CAE. Esses valores estão dispostos dos gráficos 95 e 96.

Gráfico 95: Gráfico das tensões no CAE no mês de novembro de 2022.



Fonte: elaborado pelos autores.

Gráfico 96: Gráfico das correntes no CAE no mês de novembro de 2022.



Fonte: elaborado pelos autores.

A Figura 95 apresenta o perfil das tensões das 3 fases, “RST”, e a figura 96 apresenta o perfil das correntes para essas mesmas 3 fases. Na figura 95 no dia 26/11/2022 não houve medição de tensão, como falado anteriormente. O interessante dos gráficos é notar justamente que a tensão permanece constante enquanto a corrente é a que varia. Desse modo, os dias de maior consumo energético são os referentes às maiores correntes, implicando nos fatores de potência característicos das cargas do prédio.

5. Conclusão

A geração fotovoltaica pode influenciar no FP da rede onde está instalada. Quando a geração é muito superior ao consumo o fator de potência se torna unitário. E quando a geração se equipara ao consumo o FP fica baixo.

Nesta pesquisa, investigamos a influência do fator de potência nos sistemas fotovoltaicos e sua relação com a eficiência e a qualidade da energia gerada. Com base nas medições e em estudos de caso, concluímos que um baixo fator de potência pode levar a perdas significativas e problemas de estabilidade na rede elétrica.

Propusemos abordagens para melhorar o fator de potência, como a utilização de dispositivos de correção de potência reativa, como banco de capacitores. Essas soluções podem resultar em um melhor aproveitamento da energia solar, reduzindo os impactos negativos na rede elétrica e promovendo uma transição mais suave para uma matriz energética renovável.

Conclui-se que para correção desse problema, é utilizado um banco de capacitores, que quando instalados a jusante com a Geração Distribuída, além de fornecer energia reativa de acordo com a demanda da unidade consumidora, também controla o fator de potência.

Para trabalhos futuros, recomenda-se esta mesma análise nas demais Unidades Consumidoras que possuam sistemas fotovoltaicos instalados.

6.Referências

ADAMS, DOUTOR WADE. **Nanotechnology and the future of energy**.Fora.tv. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=chJRdn1DOx0>>. Acesso em Julho de 2023.

ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 1.000, ARTIGO 302**. Disponível em:<<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20211000.html>>.Acesso em Julho de 2023.

CANAL SOLAR, **Fator de Potência das instalações e controle de potência nos inversores**, Marcelo Villalva, junho de 2020. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/fator-de-potencia-das-instalacoes-e-controle-de-potencia-nos-inversores/>. Acesso em Julho de 2023.

CREPPE, Renato Crivellari; SIMONE, Gílio Aluísio. Conversão Eletromecânica de energia. São Paulo, Editora Erica, 2010. Acesso em Julho de 2023.

DORF, Richard C; SVOBODA, James A. Introdução aos Circuitos Elétricos. Rio de Janeiro, LTC, 8 EDIÇÃO, 2012. Acesso em Julho de 2023.

EISBERG, Robert; RESNICK, Robert. **Física Quântica**. Rio de Janeiro – RJ: Editora Campus, 1979. Acesso em Julho de 2023.

ELECTRIC. **Correção do fator de potência**. Disponível em: <<https://electricsservice.com.br/correcao-de-fator-de-potencia/>>. Acesso em Julho de 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Matriz energética e elétrica**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em Julho de 2023.

FELIPE, Henrique. **Série de Fourier animada**. Blog Cyberini. Disponível em: <<https://www.blogcyberini.com/2013/11/series-de-fourier-animada.html>>. Acesso em Julho de 2023.

FILHO, Wilson Aragão; **Eletrônica de Potência 1, retificadores monofásicos e trifásicos**. Vitória – ES: Edição do autor, 1 Edição, 2012. Acesso em Julho de 2023.

FUCHS, Rubens Dario. **Transmissão de Energia Elétrica: Linhas Aéreas**. Rio de Janeiro – RJ: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 1977. Acesso em Julho de 2023.

HAYKIN, Simon; VEEN, Barry Van. Introdução aos Circuitos Elétricos. Porto Alegre, Bookman, 2001. Acesso em Julho de 2023.

JARDIM, Carolina da Silva; SALAMONI, Isabel; RUTHER, Ricardo; KNOB, Paulo; DINIZ, Antônia Sônia Cardoso. **O potencial dos sistemas fotovoltaicos interligados à**

rede elétrica em áreas urbanas: dois estudos de caso. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022004000200029&script=sci_arttext&tlng=pt>. Universidade Federal de Santa Catarina, 2004. Acesso em Julho de 2023.

KARDASHEV, Nikolai Semenovich. **Transmission of Information by Extraterrestrial Civilizations.** Soviet Astronomy, vol.8, 1964. Acesso em Julho de 2023.

MACAGNAN, ANDRÉ LUIS; NETO, JOÃO AUGUSTO RODRIGUES; NETO, RAFAEL NUNES. **Determinação da eficiência energética da tração humana na geração de energia elétrica através de uma bicicleta ergométrica.** Disponível em: <https://nupet.daelt.ct.utfpr.edu.br/tcc/engenharia/doc-equipe/2015_1_08/2015_1_08_final.pdf>. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016. Acesso em Julho de 2023.

MATTEDE, Henrique. **Fator de Potência- o que é e como calcular.** Mundo Elétrica. Disponível em: <<https://www.mundodaeletrica.com.br/fator-de-potencia-o-que-e-como-calcular/>>. Acesso em Julho de 2023.

MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE. **Efeito Estufa e Aquecimento Global.** Ministério do meio ambiente. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/informma/item/195-efeito-estufa-e-aquecimento-global>>. Acesso em de Julho de 2023.

OLIVEIRA, Gabriela. **Efeito Fotoelétrico.** Prepara Enem. Disponível em: <<https://www.preparaenem.com/fisica/efeito-fotoeletrico.htm>>. Acesso em Julho de 2023.

OLIVEIRA, Janine Cavalcante de. Estudo do impacto da geração fotovoltaica e sistema de ar condicionado no fator de potência do centro de aulas das engenharias da UFG. Universidade Federal de Goiás, 2022.

PEDRA, Camilo. **O que é um inversor de frequência? Como é o seu funcionamento?** Schneider Electric. Disponível em: <<https://blog.se.com/br/automacao-industrial/2020/10/22/o-que-e-um-inversor-de-frequencia-e-como-escolher-a-melhor-opcao/>>. Acesso em Julho de 2023.

PINHEIRO, Hélio. **Geradores de corrente alternada.** Instituto Federal. Disponível em: <<https://docente.ifrn.edu.br/heliopinheiro/Disciplinas/maquinas-acionamentos-eletricos/apostila-de-maquinas-de-cc>>. Acesso em de Julho de 2023.

POWERCONTROL. **O que são harmônicos?** Disponível em: <<https://powercontrol.pt/pt/o-que-sao-harmonicos>>. Acesso em Julho de 2023.

SB.LOK. **Saiba o funcionamento de um gerador de corrente alternada.** Disponível em: <<http://www.sblok.com.br/gerador-de-corrente-alternada/>>. Acesso em Julho de 2023.

CCK AUTOMAÇÃO. **Multimedidor** CCK 4400. Disponível em : < <https://cckautomacao.com.br/produtos/>>. Acesso em Julho de 2023.

SEDRA, Adel S; SMITH Kenneth C. Microeletrônica. Rio de Janeiro, Pearson, 5 EDIÇÃO, 20007. Acesso em Julho de 2023.

SILVA, Alex Soto da. **Tudo o que você precisa saber sobre distorções harmônicas- parte 2**. Medição de Energia. Disponível em: < <https://medicaodeenergia.com.br/tudo-sobre-distorcoes-harmonicas-2/>>. Acesso em Julho de 2023.

SILVEIRA, Cristiano Bertulucci. **Corrente alternada: entenda como funciona**. Citisystems. Disponível em: < <https://www.citisystems.com.br/corrente-alternada/> >. Acesso em Julho de 2023.

TANAKA, Hugo Shigueo. **Corrente Alternada**. Todo Estudo. Disponível em: <<https://www.todoestudo.com.br/fisica/corrente-alternada>>. Acesso em Julho de 2023.

UNIVERSIDADE RAISSA. **Corrente contínua e alternada: eletricidade CC**. Disponível em: < <https://blog.raisa.com.br/corrente-continua-e-alternada-eletricidade-cc/>>. Acesso em Julho de 2023.

U.S Army Corps of Engineers. **About Hidropower generation**. Disponível em: <https://www.nwp.usace.army.mil/HDC/edu_genexcit/>. Acesso em Julho de 2023.

U.S ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA). **Does the world have enough oil to meet our future needs**. Disponível em: < <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=38&t=6#:~:text=According%20to%20the%20U.S.%20Energy,for%20liquid%20fuels%20through%202050.>>. Acesso em Julho de 2023.

WIKIVERSITE. **Anexe: exemple de série de Fourier**. Disponível em: < https://fr.wikiversity.org/wiki/S%C3%A9rie_et_transform%C3%A9_de_Fourier_en_physique/Annexe/Exemple1>. Acesso em Julho de 2023.

YAMAMOTO, Thiago K. **Diodo como retificador**. Eletrônica Analógica. Disponível em: < <http://eletronica-analogica2015.blogspot.com/2015/04/diodo-como-retificador.html>>. Acesso em Julho de 2023.