



UNISUL

UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA

MATHEUS ALVES FREITAS

**RELAÇÃO ENTRE LIMPEZA VERSUS EFICIÊNCIA DE MÓDULOS
FOTOVOLTAICOS DE DIFERENTES TECNOLOGIAS**

Tubarão

2020

MATHEUS ALVES FREITAS

**RELAÇÃO ENTRE LIMPEZA VERSUS EFICIÊNCIA DE MÓDULOS
FOTOVOLTAICOS DE DIFERENTES TECNOLOGIAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Luis Fernando Ferreira De Campos, Me.

Tubarão

2020

MATHEUS ALVES FREITAS

**RELAÇÃO ENTRE LIMPEZA VERSUS EFICIÊNCIA DE MÓDULOS
FOTOVOLTAICOS DE DIFERENTES TECNOLOGIAS**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheiro Eletricista e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Elétrica da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Tubarão, 06 de julho de 2020.

Professor e orientador Luis Fernando Ferreira De Campos, Me.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Prof. Eng. Jorge Alberto Lewis Esswein Junior, Me.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Eng. Luis Fernando Modesto de Oliveira
Engie Brasil Energia

Dedico aos meus pais, irmãos, minha esposa Hérica, e colegas, pelo incentivo e pelo apoio constantes, não medindo esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais Izabel Cristina Alves e Elemar Freitas pela minha criação e educação que me possibilitou estar onde cheguei, a meus irmãos Beatriz Alves Freitas e Pedro Alves Freitas que me incentivaram nos momentos difíceis e compreenderam a minha ausência enquanto eu me dedicava à realização deste trabalho e a minha esposa Hérica Serafim Vargas pela convivência e por me auxiliar na escrita e revisão de texto do presente trabalho.

Aos amigos Arthur dos Santos Fogaça, Geyson Rodrigues de Oliveira, Victor Orion Koyama Machado, e todos os demais integrantes do “UOL” não citados diretamente aqui, pela amizade de longa data.

Ao Professor e orientador Luis Fernando Ferreira de Campos, pela orientação, e pelo comprometimento de ajudar na pesquisa exercida.

Aos amigos e colegas de curso Ezequias Silveira Peruzzo, Milena Gaspar de Oliveira e Vitor Olivier que no estágio me ajudaram a conduzir a obtenção de dados na presente pesquisa e aos colegas e amigos Jardel Costa Martins e Kléber Mathiola Backes pela leitura e opinião prestada sobre o trabalho.

Agradeço à equipe do Parque Ambiental Encantos do Sul. Em especial ao Engenheiro eletricista Luis Fernando Modesto de Oliveira, que supervisionou o estudo aqui registrado.

A professora da disciplina de trabalho de conclusão de curso Adriana Zanini e ao coordenador do curso de Engenharia Elétrica, Francisco Duarte De Oliveira.

Agradeço ainda aos demais colegas e professores do curso de Engenharia Elétrica e demais familiares que estiveram ao meu lado me dando todo o apoio e incentivo necessários para a conclusão deste trabalho.

“Poucos de nós entendemos como a eletricidade faz todas essas coisas, mas um número ainda menor pode imaginar a vida sem ela.” (HARARI, 2015).

RESUMO

No mercado é possível encontrar diferentes tecnologias de módulos fotovoltaicos, essas tecnologias experimentam diferentes impactos relacionados ao desempenho em decorrência a sujidade nos módulos. Essa sujidade além de poder degradar os módulos, causa uma perda de rendimento da potência gerada. Estudos comparando a perda por sujidade nos diversos tipos de módulos fotovoltaicos são escassos, e quando encontrados são realizados em laboratório. O presente estudo busca avaliar a perda de desempenho no sistema causado pelo acúmulo de sujeira na superfície dos módulos, utilizando de curvas de IxV medidas diretamente em módulos de uma usina fotovoltaica. Foi realizada uma pesquisa explicativa experimental, que busca correlacionar, o tempo ideal para a limpeza de módulos fotovoltaicos de tecnologias diferentes, visando a máxima eficiência do sistema.

Para a avaliação da pesquisa, as *strings* da usina geradora foram limpas em diferentes intervalos de tempo, buscando comprovar qual intervalo de tempo é mais adequado, isso possibilita medir diferentes valores de máxima potência impostos pela quantidade de sujeira depositada nos módulos, e a comparação dos valores obtidos nas *strings* de diferentes características.

A usina utilizada pela pesquisa está localizada no município de Capivari de Baixo, estado de Santa Catarina no Parque Ambiental Encantos do Sul, administrado pela Associação Jorge Lacerda, a usina tem como objetivo fazer o parque ser autossuficiente energeticamente, de modo que um estudo que melhore a eficiência e adeque o modo de limpeza seja de grande ajuda à empresa e seu objetivo.

Tendo em vista que a sujidade implica na perda de eficiência dos módulos fotovoltaicos, esta pesquisa fez a análise de diferentes tempos de limpeza e um estudo para descobrir qual é intervalo de tempo ideal para que sejam realizadas as limpezas, com o intuito de manter o sistema com elevada eficiência dos módulos fotovoltaicos estudados.

Palavras-chave: Sujidade. Sistemas Fotovoltaicos. Energia Solar Fotovoltaica.

ABSTRACT

In the market it is possible to find different technologies of photovoltaic modules, these technologies experience different impacts related to performance due to dirt in modules. This dirt, besides being able to degrade the modules, causes a loss of performance of the generated power. Studies comparing the loss of dirt in the various types of photovoltaic modules are scarce, and when found they are performed in the laboratory. The present study seeks to evaluate the loss of performance in the system caused by the accumulation of dirt on the surface of the modules, using IxV curves measured directly on modules of a photovoltaic plant. An experimental explanatory research was carried out, seeking to correlate, the ideal time for cleaning photovoltaic modules of different technologies, aiming at the maximum efficiency of the system.

For the evaluation of the research, the strings of the power plant were cleaned in different time intervals, seeking to prove which time interval is more appropriate, this makes it possible to measure different values of maximum power imposed by the amount of dirt deposited in the modules, and the comparison of values obtained in strings of different characteristics.

The power plant used by the research is located in Capivari de Baixo, Santa Catarina State, in the Parque Ambiental Encantos do Sul, managed by the company Associação Jorge Lacerda, the purpose of the power plant is to make the park self-sufficient energetically, so that a study that improves the efficiency and fits the cleaning mode is of great help to the company and its goal.

In view of the fact that soiling implies a loss of efficiency of photovoltaic modules, this research has analyzed different cleaning times and a study to find out what is the ideal time interval for cleaning, in order to maintain the system with high efficiency of the photovoltaic modules studied.

Keywords: Soiling. Photovoltaic Systems. Solar Photovoltaic Energy.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 Horas de Sol de Pico	19
Figura 2 Tipos de radiação solar terrestre	19
Figura 3 Curva característica IxV de um módulo FV	21
Figura 4 Painéis de CdTe na Usina do PAES.....	23
Figura 5 Painéis de Mono/c-Si na Usina do PAES	24
Figura 6 Painéis de a-Si na Usina do PAES	25
Figura 7 Painéis de Multi/c-Si na Usina do PAES	25
Figura 8 Painéis de CIGS na Usina do PAES	26
Figura 9 Painéis de a-Si/ μ c-Si na Usina do PAES	27
Figura 10 Inversor modelo PVI-10.0-TL-OUTD-S no PAES.....	28
Figura 11 <i>Stringbox</i> com VMU-M e VMU-S	29
Figura 12 VMU-M a esquerda e a direita VMU-S da empresa Carlo Gavazzi.....	29
Figura 13 Potência do módulo em diferentes temperaturas do módulo e com irradiância constante.....	31
Figura 14 Curvas IxV para irradiância variável e temperatura constante.	31
Figura 15 Resposta espectral para diferentes tipos de células.....	32
Figura 16 Diferentes métodos de limpeza para remoção de sujeira em módulos FV	33
Figura 17 Datalogger VSN700.....	34
Figura 18 Supervisório LAquis exibindo as grandezas da tecnologia a-Si/ μ c-Si.	34
Figura 19 Vista aérea da usina do PAES.....	35
Figura 20 Foto térmica do módulo CdTe.	42
Figura 21 Foto térmica do módulo Mono/c-Si.....	42
Figura 22 Foto térmica do módulo a-Si.....	42
Figura 23 Foto térmica do módulo Multi/c-Si.....	43
Figura 24 Foto térmica do módulo CIGS.	43
Figura 25 Foto térmica do módulo a-Si/ μ c-Si.....	43

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Matriz elétrica Brasileira.	14
Gráfico 2 Capacidade FV instalada anual global de 2002 até 2018, em GW	21
Gráfico 5 Irradiação no Plano Horizontal e inclinado para localidade próxima à da Usina. ...	37
Gráfico 6 Energia gerada por tecnologia no período de junho de 2019 a março de 2020.	38
Gráfico 3 Temperatura Ambiente no Período de novembro de 2019 a março de 2020	39
Gráfico 4 Potência Nominal e Potência Corrigida em cada módulo em função da temperatura de ambiente de 37 °C.....	41
Gráfico 7 Produtividade das <i>strings</i> de CdTe no período da pesquisa.	49
Gráfico 8 Produtividade das <i>strings</i> de CdTe durante a semana da segunda limpeza.	51
Gráfico 9 Produtividade das <i>strings</i> de CdTe durante a semana da terceira limpeza.	51
Gráfico 10 Produtividade das <i>strings</i> de CdTe durante a semana da quarta limpeza.	53
Gráfico 11 Produtividade das <i>strings</i> de CdTe durante a semana da quinta limpeza.	54
Gráfico 12 Produtividade de Mono/c-Si no período da pesquisa.	55
Gráfico 13 Produtividade de Mono/c-Si durante a semana da segunda limpeza.	56
Gráfico 14 Produtividade de Mono/c-Si durante a semana da terceira limpeza.	57
Gráfico 15 Produtividade das <i>strings</i> de a-Si no período da pesquisa.	58
Gráfico 16 Produtividade das <i>strings</i> de a-Si durante a semana da segunda limpeza.	60
Gráfico 17 Produtividade das <i>strings</i> de a-Si durante a semana da terceira limpeza.	60
Gráfico 18 Produtividade das <i>strings</i> de a-Si durante a semana da quarta limpeza.	61
Gráfico 19 Produtividade das <i>strings</i> de Multi/c-Si no período da pesquisa.	62
Gráfico 20 Produtividade das <i>strings</i> de Multi/c-Si durante a semana da segunda limpeza.	63
Gráfico 21 Produtividade das <i>strings</i> de Multi/c-Si durante a semana da terceira limpeza.	64
Gráfico 22 Produtividade das <i>strings</i> de CIGS no período da pesquisa.	65
Gráfico 23 Produtividade das <i>strings</i> de CIGS durante a semana da segunda limpeza.	66
Gráfico 24 Produtividade das <i>strings</i> de CIGS durante a semana da terceira limpeza.	67
Gráfico 25 Produtividade das <i>strings</i> de CIGS durante a semana da quarta limpeza.	67
Gráfico 26 Produtividade das <i>strings</i> de a-Si/ μ c-Si no período da pesquisa.	68
Gráfico 27 Produtividade das <i>strings</i> de a-Si/ μ c-Si durante a semana da segunda limpeza.	69
Gráfico 28 Produtividade das <i>strings</i> de a-Si/ μ c-Si durante a semana da terceira limpeza.	70
Gráfico 29 Produtividade das <i>strings</i> de a-Si/ μ c-Si durante a semana da quarta limpeza.	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Oferta Interna de Energia no Brasil e Mundo (% e TWh).....	12
Tabela 2 Fatores influentes em parâmetros do módulo FV.....	22
Tabela 5 Número de Módulos, <i>Strings</i> e Potência	35
Tabela 6 Potência por <i>String</i>	36
Tabela 7 Irradiação mensal da localidade.....	37
Tabela 8 Fator de Capacidade do Sistema.....	38
Tabela 9 Cronograma de limpeza.....	38
Tabela 3 Características Térmicas dos módulos da UF- PAES.....	40
Tabela 4 Perdas por temperatura de 37 °C na usina do PAES.	41
Tabela 10 Valores das grandezas dos arranjos do sistema CdTe no dia 12/03/2020.	44
Tabela 11 Valores das grandezas dos arranjos do sistema Mono/c-Si no dia 12/03/2020.....	44
Tabela 12 Valores das grandezas dos arranjos do sistema a-Si no dia 12/03/2020.....	44
Tabela 13 Valores das grandezas dos arranjos do sistema Multi/c-Si no dia 12/03/2020.....	45
Tabela 14 Valores das grandezas dos arranjos do sistema CIGS no dia 12/03/2020.....	45
Tabela 15 Valores das grandezas dos arranjos do sistema a-Si/ μ c-Si no dia 12/03/2020.....	45
Tabela 16 Ganho médio de potência máxima percentual um mês após a limpeza de referência.	46
Tabela 17 Ganho médio de potência máxima percentual dois meses após a limpeza de referência.	47
Tabela 18 Ganho médio de potência máxima percentual três meses após a limpeza de referência.	47
Tabela 19 Ganho médio de potência máxima percentual quatro meses após a limpeza de referência.	47
Tabela 20 Produtividade das <i>strings</i> de CdTe referente a primeira e segunda limpeza das <i>strings</i> no período de 12/11/2019 até 14/01/2020.	50
Tabela 21 Produtividade das <i>strings</i> de CdTe referente a primeira, segunda, terceira e quarta limpeza referente ao período de 15/01/2020 até 16/03/2020.	52
Tabela 22 Produtividade das <i>strings</i> de CdTe referente as cinco limpezas referente ao período de 17/03/2020 até 31/03/2020.	53
Tabela 23 Produtividade das <i>strings</i> de Mono/c-Si referente a primeira e segunda limpeza no período de 12/11/2019 até 11/02/2020.	55

Tabela 24 Produtividade das <i>strings</i> de Mono/c-Si referente a segunda e terceira limpeza no período de 12/12/2019 até 31/03/2020.	56
Tabela 25 Produtividade das <i>strings</i> de a-Si referente a primeira e segunda limpeza no período de 12/11/2019 até 11/02/2020.	58
Tabela 26 Produtividade das <i>strings</i> de a-Si referente a primeira, segunda, terceira e quarta limpeza no período de 21/01/2019 até 31/03/2020.	59
Tabela 27 Produtividade das <i>strings</i> de Multi/c-Si referente a primeira e segunda limpeza no período de 19/11/2019 até 18/02/2020.	62
Tabela 28 Produtividade das <i>strings</i> de Multi/c-Si referente a segunda e terceira limpeza no período de 19/02/2019 até 31/03/2020.	63
Tabela 29 Produtividade das <i>strings</i> de CIGS referente a primeira e segunda limpeza no período de 06/12/2019 até 05/02/2020.	65
Tabela 30 Produtividade das <i>strings</i> de CIGS referente a primeira, segunda, terceira e quarta limpeza no período de 06/02/2019 até 31/03/2020	66
Tabela 31 Produtividade das <i>strings</i> de a-Si/ μ c-Si referente a primeira e segunda limpeza no período de 06/12/2019 até 05/02/2020.	69
Tabela 32 Produtividade das <i>strings</i> de a-Si/ μ c-Si referente a primeira, segunda, terceira e quarta limpeza no período de 06/02/2019 até 31/03/2020.	70

LISTA DE SIGLAS

AM – Massa de Ar, em inglês *Air Mass*

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito

DGS – Sociedade Alemã de Energia Solar, do alemão *Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie*

FC – Fator de Capacidade

FF – Fator de Forma

FV – Fotovoltaico

GP – Ganho Percentual

IEC – Comissão Internacional de Eletrotécnica, do inglês *International Electrotechnical Commission*

MME – Ministério de Minas e Energias

MPP – Ponto de Máxima Potência, do inglês *Maximum Power Point*

NOCT – Temperatura Nominal da Célula em Operação, do inglês *Nominal Operating Cell Temperature*

PAES – Parque Ambiental Encantos do Sul

PR – Taxa de Desempenho, do inglês *Performance Ratio*

SCADA – Controle de Supervisão e Aquisição de Dados, do inglês *Supervisory Control and Data Acquisition*

SFVCR – Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede

STC – Condições Padrão de Teste, do inglês *Standard Test Conditions*

UF – Usina Fotovoltaica

VMU-M – Unidade Visual de Monitoramento - Mestre, do inglês *Visual Monitoring Unit – Master*

VMU-S – Unidade Visual de Monitoramento - Escravo, do inglês *Visual Monitoring Unit – Slave*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 JUSTIFICATIVA	13
1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	14
1.3 OBJETIVOS	15
1.3.1 Objetivo Geral	15
1.3.2 Objetivos Específicos.....	15
1.4 DELIMITAÇÕES	15
1.5 METODOLOGIA	15
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 RECURSO SOLAR.....	18
2.1.1 Radiação Solar.....	18
2.2 CONVERSÃO DE ENERGIA SOLAR EM ENERGIA ELÉTRICA	20
2.2.1 Contexto Histórico.....	20
2.2.2 Energia Solar Fotovoltaica	21
2.2.2.1 Módulo Fotovoltaico	21
2.2.2.1.1 <i>Tecnologias Fotovoltaicas.....</i>	22
2.2.2.2 Outros Equipamentos no Sistema.....	27
2.2.2.2.1 <i>Inversores</i>	28
2.2.2.2.2 <i>Unidades de monitoramento de dados</i>	28
2.3 DESEMPENHO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	29
2.3.1 Temperatura.....	30
2.3.2 Irradiância	31
2.3.2.1 Resposta Espectral.....	32
2.3.3 Sujidade.....	32
3 LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE DADOS.....	34
3.1 MÉTODO DE LIMPEZA.....	36
3.2 ANÁLISE DOS FATORES DE PERDAS INFLUENCIADOS PELA SUJIDADE.....	36
3.2.1 Irradiação.....	36
3.2.2 Fator de capacidade	37
3.2.3 TEMPERATURA.....	39
3.2.4 Valores das grandezas influenciados pelos fatores de perdas	44

3.3	EFICIÊNCIA DO SISTEMA	45
3.4	FIGURA DE MÉRITO	46
3.5	PRODUTIVIDADE E TAXA DE DESEMPENHO	48
3.5.1	Produtividade CdTe.....	48
3.5.2	Produtividade Mono/c-Si.....	54
3.5.3	Produtividade a-Si.....	57
3.5.4	Produtividade Multi/c-Si	61
3.5.5	Produtividade de CIGS.....	64
3.5.6	Produtividade de a-Si/ μ c-Si.....	68
4	DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE LIMPEZA IDEAL.....	72
4.1	DETERMINAÇÃO DO TEMPO IDEAL PARA A TECNOLOGIA DE CDTE	72
4.2	DETERMINAÇÃO DO TEMPO IDEAL PARA A TECNOLOGIA DE MONO/C-SI. 72	
4.3	DETERMINAÇÃO DO TEMPO IDEAL PARA A TECNOLOGIA DE A-SI.....	73
4.4	DETERMINAÇÃO DO TEMPO IDEAL PARA A TECNOLOGIA DE MULTI/C-SI 73	
4.5	DETERMINAÇÃO DO TEMPO IDEAL PARA A TECNOLOGIA DE CIGS	74
4.6	DETERMINAÇÃO DO TEMPO IDEAL PARA A TECNOLOGIA DE A-SI/ μ C-SI... 75	
5	CONCLUSÃO.....	76
	REFERÊNCIAS	78
	ANEXOS	81
	ANEXO A – DATASHEET MÓDULO CDTE MODELO FS-4110-2.....	82
	ANEXO B – DATASHEET MÓDULO MONO/C-SI MODELO YL260C-30B	83
	ANEXO C – DATASHEET MÓDULO A-SI MODELO DA100-A5	84
	ANEXO D – DATASHEET MÓDULO MULTI/C-SI MODELO SF220-30-1P235L	85
	ANEXO E – DATASHEET MÓDULO CIGS MODELO POWERMAX STRONG 12086	
	ANEXO F – DATASHEET MÓDULO A-SI/ μ C-SI MODELO DA142-C1	87

1 INTRODUÇÃO

Parte relevante da economia mundial atualmente está diretamente ligada ao consumo de energia elétrica, sendo assim é possível ligar a disponibilidade do recurso diretamente ao desenvolvimento tecnológico de um país. A presença da energia tem forte ligação com a qualidade de vida de uma população, já que grande parte dos recursos residenciais ou industriais são dependentes da mesma. Para que esse recurso possa ser disponibilizado é necessário que essa energia elétrica seja gerada, ou seja, outro tipo de energia deve ser transformado através de usinas em energia elétrica. Durante muito tempo os principais recursos utilizados para essa transformação eram de origem fósseis ou nucleares, ambos com uma expressiva eficiência, porém com um nível relevante de impacto ambiental decorrente da geração.

A partir do desenvolvimento das indústrias modernas, os combustíveis fósseis passaram a ser utilizados como principais fontes energéticas. No século XX, crises econômicas relacionadas à utilização desses tipos de combustíveis estimularam o desenvolvimento de pesquisas que envolviam a exploração de fontes renováveis de energia (GUERRA, 2011, p. 7).

Na atualidade existem diversas fontes de energias renováveis, sendo as principais disponíveis no planeta a energia solar, eólica e hídrica. Na Tabela 1 é possível observar que a matriz energética brasileira é composta, na sua maior parte, de geração hidrelétrica (66,6%), sendo notável que a eólica e solar passam por uma enorme expansão a nível nacional e mundial.

Tabela 1 Oferta Interna de Energia no Brasil e Mundo (% e TWh)

Fonte	Brasil		OCDE		Outros		Mundo	
	1973	2018	1973	2018	1973	2018	1973	2018
Petróleo e Derivados	7,2	1,5	25,4	1,9	23,1	4,7	24,6	3,4
Gás Natural	0,5	8,6	11,6	27,1	14,2	20,6	12,2	23,1
Carvão Mineral	1,7	2,2	37,9	26,8	40,9	46,4	38,3	37,1
Urânio	0	2,5	4,2	17,0	0,9	5,0	3,3	10,0
Hidro	89,4	66,6	20,5	12,5	19,3	16,7	21,0	16,1
Outras não renováveis	0	1,9	0	0,3	0	0,1	0,1	0,2
Outras renováveis	1,2	16,7	0,3	14,3	1,6	6,6	0,6	10,1
Bioenergia Sólida	1,2	8,5	0,2	3,1	1,6	1,1	0,5	2,1
Eólica	0	7,6	0	7,8	0	3,9	0	5,6
Solar	0	0,54	0	3,0	0	1,3	0	2,0
Geotérmica	0	0	0,1	0,4	0	0,3	0,1	0,3
Total (%)	100	100	100	100	100	100	100	100
dos quais renováveis	90,6	83,3	20,8	26,8	20,9	23,3	21,5	26,2
Total (TWh)	65	636	4.472	11.255	1.579	14.801	6.115	26.669
% do mundo	1,1	2,4	73,1	42,1	25,8	55,5		

Notas: a) para 2018, a exceção do Brasil, estimativas do DIE/SPE com base em indicadores da IEA; b) biomassa sólida inclui biogás, lenha, lixo, bagaço de cana, resíduos de madeira, casca de arroz.

Fonte: MME - Resenha Energética Brasileira (2019, p. 22).

É nesse contexto que se insere a energia solar fotovoltaica, uma energia que não apresenta emissão de ruídos ou resíduos durante sua geração e tem mostrado sua viabilidade econômica. Este tipo de geração se dá através de células fotovoltaicas (FVs), que convertem energia luminosa em eletricidade na forma de corrente contínua e em baixa densidade energética.

No Brasil essa expansão se iniciou com a aprovação da resolução normativa n° 482 da ANEEL, de 17 de Abril de 2012, onde foram estabelecidas as condições de acesso de usinas de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica de fontes renováveis, isso causou o aumento de empreendimentos na área fotovoltaica, tanto residencial quando de usinas ao redor do país.

Na possibilidade de promover parcerias público-privadas a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) lançou chamadas públicas, uma dessas visava incentivar a geração de energia fotovoltaica na matriz nacional, em resultado a uma dessas chamadas foi construída a usina fotovoltaica do Parque Ambiental Encantos do Sul (UF-PAES), sendo um empreendimento resultado de uma parceria entre a ANEEL, a Engie Brasil e a Universidade Federal de Santa Catarina. A usina conta com módulos fotovoltaicos de tecnologias diferentes, o projeto buscou analisar o comportamento dessas diferentes tecnologias na região.

1.1 JUSTIFICATIVA

Com o passar do tempo os módulos FVs acumulam detritos, seja poeira ou dejetos de aves e insetos, a chuva apesar de importante para a limpeza pode não ser suficiente para manter os módulos FVs limpos, de modo que uma limpeza mais específica deve ser realizada regularmente. Segundo Balfour (2018, p. 60) o fator anual de perda de eficiência relacionado a sujeira é de 93% e pode se melhorar o desempenho do sistema FV em 5% ou mais apenas limpando o equipamento, bem como a manutenção da limpeza reduz o acúmulo de calor nos componentes, calor esse ainda que encurta a sua vida útil.

A eficiência dos módulos FVs é um fator que deve ser considerado na geração, deste modo, esse trabalho tem como foco a pesquisa entre a relação da limpeza e a eficiência de módulos FVs, com o intuito de buscar o tempo de limpeza ideal e um meio que facilite a limpeza dos painéis, assim possibilitando a maior eficiência do sistema.

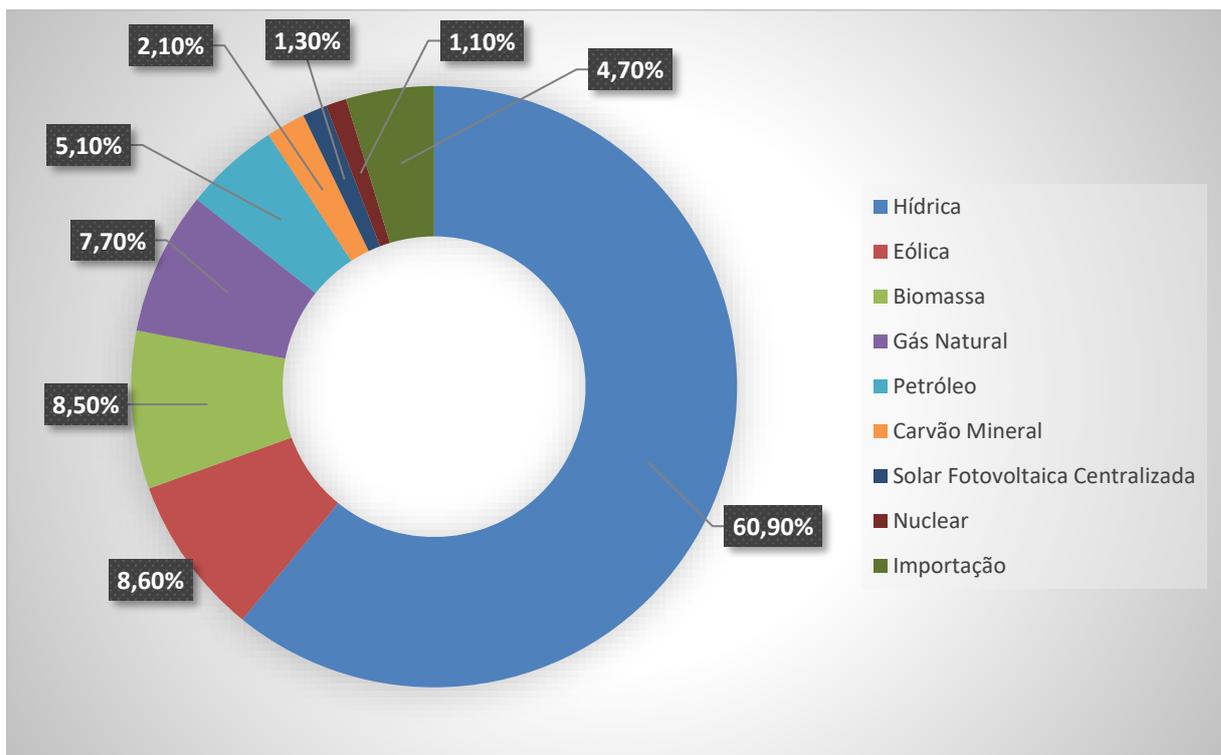
1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

A busca por energias renováveis tornou-se uma alternativa cada vez maior para os problemas atuais de geração de energia, em destaque a energia solar fotovoltaica que vem crescendo cada vez mais no Brasil, principalmente pela queda de investimento necessário para a implementação de um projeto gerador.

Considerando a tendência de evolução desta fonte (fotovoltaica), espera-se que durante o horizonte decenal seus custos de investimento comprovem a tendência de baixa. Vale mencionar que esta redução pode vir tanto pela redução direta de custos de produção quanto pelo aumento da eficiência dos equipamentos (MME, 2019, p. 88).

Quando comparada a outras fontes geradoras, a potência instalada de energia fotovoltaica ainda é baixa no país, contudo vale observar que no ano de 2019 a capacidade instalada era aproximadamente de 3,481 GWp (potência operacional total).

Gráfico 1 Matriz elétrica Brasileira.



Fonte: Absolar – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (2019, online)

Como é possível observar no Gráfico 1, existe um constante crescimento desse tipo de geração, e com isso torna-se importante estudos nas áreas de manutenção e de utilização dos equipamentos do sistema. Um dos pontos mais importantes nos sistemas fotovoltaicos é a eficiência, de modo que essa eficiência está diretamente relacionada ao estado de sujidade encontrado nos módulos fotovoltaicos, assim limpezas regulares podem melhorar a

produtividade do sistema. A problemática da pesquisa nesse contexto é, entender a perda da eficiência, analisar o desempenho individual de *strings* com diferentes rotinas de limpeza, e buscar adequar um tempo de limpeza ideal para cada tipo de tecnologia encontrado na usina.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Analisar a variação de eficiência na geração de energia elétrica de módulos solares de diferentes tecnologias após a limpeza em diferentes intervalos programados.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a melhor periodicidade para a limpeza das placas solares;
- Identificar como realizar a limpeza de modo a minimizar a degradação dos painéis;
- Elaborar um supervisor para a coleta de dados;
- Verificar e avaliar os dados coletados gerados a partir de características impostas pela sujeira depositada sobre os módulos FVs;
- Verificar e avaliar dos dados coletados após as limpezas em diferentes *strings* e períodos.

1.4 DELIMITAÇÕES

O tema a ser desenvolvido nessa pesquisa abordará a relação entre limpeza versus eficiência de módulos fotovoltaicos de diferentes tecnologias, buscando determinar um ótimo tempo e um modo ideal de se efetuar a limpeza, o estudo visa maximizar a eficiência dos módulos da usina geradora, utilizando como estudo de caso os Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFVCR) instalados no Parque Ambiental Encantos do Sul (PAES), no município do Capivari de Baixo, Santa Catarina.

1.5 METODOLOGIA

O presente estudo será uma pesquisa explicativa experimental, que será realizada no PAES, administrado pela Associação Jorge Lacerda. O parque está localizado no município

de Capivari de Baixo – Santa Catarina e a usina visa gerar energia de modo que o parque seja autossuficiente energeticamente.

A microusina fotovoltaica do PAES possui potência instalada de 75 kWp e é considerada um sistema *on-grid* por ser interligada à rede de distribuição de energia elétrica da empresa Celesc Distribuição. A usina possui atualmente 574 módulos FVs de diferentes tecnologias, sendo essas: Silício Microcristalino/Silício Amorfo, Silício Monocristalino, Silício Policristalino, CIGS (Cobre-Índio-Gálio-Selênio), Silício Amorfo e CdTe (Telureto de cádmio). Esses módulos são agrupados em conjuntos de *strings* onde o número de módulos nesses conjuntos variam de acordo com o inversor que elas estão acopladas.

O empreendimento não possuía um supervisor para monitorar e armazenar o desempenho individual de cada *string*. A metodologia empregada no estudo visa desenvolver um supervisor que possibilite analisar a diferença de desempenho de módulos com detritos e módulos limpos, buscando estabelecer uma relação entre sujeira versus eficiência dos módulos, além da forma em que as diferentes tecnologias se comportam diante desses detritos sobre suas superfícies.

As atividades necessárias para a execução da pesquisa são as seguintes:

- Levantamento de monografias, artigos, teses e livros acadêmicos relevantes na área da energia solar, especificação de componentes usados no sistema fotovoltaico, tipos de módulos fotovoltaicos, perda de eficiência em sistemas fotovoltaicos referentes a sujeidade;
- Analisar individualmente as *strings* da usina fotovoltaica do PAES, principalmente no que diz respeito aos índices de mérito;
- Coletar no supervisor os dados de *strings* limpas e com sujeidade, determinando os fatores de perdas que afetam de modo direto ou indireto a eficiência do sistema fotovoltaico, de modo a verificar a influência da sujeidade na eficiência dos módulos;
- Apresentar os dados coletados sobre os sistemas estudados, de forma que seja mais simples observar as variações de potência e que indicar como a limpeza dos módulos podem alterar o desempenho do sistema fotovoltaico.
- Comparar dos dados individuais de cada *string* analisada de modo a ser obtida uma análise conjunta dos principais fatores influentes na perda de eficiência observada, além disso se desenvolver uma metodologia que vise

determinar o tempo ideal para a limpeza, visando à melhoria da eficiência das placas solares da usina fotovoltaica do PAES.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está dividido em cinco capítulos. No primeiro capítulo, introdução, é apresentado o projeto de pesquisa, expondo uma breve contextualização e apresentando a problemática vislumbrada, assim como os objetivos gerais e específicos, delimitações e a metodologia a ser utilizada na pesquisa.

No segundo capítulo, Revisão Bibliográfica, é realizada uma revisão sobre como funciona a geração fotovoltaica promovendo um maior detalhamento nos estudos de desempenho dos sistemas fotovoltaicos.

No terceiro capítulo, Levantamento e Análise de Dados, é apresentado a análise dos dados obtidos antes e depois das limpezas programadas. Tais dados foram coletados através de um supervisor conectado as *strings* da UF-PAES, onde foram comparados seus níveis de eficiência comparando a diferença da eficiência de módulos com sujidade e módulos limpos.

O quarto capítulo, Determinação do tempo de limpeza ideal, busca expor a metodologia para determinar um tempo ideal para a limpeza dos módulos fotovoltaicos e a comparação das diferentes tecnologias de módulos, para verificar qual apresenta maior perda de desempenho em determinado período de tempo, procurando assim, diferentes padrões para cada tipo de tecnologia diferente tecnologia.

O quinto e último capítulo, conclusão, contemplará a conclusão final da pesquisa, e propostas para desenvolvimento de trabalhos futuros sobre o tema.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 RECURSO SOLAR

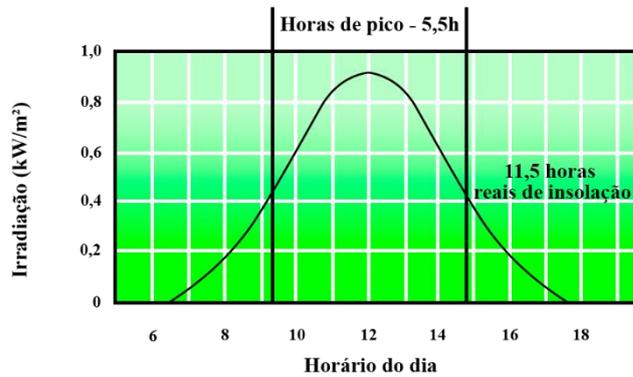
A energia solar é oriunda de uma fonte de energia limpa e praticamente inesgotável, apresenta diversas vantagens ecológicas devida à sua natureza renovável e a larga oferta e distribuição, segundo o (CRESESEB, 2008) o sol fornece fora da atmosfera anualmente cerca de $5,445 \times 10^{24}$ J de energia, tendo um potencial extremamente vasto para a exploração tanto de energia térmica quanto para elétrica. A geração de energia elétrica fotovoltaica apresenta características específicas, que serão abordadas nas seções seguintes.

2.1.1 Radiação Solar

Depois de liberada a partir de fusões nucleares que ocorrem no núcleo do Sol, a energia solar atinge a fotosfera, irradia-se no espaço em todas as direções e chega à Terra na forma de fótons. Os fótons por se deslocarem na velocidade da luz aproximadamente 3×10^8 km/s, acabam demorando cerca de 8 minutos para vencer a distância de aproximadamente 150×10^6 km, a radiação solar chega então ao topo da atmosfera terrestre, com um valor chamado de constante solar extraterrestre, aproximadamente 1377 W/m^2 , porém essa radiação não atinge totalmente o solo já que a radiação tem que passar pela atmosfera, e quanto mais espessa for a camada atmosférica a ser ultrapassada menor será a irradiância ao nível do solo (REBOLLAR, 2011; RODRIGUES, 2011). Em condições perfeitas, céu claro, livre de nuvens, observada próxima ao meio-dia em sua máxima iluminação e em um local situado ao nível do mar, a irradiância solar direta se aproxima de 1000 W/m^2 como pode ser observado na Figura 1.

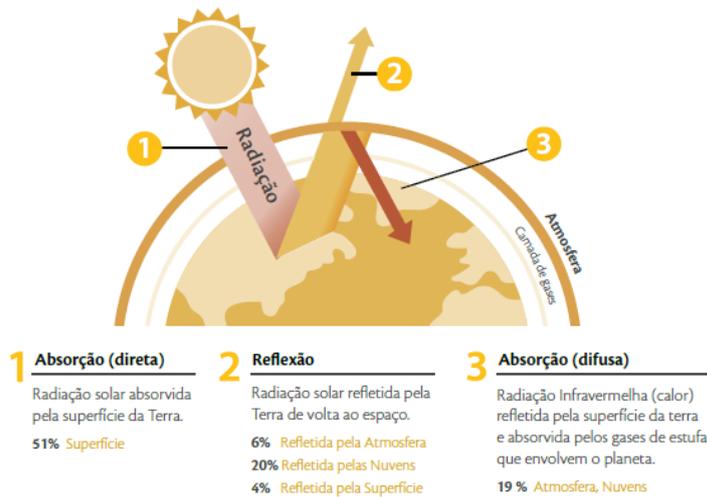
Com os aspectos encontrados na atmosfera, a radiação que chega a superfície terrestre pode ser categorizada em dois tipos: radiação solar direta, que é a luz solar recebida pela superfície da terra e a radiação solar difusa, que é a radiação que recai na superfície proveniente do processo de dispersão na atmosfera e radiação albedo que é a luz solar refletida do solo. A soma dessas três componentes da luz é denominada radiação global. A Figura 2 apresenta os diferentes componentes da radiação solar terrestre.

Figura 1 Horas de Sol de Pico



Fonte: Elaboração do autor.

Figura 2 Tipos de radiação solar terrestre



Fonte: Rebollar e Rodrigues (2011, p. 25).

A radiação solar que passa pela atmosfera da Terra pode ter suas moléculas absorvidas, dispersadas ou simplesmente passar sem afetar seu espectro ultravioleta, que é absorvido principalmente pela camada de ozônio da atmosfera. Enquanto as partículas de CO₂ e vapor de água influem nas ondas de luz visíveis, a luz infravermelha dos objetos no nível do solo também podem refletir ou absorver a luz solar.

A massa de ar (AM) é um fator crítico que afeta a quantidade de energia absorvida na superfície do solo. Como resultado do comprimento do caminho que a luz solar viaja através da atmosfera, o nível de irradiância AM 0 - logo acima da atmosfera - cai de 1377 a 1000 W/m² correspondente ao AM 1 - no nível do mar. O AM 1,5 é abordado como a condição de teste padrão (STC) no projeto de células solares (GUEYMARD; MYERS; EMERY, 2002).

2.2 CONVERSÃO DE ENERGIA SOLAR EM ENERGIA ELÉTRICA

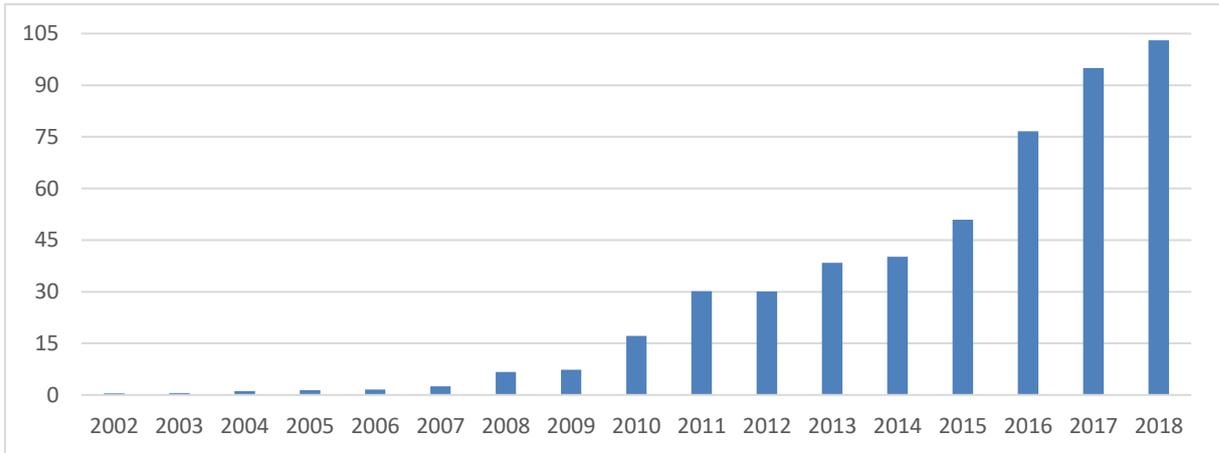
A conversão da energia solar em energia elétrica fotovoltaica acontece na célula solar localizada no módulo FV, também chamada célula fotovoltaica, que é feita de um material que pode produzir um diferencial de tensão quando exposta a radiação, na maioria dos casos a luz solar. Quando essa célula está conectada a um circuito, a corrente elétrica flui através dos cabos que após passar por outros equipamentos do sistema resulta um trabalho produzido.

Para Rüter (apud HICKEL, 2017, p. 34) Energia Solar Fotovoltaica é a energia resultante do processo de conversão da energia proveniente do sol em energia elétrica. Este tipo de geração de energia apresenta peculiaridades interessantes e desejadas, por ser obtida de forma silenciosa, não-poluente e por utilizar uma fonte de energia renovável e praticamente inesgotável. Além disso, apresenta uma característica modular, podendo ser dimensionada numa ampla faixa de potência instalada e por ser um sistema estático, possui uma baixa taxa de manutenção, juntamente com um alto grau de confiabilidade do sistema.

2.2.1 Contexto Histórico

O físico francês Alexandre Edmond Becquerel descobriu no ano de 1839 pela primeira vez que certos materiais produzem pequenas quantidades de corrente elétrica quando expostos à luz, mais tarde no ano de 1876 Adams e Day notaram o efeito fotovoltaico do selênio, em 1883 foi produzida a primeira célula solar de selênio, com uma eficiência baixa de aproximadamente 1%. Em 1954, Chapin, Fuller e Pearson aumentaram a eficiência das células solares em até 6%, adicionando impurezas de silício à célula. (VALLÊRA; BRITO, 2006). Posteriormente com os avanços nos programas espaciais e a crise energética dos anos 70 houve mais avanços nas tecnologias de células solares, isso fez com que de 2002 a 2018 a capacidade instalada global fosse de 454 MW a 103 GW (SolarPowerEurope, 2019).

Gráfico 2 Capacidade FV instalada anual global de 2002 até 2018, em GW



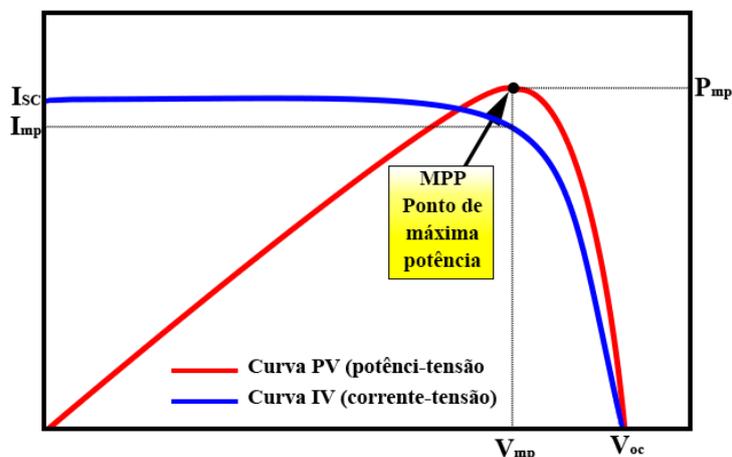
Fonte: Adaptado de SolarPowerEurope (2019, online).

2.2.2 Energia Solar Fotovoltaica

2.2.2.1 Módulo Fotovoltaico

Segundo (SEYEDMAHMOUDIAN *et al.*, 2016) os módulos FV são um dos componentes do sistema fotovoltaico e são representados como uma fonte de corrente contínua. O principal modo de avaliar o desempenho de um módulo FV é através da curva característica (IxV) do módulo, como pode ser observado na Figura 3. Os principais parâmetros de uma curva IxV são: I_{sc} - Corrente de curto-circuito (A), o valor máximo de corrente fornecido pelo módulo FV; V_{oc} - Tensão de circuito aberto (V); I_{mp} - Corrente na potência máxima (A); V_{mp} - Tensão na potência máxima (V); e (MPP) ponto de máxima potência (W).

Figura 3 Curva característica IxV de um módulo FV



Fonte: Adaptado de BÜHLER (2007, p. 23)

A curva IxV nos permite observar que a potência máxima nunca irá se ajustar conforme os valores máximos da curva (V_{oc} e I_{sc}), isto acontece pelas não idealidades do sistema. A relação entre a potência máxima possível e o valor prático é chamado de Fator de Forma (FF). Este mostra a qualidade da célula solar. Para maximizar a potência de saída e a eficiência das células solares é necessário aumentar o V_{oc} , I_{sc} e FF.

Quando a radiação solar aumenta, o V_{oc} aumenta logaritmicamente, e o I_{sc} aumenta linearmente. Conforme a temperatura da célula no módulo aumenta, ocorre uma diminuição da eficiência do V_{oc} e uma pequena diminuição de I_{sc} . Para aumentar a eficiência dos módulos, a superfície do módulo deve ser mantida em temperaturas mais baixas e a sujeira e poeira devem ser removidas periodicamente de sua superfície. O efeito de algumas influências no funcionamento dos módulos está resumido na Tabela 2.

Tabela 2 Fatores influentes em parâmetros do módulo FV

Parâmetro	Dependência	Fator influente
Corrente celular	Dependente de	Irradiância e comprimento de onda
V_{oc}	Logaritmicamente dependente de	Iluminação
I_{sc}	Dependente de	Iluminação
V_{oc}	Diminui em	Aumento de temperatura
I_{sc}	Quase constante por	Aumento de temperatura
Fator de Forma	Diminui em	Aumento de temperatura

Fonte: Adaptado de Mekhilef, Saidur e Kamalisarvestani (2012, p. 3).

2.2.2.1.1 Tecnologias Fotovoltaicas

Como o propósito inicial da usina do PAES era uma pesquisa com a intenção de analisar o comportamento de diversas tecnologias no ambiente instalado (região sul do Brasil), a usina conta com os seguintes tipos de módulos FV:

- Telureto de Cádmo (CdTe)
- Silício Monocristalino (Mono/c-Si)
- Silício Amorfo (a-Si)
- Silício Policristalino (Multi/c-Si)
- Seleneto de Cobre, Índio e Gálio (CIGS)
- Silício Amorfo/Microcristalino (a-Si/ μ c-Si)

2.2.2.1.1.1 Telureto de Cádmio (CdTe)

Embora a produção em massa de módulos fotovoltaicos seja de sua maioria de tecnologias baseadas em Silício, a participação no mercado de filmes finos vem aumentando nos últimos anos. Segundo Sakib (2013, p. 2), “Entre várias células solares de filme fino, a célula solar de filme fino de Telureto de Cádmio (CdTe) é a tecnologia fotovoltaica de crescimento comercial mais rápido, que capturou cerca de 13% do mercado Global”.

Figura 4 Painéis de CdTe na Usina do PAES



Fonte: Elaboração do autor.

As principais dificuldades para a fabricação de módulos fotovoltaicos utilizando o CdTe, é que além de o cádmio e o telúrio serem elementos escassos, o Cádmio é altamente tóxico. O mercado de células solares CdTe é dominado pela *First Solar*. Conforme a Figura 4, na UF-PAES são utilizados dois modelos de placas dessa tecnologia, os modelos são FS-280 e FS-4110-3, com 80 W e 110 W de potência respectivamente.

2.2.2.1.1.2 Silício Monocristalino (Mono/c-Si)

Os módulos fotovoltaicos da tecnologia de silício monocristalino podem ser facilmente identificados, possuem uma cor uniforme que indica o grau de pureza do silício e seus cantos são arredondados. As células desses módulos são obtidas a partir de um único cristal de silício monocristalino ultrapuro, que é fatiado em forma de lâminas quadradas de silício individuais (0,4 – 0,5 mm de espessura).

Figura 5 Painéis de Mono/c-Si na Usina do PAES



Fonte: Elaboração do autor.

A eficiência na conversão de luz solar em eletricidade desse tipo de painel é superior a 12%. Devido à diferença do coeficiente de temperatura das células de silício monocristalino e policristalino, o sistema monocristalino tem um rendimento de potência de 5 a 7% maior que o sistema policristalino com o mesmo poder (ZHANG et al., 2015). Esse tipo de painel ainda ocupa menos espaço que painéis policristalinos, logo como sua eficiência é mais alta, é necessário menos espaço para gerar a mesma quantidade de energia elétrica.

No parque o modelo de módulos encontrados dessa tecnologia são os YL260C-30B da *Yingli Solar*, com uma potência de 260W, conforme a Figura 5.

2.2.2.1.1.3 Silício Amorfo (*a-Si*)

Células de silício amorfo são obtidas pelo empilhamento de várias camadas de silício muito finas sobre superfícies de vidro e/ou metal. Como a produção de energia elétrica é baixa em tecnologias de silício amorfo, essas células tradicionalmente eram utilizadas apenas em pequenas aplicações. Com a evolução da tecnologia e a organização do empilhamento de células de silício amorfo, houve um aumento de sua eficiência (cerca de 6 a 9%), a tecnologia passou a ser utilizada em larga escala. As células solares de silício amorfo são uma excelente candidata a uma futura tecnologia convencional de células solares em pastilhas finas (menos de 100 μm), graças ao seu potencial de eficiência muito alto e ao processamento econômico de baixa temperatura. (MUELLER et al., 2014).

No parque o modelo de módulo da tecnologia é o DA100-A5 da *Dupont Solar*, com uma potência de 100W, conforme a Figura 6.

Figura 6 Painéis de a-Si na Usina do PAES



Fonte: Elaboração do autor.

2.2.2.1.1.4 Silício Policristalino (*Multi/c-Si*)

As células dos módulos de silício policristalino apresentam menores custo de produção, já que diferente das estruturas de células monocristalinas, não são necessários cristais perfeitos. Essas células são produzidas a partir de blocos de silício obtidos por meio da fusão de uma grande quantidade de silício em moldes especiais, que após esfriar se solidificam. Nesse processo os átomos não se organizam em um único cristal, se formando então a estrutura policristalina, de forma que quando é cortado em lâminas é possível se observar esta formação múltipla de cristais. A eficiência na conversão de luz solar em energia elétrica é relativamente menor comparado as células monocristalinas, pois a existência de defeitos ao redor destes cristais reduz a eficiência do equipamento.

Figura 7 Painéis de Multi/c-Si na Usina do PAES



Fonte: Elaboração do autor.

No parque é a tecnologia mais utilizada, possuindo os seguintes modelos, SF220-30-1P235L da Hanwha, YL245P-29B da Yingli Solar e o TSM-330-PE14A da Trina Solar, com 235W, 245W e 330W de potência respectivamente, o modelo utilizado para pesquisa é o da fabricante Hanwha conforme a Figura 7.

2.2.2.1.1.5 Seleneto de Cobre, Índio e Gálio (CIGS)

As células de filme-fino estão em sua maioria em estado de pesquisa e desenvolvimento, dessas tecnologias o destaque vai principalmente para células solares CIGS (Cobre-Índio-Gálio-Selênio) que em comparação a outras tecnologias de filme-fino possuem um maior potencial em termos de eficiência, os índices de eficiência para painéis solares CIGS normalmente são na faixa de 10 - 12%. “Estes compostos apresentam bom apelo estético e também estão sendo utilizados em projeto arquitetônicos. Além disso, as tecnologias CIS e CIGS apresentam eficiência maior do que os equipamentos à base de a-Si ou CdTe.” (REBOLLAR, 2011).

No parque o modelo de módulo da tecnologia é o PowerMax STRONG 120 da Avancis Solar, visto na Figura 8, com uma potência de 120W.

Figura 8 Painéis de CIGS na Usina do PAES



Fonte: Elaboração do autor.

2.2.2.1.1.6 Silício Amorfo/Microcristalino (*a-Si/μc-Si*)

A fim de reduzir os custos e aumentar a eficiência dos módulos fotovoltaicos de silício, foi criado um conceito de fabricação no qual as células solares de silício amorfo são produzidas em rolos, sendo implementadas em um substrato temporário as tornando flexível e leves. Células solares de filme-fino tem como objetivo principal a minimização de custos e recursos gastos para a sua fabricação. De acordo com Klossek et al. (2013) no caso das células de Silício Amorfo/Microcristalino, o volume necessário para a fabricação é tipicamente 100 vezes menor que de células comuns de silício.

Figura 9 Painéis de *a-Si/μc-Si* na Usina do PAES



Fonte: Elaboração do autor.

A Figura 9 representa o módulo DA142-C1 da Dupont Solar na UF-PAES, que possui potência de 142W.

2.2.2.2 Outros Equipamentos no Sistema

A realização da pesquisa utiliza ainda outros equipamentos presentes na instalação da usina, sendo os seguintes equipamentos: os inversores fotovoltaicos e as unidades de monitoramento de dados (VMU-M e VMU-S).

2.2.2.2.1 Inversores

Os inversores utilizados são todos da fabricante ABB, modelos PVI-10.0-TL-OUTD-S, PVI-10.0-TL-OUTD-FS e PVI-10.0-I-OUTD-S-400 de 10kW, e PVI-12.5-TL-OUTD-S, de 12,5 kW, conforme a Figura 10, esses inversores possibilitam através de um *datalogger* (VSN700), visto na Figura 17, a obtenção de dados referentes a energia gerada por cada inversor.

Figura 10 Inversor modelo PVI-10.0-TL-OUTD-S no PAES



Fonte: Elaboração do autor.

2.2.2.2.2 Unidades de monitoramento de dados

Diferente dos inversores, com as unidades de monitoramento de dados é possível medir o nível de geração individual de cada arranjo, não se limitando ao máximo gerado por cada MPPT ou inversor, isso é possível pois essas unidades estão ligadas individualmente a cada *string* dentro da *stringbox*, conforme a Figura 11, no sistema através de dois equipamentos o VMU-S e o VMU-M.

Figura 11 *Stringbox* com VMU-M e VMU-S



Fonte: Elaboração do autor.

Figura 12 VMU-M a esquerda e a direita VMU-S da empresa Carlo Gavazzi.



Fonte: Elaboração do autor.

O VMU-S (*Visual Monitoring Unit – Slave*, ou unidade de memória visual - escravo) é fabricado pela Carlo Gavazzi e nada mais é que o fusível positivo das *Strings*. Cada conjunto de VMU-S é conectado a um único VMU-M (*Master* ou mestre) que faz a coleta de dados e envia para o supervisor, a Figura 12 mostra um exemplo de VMU-M e VMU-S.

2.3 DESEMPENHO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Os parâmetros mais utilizados para a avaliação do desempenho de sistemas FVs são a potência, a energia, a produtividade (*yield*) e a taxa de desempenho (*Performance Ratio – PR*). Esses parâmetros são influenciados diretamente pelas grandezas irradiância, AM e temperatura.

Todas essas grandezas variam ao longo do dia, tendo um comportamento diferente de acordo com a região de onde os módulos estão instalados, para facilitar os estudos e o

mercado da área FV, existe uma necessidade de padronização de valores, essa padronização é chamada de *Standard Test Conditions* (STC) em português condições padrão de referência para ensaio. Essa padronização é definida em normas pela *International Electrotechnical Commission* (IEC), através das normas IEC61853-1 de 2011 e IEC 60904-3 de 2008 os seguintes valores são adotados:

$$G = 1.000W/m^2 - \text{Irradiância}$$

$$AM = 1.5 - \text{Massa de Ar, valor adimensional}$$

$$T = 25^{\circ}C - \text{Temperatura}$$

O principal problema nessa padronização é que dificilmente essas condições ideais serão encontradas ao mesmo tempo na natureza.

Um módulo FV possui temperatura de operação de 25 °C somente no começo da manhã; uma irradiação de 1000 W/m² é medida, no plano do módulo FV, somente próximo ao meio dia solar; e massa de ar com valor de 1.5 dependerá da região geográfica onde se encontra o sistema FV, mas para regiões de latitude intermediária (onde estão presentes os grandes centros populacionais), estes valores ocorrem no meio do período da manhã e da tarde (HICKEL, 2017, p. 43).

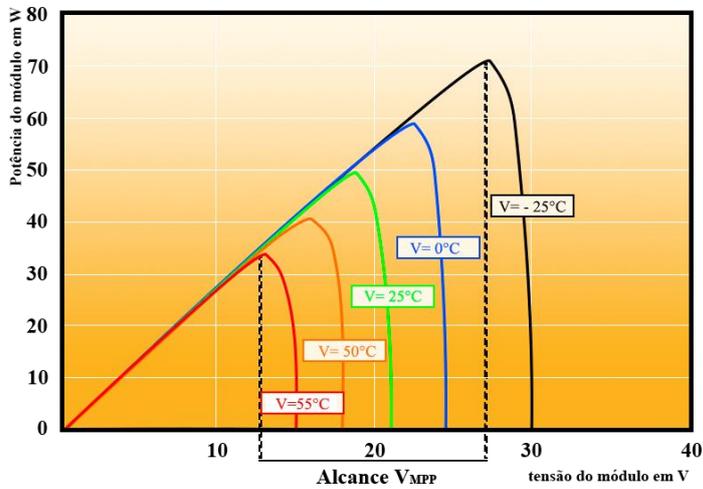
2.3.1 Temperatura

Como foi possível ver anteriormente, sistemas fotovoltaicos não operam em condições ideais, diversos fatores podem colaborar para o aquecimento do módulo FV, como por exemplo, a própria irradiação solar já que parte dela não é convertida em energia elétrica, e sim em energia térmica causando o aquecimento dos módulos. Como foi possível observar na Tabela 2, a temperatura influencia em parâmetros do módulo, de modo que apesar da corrente se manter praticamente constante a tensão tem uma queda relevante, e conseqüentemente, a potência gerada diminui de modo significativo.

Durante o verão, a potência de um módulo em altas temperaturas pode ser até 35% menor do que nas condições de teste padrão, conforme mostrado na Figura 13. Para minimizar essa perda de energia, os módulos fotovoltaicos devem poder dissipar o calor facilmente (ventilação suficiente) (DGS, 2008, p. 88).

Para se calcular as perdas decorrentes da temperatura deve-se observar as características do sistema e relacionar com a temperatura ambiente. No caso das tecnologias utilizadas na UF-PAES, tem-se as seguintes características térmicas informadas pelos fabricantes conforme a Tabela 3.

Figura 13 Potência do módulo em diferentes temperaturas do módulo e com irradiância constante.



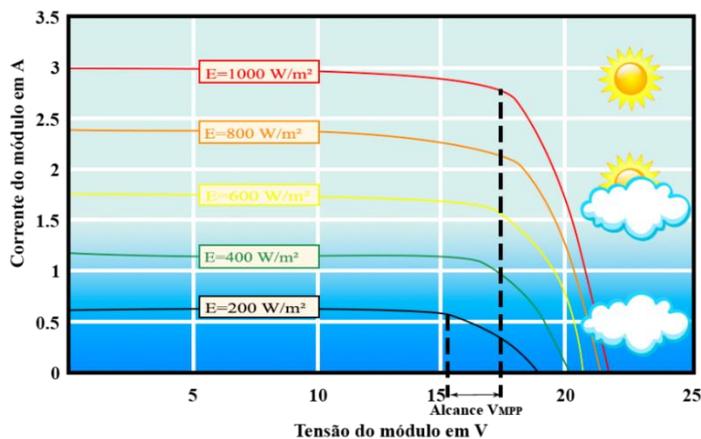
Fonte: Adaptado de (DGS, 2008)

Fonte: Elaboração do autor.

2.3.2 Irradiância

Durante o dia, a irradiância varia muito mais que a temperatura, onde a potência produzida pelos módulos FV é diretamente proporcional a essa mesma irradiância, uma vez que a corrente elétrica é dependente da quantidade de irradiância, como visto na Tabela 2, de modo que se, por exemplo, a irradiância cair pela metade, a eletricidade gerada também seria reduzida pela metade, este comportamento está descrito na Figura 14.

Figura 14 Curvas IxV para irradiância variável e temperatura constante.



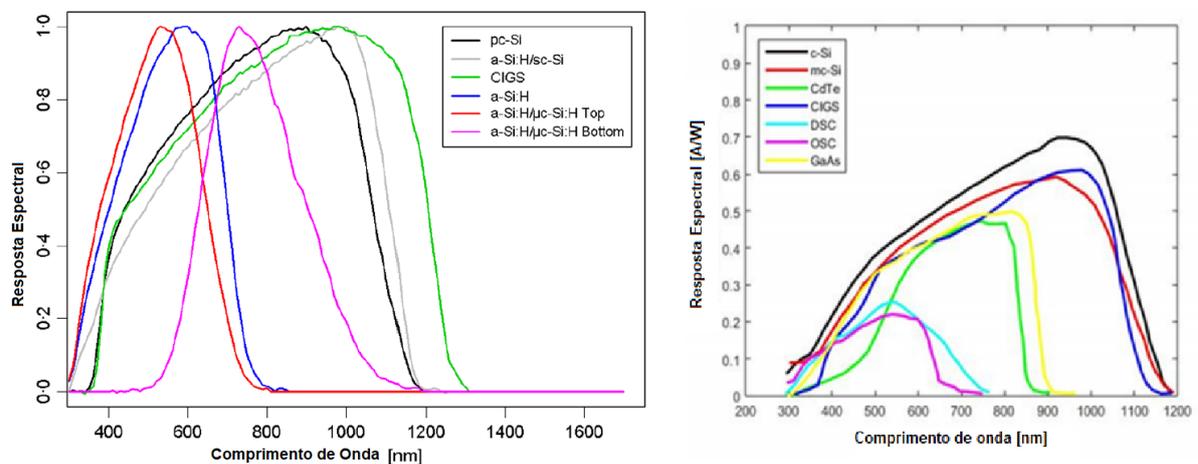
Fonte: Adaptado de (DGS, 2008)

2.3.2.1 Resposta Espectral

A resposta espectral de uma célula FV é definida pela capacidade que a célula tem em absorver fótons. A curva de resposta espectral relaciona a corrente elétrica gerada pela célula solar com o comprimento de onda irradiado sobre a mesma célula.

De acordo com as curvas da Figura 15, tecnologias como c-Si (Monocristalino e Policristalino) e CIGS, apresentam respostas espectrais mais amplas, portanto são menos sensíveis às variações do espectro solar, já as demais tecnologias do PAES mostram uma curva mais à esquerda apresentando melhor desempenho frente as demais em dias nublados.

Figura 15 Resposta espectral para diferentes tipos de células.



Fonte: Adaptado de (ISHII et al., 2011) e (SANDIA NATIONAL LABORATORIES, 2020)

2.3.3 Sujidade

A sujidade dos módulos pode ter várias origens, poluição na atmosfera, poeira, areia, materiais orgânicos e podem ter algumas propriedades (tamanho, peso, forma). Algumas condições podem influenciar na sujidade atual dos módulos, como o acabamento do módulo, o ângulo de inclinação dos painéis, a umidade relativa do ar e a velocidade do vento no ambiente. O depósito desses materiais sobreaquece os módulos, além de servirem como obstáculos (sombras) para a irradiação solar. Estudos comparativos apontam faixas de redução bem variantes dependendo a região onde a usina está instalada, incluindo redução média de 1% com pico de 4,7% em um período de dois meses nos Estados Unidos, degradação de 40% em um período de 6 meses na Arábia Saudita, redução de 32% em um período de 8 meses novamente

na Arábia Saudita, redução de 17% a 65%, dependendo do ângulo de inclinação em 38 dias no Kuwait (MEKHILEF, 2014, p. 514).

O ângulo de inclinação dos módulos FV tem influência direta no depósito de sujeira, de modo que o acúmulo de sujeira diminui quando os ângulos de inclinação aumentam da posição horizontal (0°) para a posição vertical (90°). Painéis fotovoltaicos fixos tem seus ângulos de inclinação sugerido entre um valor de 10° abaixo ou acima da latitude local, essa indicação está na Equação 1, onde L é a latitude do local onde a usina geradora está instalada (SAYYAH, 2014). Esse ângulo influi diretamente tanto na densidade de massa, quanto na distribuição e no tamanho das partículas depositadas sobre o módulo.

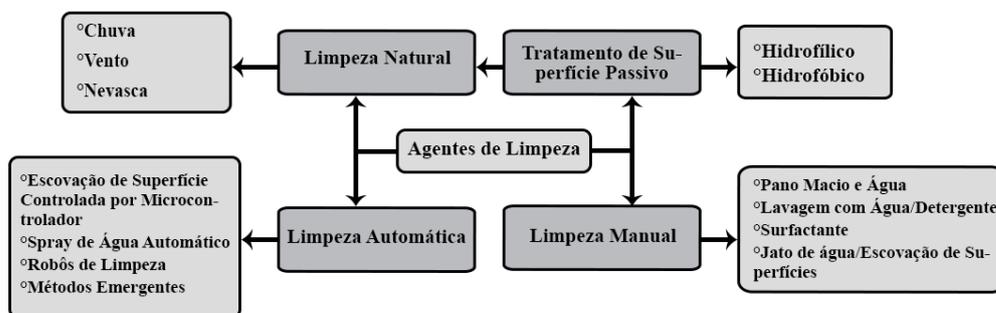
$$\beta \cong (L \pm 10^\circ) \quad (1)$$

O vento é um dos principais meios de transporte para partículas como poeira, porém, também é responsável pela remoção da poeira que já está depositada. A taxa de remoção será mais eficaz quando o módulo está em ângulos próximos de 90° de modo que a remoção da poeira também depende do diâmetro das partículas depositadas.

Por reação a gravidade e o ângulo dos módulos, algumas partículas maiores tendem a rolar para partes inferiores dos painéis à medida que o ângulo aumenta, isso influi completamente na eficiência da limpeza dos painéis pela chuva ou pelo vento.

Alguns métodos podem ser realizados com objetivo de manter o nível de limpeza adequado nos módulos, assim melhorando sua eficiência. A Figura 16 apresenta diferentes métodos de limpeza para remoção de sujeira em módulos solares.

Figura 16 Diferentes métodos de limpeza para remoção de sujeira em módulos FV.



Fonte: Adaptado de (SAYYAH, 2014)

3 LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE DADOS

Para o desenvolvimento desta pesquisa, foram utilizadas duas fontes diferentes de dados, a primeira foi obtida através dos inversores e do *datalogger* VSN700, conforme a Figura 17, já a segunda utiliza das unidades de monitoramento VMU-S e VMU-M. Para que a segunda fosse possível, foi realizado a confecção de um sistema supervisorio tipo SCADA baseado no *software* livre, LAquis, a Figura 18 mostra um exemplo da tela do supervisorio. A obtenção de duas fontes de dados se torna interessante pois possibilita uma comparação que deixa os dados obtidos mais próximos possíveis de valores reais da geração. A análise dos dados foi realizada através do *software* EXCEL, facilitando a exploração e a interpretação dos dados através de gráficos.

Figura 17 Datalogger VSN700



Fonte: Site da fabricante abb.com

Figura 18 Supervisorio LAquis exibindo as grandezas da tecnologia a-Si/μc-Si.



Fonte: Elaboração do autor.

A UF-PAES está localizada próxima a uma estrada de areia, que com a circulação de automóveis, ocorre a suspensão de partículas de poeira no ar, onde são movimentadas em meio ao tráfego e acabam sendo depositadas nos módulos. Além disso o parque conta com uma circulação significativa de aves em seu espaço aéreo, de maneira que os dejetos dos animais são encontrados diversas vezes nos equipamentos da usina.

Figura 19 Vista aérea da usina do PAES



Fonte: Adaptado Google Maps (2020, online).

Os painéis utilizados na pesquisa apresentam uma inclinação que pode variar em cada uma das tecnologias, sendo as seguintes configurações: placas de CdTe 28°, de Mono/c-Si 28°, de a-Si 27°, de Multi/c-Si 27°, de CIGS 28°, de a-Si/ μ c-Si 28°, sendo assim a inclinação está dentro do intervalo recomendado para essa localidade com um valor de $\beta \cong (28^\circ \pm 10^\circ)$ onde 28° é inclinação relativa à latitude do local, os painéis se encontram voltados ao norte e foram posicionados de modo a não terem sombras de objetos próximos, inclusive respeitando uma distância mínima, que impossibilita o sombreamento entre colunas diferentes.

As potências de cada conjunto assim como o número de *string* e módulos utilizados nas análises podem ser conferidos nas Tabela 3 e Tabela 4.

Tabela 3 Número de Módulos, *Strings* e Potência

Tecnologia	Número de <i>Strings</i>	Número de módulos por <i>String</i>	Potência Pico
CdTe	10	8	8,8 kWp
Mono/c-Si	2	17	8,84 kWp
a-Si	18	5	9 kWp
Multi/c-Si	2	19	8,93 kWp
CIGS	9	9 em 6 e 7 em 3	9 kWp
a-Si/ μ c-Si	21	3	8,946 kWp

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 4 Potência por *String*

Tecnologia	Potência por placa	Número de módulos por <i>String</i>	Potência Pico por <i>String</i>
CdTe	110 W	8	880 Wp
Mono/c-Si	260 W	17	4,42 kWp
a-Si	100 W	5	500 Wp
Multi/c-Si	235 W	19	4,465 kWp
CIGS	120 W	9	1,08 kWp
CIGS	120 W	7	840 Wp
a-Si/ μ c-Si	142 W	3	426 Wp

Fonte: Elaboração do autor.

3.1 MÉTODO DE LIMPEZA

O método de limpeza utilizado na pesquisa foi uma limpeza manual com água e detergente neutro. Para a realização da limpeza foram utilizados panos macios e cabos extensores que possibilitem o alcance dos módulos mais altos. A rotina seguida nas limpezas foi a seguinte:

- Para minimizar riscos decorrente de choques elétricos, o equipamento é desconectado da rede;
- O inversor do equipamento a ser limpo é desligado;
- Aplicação de água no módulo FV;
- Limpeza com detergente através de panos de algodão macio;
- Aplicação de água no módulo FV novamente.

3.2 ANÁLISE DOS FATORES DE PERDAS INFLUENCIADOS PELA SUJIDADE

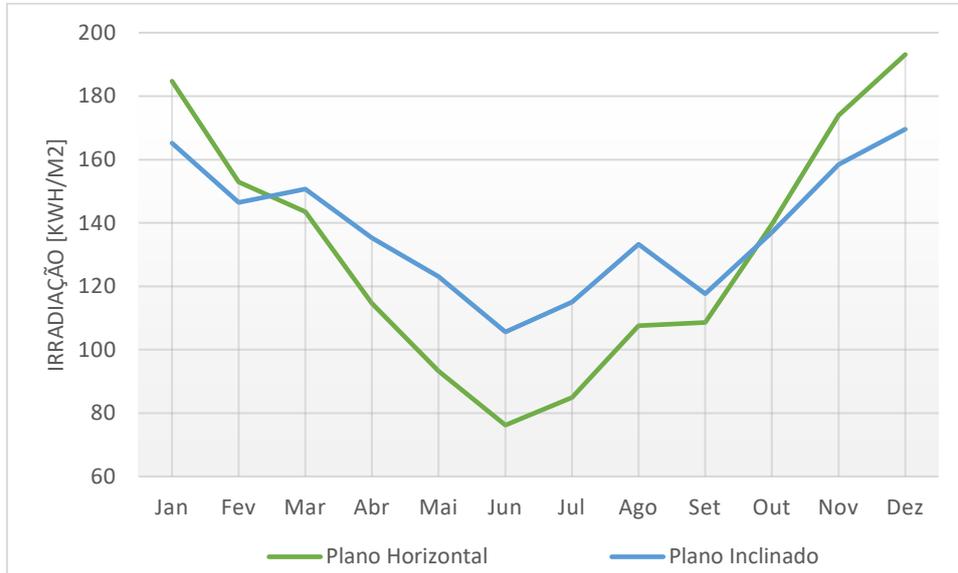
A partir do estudo sobre a eficiência dos sistemas fotovoltaicos das seis diferentes tecnologias utilizadas na UF-PAES, embasados pela análise dos respectivos gráficos de irradiação, a geração de energia elétrica observada pelo supervisor e índices de mérito calculados, foi feita uma análise para encontrar as maiores causas das perdas nesses sistemas. A pesquisa conta com uma análise dos sistemas, comparando a eficiência de módulos limpos e módulos com sujidade, e ainda o impacto causado no sistema.

3.2.1 Irradiação

O *software* Potencial Solar - SunData v 3.0 é fornecido pela CRESESB (Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito), inserindo as coordenadas da usina é possível obter um relatório da irradiação mensal total em plano horizontal e inclinado

de locais próximos, o Gráfico 3 e a Tabela 5 exibem a irradiação para uma localidade próxima a UF-PAES.

Gráfico 3 Irradiação no Plano Horizontal e inclinado para localidade próxima à da Usina.



Fonte: Adaptado de (CRESESB, 2018).

Tabela 5 Irradiação mensal da localidade.

Irradiação solar média mensal [kWh/m²] mês						
Inclinação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
0° N	184,76	152,88	143,53	114,6	93,31	76,2
28° N	165,23	146,44	150,66	135,3	123,07	105,6
Inclinação	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
0° N	84,94	107,57	108,6	139,5	174	193,13
28° N	115,01	133,3	117,6	137,02	158,4	169,57

Fonte: Adaptado de (CRESESB, 2018).

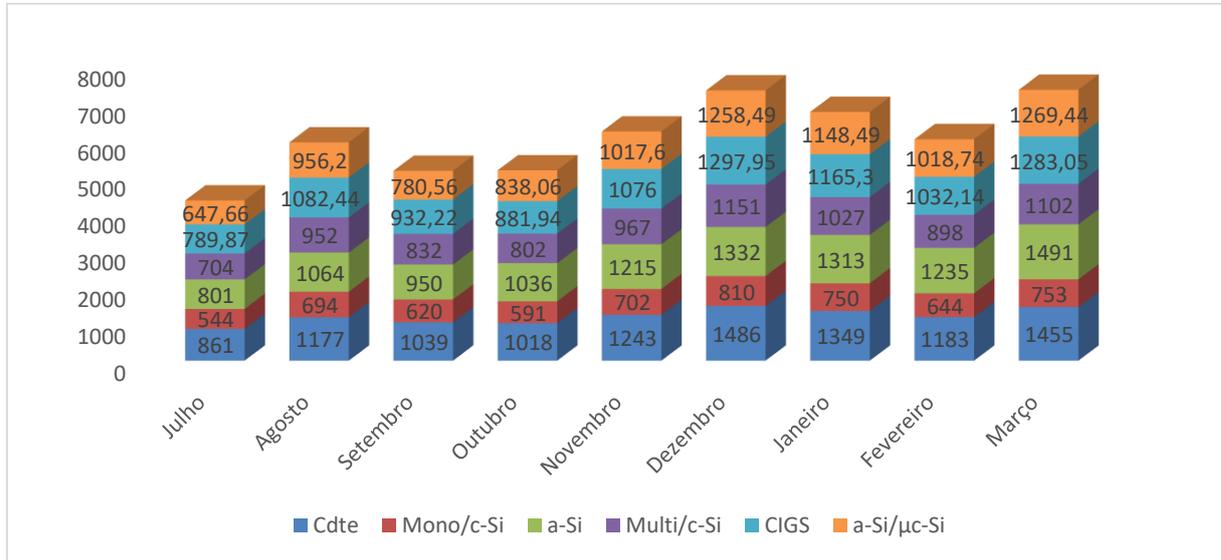
3.2.2 Fator de capacidade

O fator de capacidade $F_c(\%)$, na Equação 2, pode ser descrito como o valor da capacidade real que o sistema tem em produzir energia elétrica em comparação à energia elétrica que ele geraria caso operasse em potência nominal durante o tempo analisado, ou seja, a capacidade real de geração de energia elétrica do sistema, ele é descrito em porcentagem.

$$F_c(\%) = \frac{\text{Energia gerada}}{\text{Potência FV} \cdot 24(h) \cdot n(\text{dias do mês})} \quad (2)$$

Na equação do FC é utilizado a energia gerada no sistema, como visto no Gráfico 4 logo a baixo, além das potências pico de cada sistema vistos na Tabela 3.

Gráfico 4 Energia gerada por tecnologia no período de junho de 2019 a março de 2020.



Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 6 Fator de Capacidade do Sistema

Mês	Fator de capacidade					
	Cdte	Mono/c-Si	a-Si	Multi/c-Si	CIGS	a-Si/μc-Si
Julho	13,59%	8,55%	12,36%	10,95%	12,19%	10,06%
Agosto	18,58%	10,90%	16,42%	14,81%	16,70%	14,85%
Setembro	16,40%	9,74%	14,66%	12,94%	14,39%	12,12%
Outubro	16,07%	9,29%	15,99%	12,47%	13,61%	13,01%
Novembro	19,62%	11,03%	18,75%	15,04%	16,60%	15,80%
Dezembro	23,45%	12,73%	20,56%	17,90%	20,03%	19,54%
Janeiro	21,29%	11,78%	20,26%	15,97%	17,98%	17,83%
Fevereiro	18,67%	10,12%	19,06%	13,97%	15,93%	15,82%
Março	22,96%	11,83%	23,01%	17,14%	19,80%	19,71%

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 7 Cronograma de limpeza

Data de limpeza	Total	1ª Limpeza	2ª Limpeza	3ª Limpeza	4ª Limpeza
CdTe	12/11/2019	12/12/2019	15/01/2020	17/02/2020	17/03/2020
Mono/c-Si	12/11/2019	12/12/2019	12/02/2020	*	*
a-Si	19/11/2019	19/12/2019	21/01/2020	21/02/2020	*
Multi/c-Si	19/11/2019	19/12/2019	19/02/2020	*	*
CIGS	06/12/2019	06/01/2020	06/02/2020	06/03/2020	*
a-Si/μc-Si	06/12/2019	06/01/2020	06/02/2020	06/03/2020	*

*O cronograma previa a uma comparação de 6 (seis) meses diferentes, porém por recomendação do decreto 515, de 17 de março de 2020, do estado de Santa Catarina, as limpezas foram interrompidas não possibilitando a continuidade da pesquisa em campo.

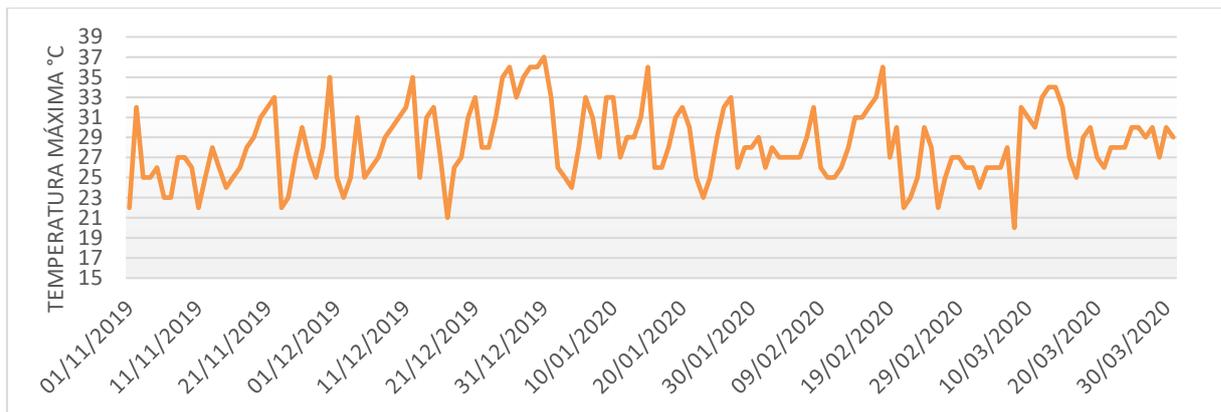
Fonte: Elaboração do autor.

As limpezas do sistema se iniciaram no mês de novembro se repetindo mensalmente em diferentes *strings* de cada sistema, na Tabela 6 é possível notar que após as limpezas o FC dos sistemas aumentaram.

3.2.3 TEMPERATURA

Para a obtenção dos dados de temperatura foi utilizado o site *The Weather Channel*, verificando a temperatura máxima diária no município de Capivari de Baixo durante o período da pesquisa. Assim para prosseguir com o cálculo de perda por temperatura é considerado o pior caso de 37 °C do dia 31 de dezembro de 2019 conforme o **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

Gráfico 5 Temperatura Ambiente no Período de novembro de 2019 a março de 2020



Fonte: Adaptado de *The Weather Channel*.

Tabela 8 Características Térmicas dos módulos da UF- PAES

Características térmicas módulo CdTe			
Temperatura nominal da célula	NOCT	°C	45,00
Coefficiente de temperatura de Pmax	γ	%/°C	-0,28
Coefficiente de temperatura de Voc	β_{Voc}	%/°C	-0,38
Coefficiente de temperatura de Isc	α_{Isc}	%/°C	0,04
Características térmicas módulo Mono c-Si			
Temperatura nominal da célula	NOCT	°C	46,00
Coefficiente de temperatura de Pmax	γ	%/°C	-0,42
Coefficiente de temperatura de Voc	β_{Voc}	%/°C	-0,31
Coefficiente de temperatura de Isc	α_{Isc}	%/°C	0,04
Características térmicas módulo a-Si			
Temperatura nominal da célula	NOCT	°C	45,00
Coefficiente de temperatura de Pmax	γ	%/°C	-0,25
Coefficiente de temperatura de Voc	β_{Voc}	%/°C	-0,30
Coefficiente de temperatura de Isc	α_{Isc}	%/°C	0,09
Características térmicas módulo Multi c-Si			
Temperatura nominal da célula	NOCT	°C	45,00
Coefficiente de temperatura de Pmax	γ	%/°C	-0,45
Coefficiente de temperatura de Voc	β_{Voc}	%/°C	-0,32
Coefficiente de temperatura de Isc	α_{Isc}	%/°C	0,04
Características térmicas módulo CIGS			
Temperatura nominal da célula	NOCT	°C	40,00
Coefficiente de temperatura de Pmax	γ	%/°C	-0,39
Coefficiente de temperatura de Voc	β_{Voc}	%/°C	-0,17
Coefficiente de temperatura de Isc	α_{Isc}	%/°C	0,01
Características térmicas módulo a-Si/μc-Si			
Temperatura nominal da célula	NOCT	°C	45,00
Coefficiente de temperatura de Pmax	γ	%/°C	-0,32
Coefficiente de temperatura de Voc	β_{Voc}	%/°C	-0,31
Coefficiente de temperatura de Isc	α_{Isc}	%/°C	0,06

Fonte: Elaboração do autor.

A perda de potência de uma célula FV em função da temperatura de sua superfície, é obtida pela Equação 3 e os resultados podem ser observados na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e no Gráfico 4.

$$P_C = P_n + \left(\frac{\gamma}{100} * \Delta T * P_n \right) \quad (3)$$

onde: $\Delta T = T_H - NOCT$

P_C = Potência em W corrigida em função da temperatura;

P_n = Potência nominal em W especificada pelo fabricante;

T_H = Temperatura ambiente em °C + 30 °C;

NOCT = Temperatura nominal da célula em operação;

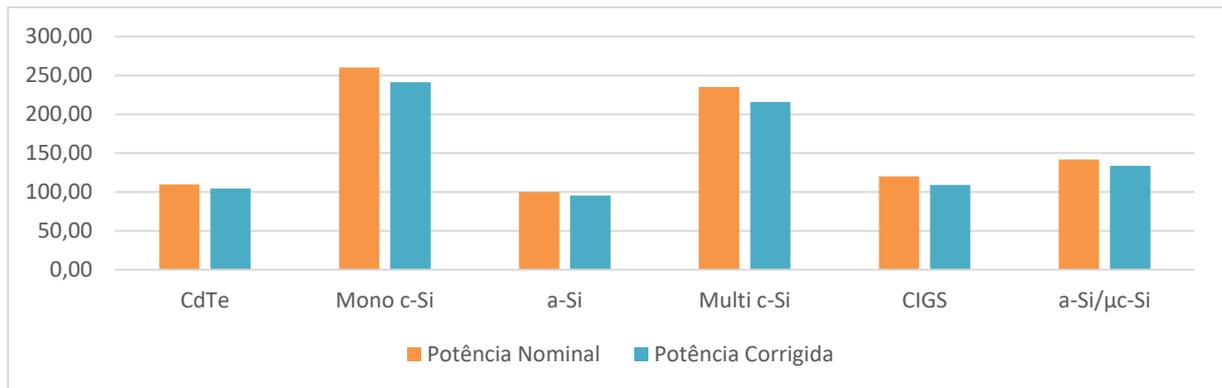
γ = Coeficiente de temperatura de P_{max} .

Tabela 9 Perdas por temperatura de 37 °C na usina do PAES.

	CdTe	Mono c-Si	a-Si	Multi c-Si	CIGS	a-Si/ μ c-Si
Potência Nominal (W)	110	260	100	235	120	142
Potência Corrigida (W)	103	237,07	94,50	211,74	107,36	132,00
Perda (%)	6,16%	8,82%	5,50%	9,90%	10,53%	7,04%

Fonte: Elaboração do autor.

Gráfico 6 Potência Nominal e Potência Corrigida em cada módulo em função da temperatura de ambiente de 37 °C.

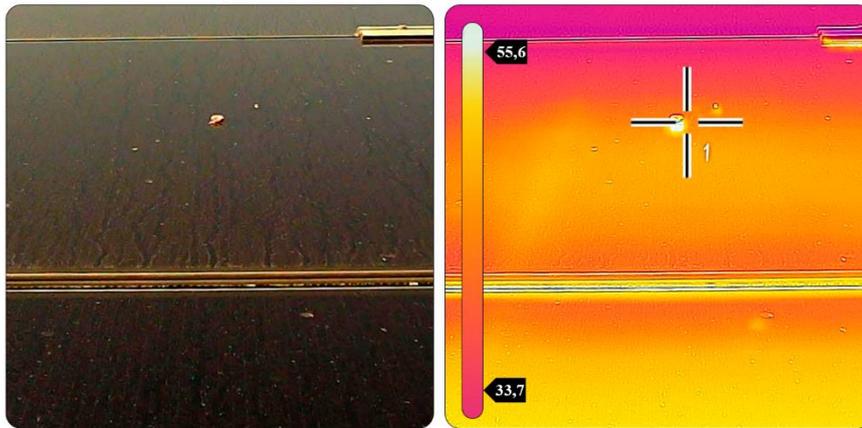


Como visto anteriormente na Tabela 2, com a elevação da temperatura nas células fotovoltaicas a sua eficiência é prejudicada, já que apesar de não baixar significante a corrente dos módulos, a tensão pode diminuir consideravelmente assim prejudicando a potência do módulo.

As fotos da Figura 20 até a Figura 25 foram retiradas no dia 12 de Março de 2020, elas retratam as temperaturas de seis módulos de diferentes tecnologia com dejetos de aves. Foram fotografados com uma câmera térmica sendo possível observar que nas áreas onde estão alocados os dejetos a temperatura é mais alta. Como são dos módulos que são usados como referência de módulos sujos é possível comparar da

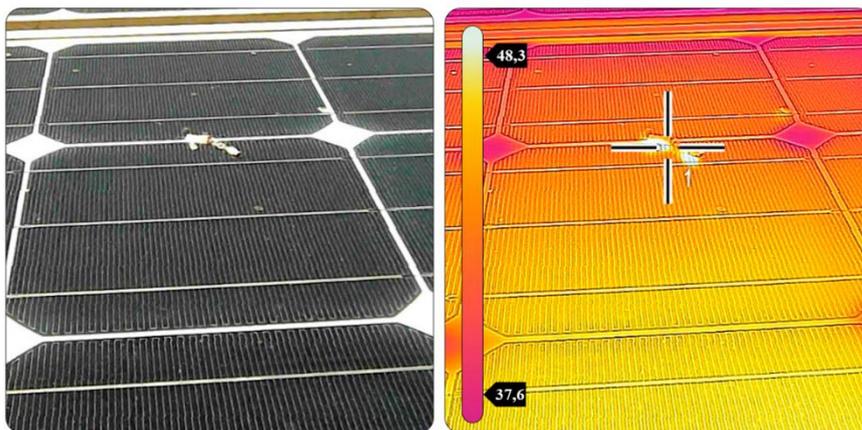
Tabela 10 a Tabela 15 as potências no momento das fotos com a de módulos limpos, vale lembrar que a medição de potência é das *strings* e não dos módulos sujos em particular.

Figura 20 Foto térmica do módulo CdTe.



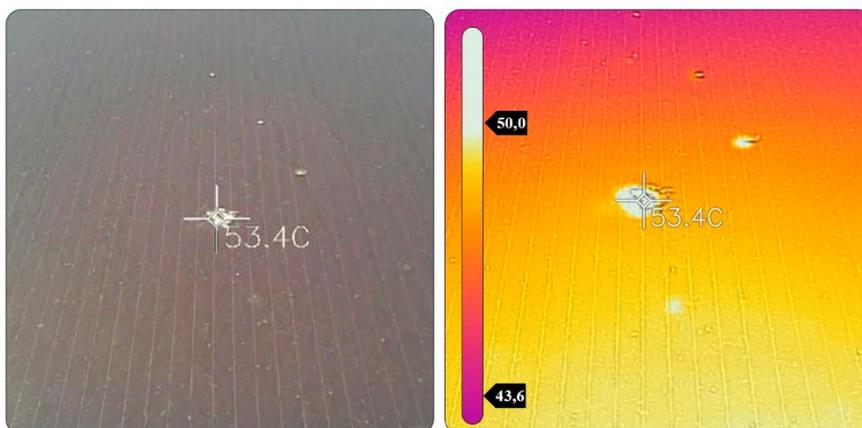
Fonte: Elaboração do autor.

Figura 21 Foto térmica do módulo Mono/c-Si.



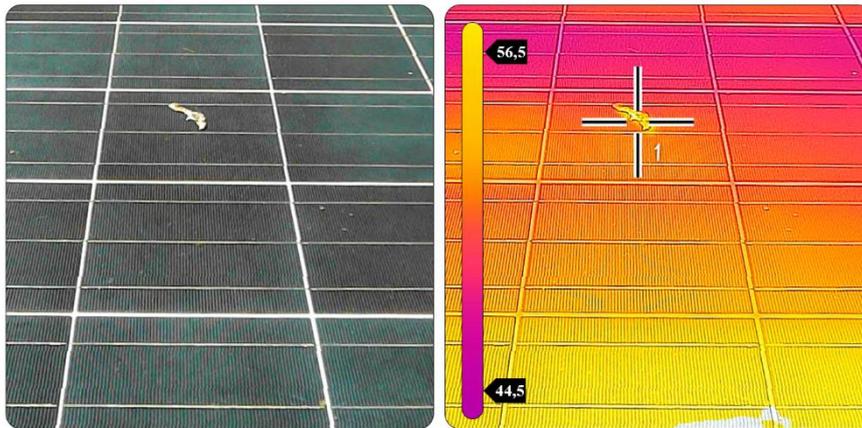
Fonte: Elaboração do autor.

Figura 22 Foto térmica do módulo a-Si.



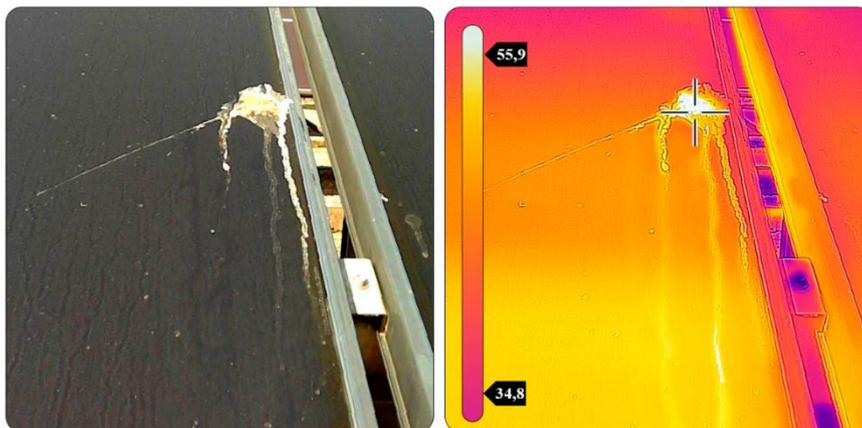
Fonte: Elaboração do autor.

Figura 23 Foto térmica do módulo Multi/c-Si.



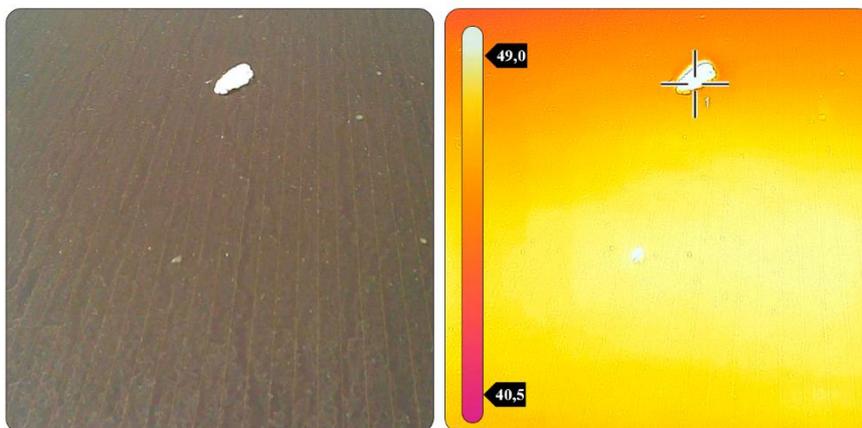
Fonte: Elaboração do autor.

Figura 24 Foto térmica do módulo CIGS.



Fonte: Elaboração do autor.

Figura 25 Foto térmica do módulo a-Si/ μ c-Si.



Fonte: Elaboração do autor.

3.2.4 Valores das grandezas influenciados pelos fatores de perdas

Na análise dos fatores de perdas é possível analisar as principais características para essa pesquisa, que influenciam no desempenho dos sistemas fotovoltaicos. As tabelas a seguir evidenciam essas influências nas grandezas elétricas, tensão, corrente e potência. As fotografias térmicas são instantâneas, e foram retiradas as 11:05 h.

Tabela 10 Valores das grandezas dos arranjos do sistema CdTe no dia 12/03/2020.

Estado da String	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (W)	Energia * (Wh)	GP ** (%)
Limpo a 25 dias	469,3	1,55	727,42	5296,578	3,03%
Limpo a 2 meses	466,5	1,56	727,74	5273,423	2,61%
Limpo a 3 meses	469,1	1,53	717,72	5199,515	1,22%
Limpo a 4 meses	465,4	1,52	707,41	5135,999	-

* Energia gerada pela *string* durante o dia analisado.

** Ganho percentual de potência máxima da *string* durante o dia analisado.

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 11 Valores das grandezas dos arranjos do sistema Mono/c-Si no dia 12/03/2020.

Estado da String	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (W)	Energia * (Wh)	GP ** (%)
Limpo a 1 dia	334,2	4,55	1520,61	13028,05	2,53%
Limpo a 2 meses	333,2	4,47	1489,40	12697,904	-

* Energia gerada pela *string* durante o dia analisado.

** Ganho percentual de potência máxima da *string* durante o dia analisado.

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 12 Valores das grandezas dos arranjos do sistema a-Si no dia 12/03/2020.

Estado da String	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (W)	Energia * (Wh)	GP ** (%)
Limpo a 25 dias	280,2	1,4	392,28	2851,356	3,94%
Limpo a 2 meses	279,5	1,4	391,30	2814,573	2,69%
Limpo a 3 meses	278,9	1,4	390,46	2799,41	2,16%
Limpo a 4 meses	276,7	1,4	387,38	2738,934	-

* Energia gerada pela *string* durante o dia analisado.

** Ganho percentual de potência máxima da *string* durante o dia analisado.

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 13 Valores das grandezas dos arranjos do sistema Multi/c-Si no dia 12/03/2020.

Estado da String	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (W)	Energia * (Wh)	GP ** (%)
Limpo a 1 mês	396	7,39	2926,44	21326,442	16,06%
Limpo a 2 meses	395,8	6,18	2446,04	17900,971	-

* Energia gerada pela *string* durante o dia analisado.

** Ganho percentual de potência máxima da *string* durante o dia analisado.

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 14 Valores das grandezas dos arranjos do sistema CIGS no dia 12/03/2020.

Estado da String	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (W)	Energia * (Wh)	GP ** (%)
Limpo a 10 dias	300,5	2,53	760,27	5757,383	3,54%
Limpo a 1 meses	301,2	2,5	753	5710,254	2,74%
Limpo a 2 meses	300,8	2,48	745,98	5623,117	1,23%
Limpo a 3 meses	299,4	2,46	736,52	5553,726	-

* Energia gerada pela *string* durante o dia analisado.

** Ganho percentual de potência máxima da *string* durante o dia analisado.

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 15 Valores das grandezas dos arranjos do sistema a-Si/ μ c-Si no dia 12/03/2020.

Estado da String	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (W)	Energia * (Wh)	GP ** (%)
Limpo a 10 dias	286,6	1,15	329,59	2374,702	6,27%
Limpo a 1 meses	286,5	1,13	323,75	2319,104	4,02%
Limpo a 2 meses	285,5	1,12	319,76	2291,528	2,87%
Limpo a 3 meses	284,3	1,09	309,89	2225,778	-

* Energia gerada pela *string* durante o dia analisado.

** Ganho percentual de potência máxima da *string* durante o dia analisado.

Fonte: Elaboração do autor.

3.3 EFICIÊNCIA DO SISTEMA

Para calcular a eficiência do sistema foi utilizado a Potência Pico em cada *String*, que pode ser observada na Tabela 4, e a potência MPP coletada pelo supervisor, conforme o Equação 4.

$$Ef_{string}(\%) = \frac{P_{MPP}}{P_{Pico}} \quad (4)$$

Esse cálculo é utilizado para definirmos a diferença da eficiência de *strings* limpas e *strings* sujas através do cálculo da figura de mérito.

3.4 FIGURA DE MÉRITO

O cálculo da figura de mérito é obtido através da Equação 5.

$$GP_{(\%)} = \frac{Efstring_{Limpa} - Efstring_{Suja}}{Efstring_{Limpa}} \quad (5)$$

Onde ganho percentual é representado pelo ganho médio de potência máxima percentual após a limpeza, $Efstring_{Limpa}$ é o valor relativo à potência máxima de módulos limpos em operação no sistema fotovoltaico pela potência máxima especificada, e de forma análoga, $Efstring_{Suja}$ representa o valor relativo a máxima potência dos módulos sujos.

Nas tabelas abaixo estão os $GP_{(\%)}$ para *strings* com um intervalo de limpeza de um a quatro meses e seus respectivos comportamentos após as limpezas.

Tabela 16 Ganho médio de potência máxima percentual um mês após a limpeza de referência.

Tecnologia	GP1	GP2	GP3	GP4
	Comparação <i>Strings</i> limpas e sujas a 1 mês	Comparação <i>Strings</i> limpas e sujas a 2 meses	Comparação <i>Strings</i> limpas e sujas a 3 meses	Comparação <i>Strings</i> limpas e sujas a 4 meses
CdTe	1,728%	2,176%	2,941%	3,313%
Mono/c-Si	2,955%	2,823%	*	*
a-Si	2,986%	3,520%	3,542%	3,300%
Multi/c-Si	15,926%	16,766%	*	*
CIGS	2,928%	4,079%	3,528%	*
a-Si/ μ c-Si	3,956%	4,830%	5,759%	*

*O cronograma previa a uma comparação de 6 meses diferentes, porém por recomendação do decreto 515, de 17 de março de 2020, do estado de Santa Catarina, as limpezas foram interrompidas não possibilitando a continuidade da pesquisa em campo.

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 17 Ganho médio de potência máxima percentual dois meses após a limpeza de referência.

Tecnologia	GP1	GP2	GP3
	Comparação <i>Strings</i> limpas e sujas a 1 mês	Comparação <i>Strings</i> limpas e sujas a 2 meses	Comparação <i>Strings</i> limpas e sujas a 3 meses
CdTe	1,33%	1,96%	2,35%
Mono/c-Si	2,90%	2,35%	*
a-Si	2,30%	2,40%	2,10%
Multi/c-Si	16,67%	17,02%	*
CIGS	1,59%	1,41%	*
a-Si/ μ c-Si	2,67%	3,80%	*

*O cronograma previa a uma comparação de 6 meses diferentes, porém por recomendação do decreto 515, de 17 de março de 2020, do estado de Santa Catarina, as limpezas foram interrompidas não possibilitando a continuidade da pesquisa em campo.

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 18 Ganho médio de potência máxima percentual três meses após a limpeza de referência.

Tecnologia	GP1	GP2
	Comparação <i>Strings</i> limpas e sujas a 1 mês	Comparação <i>Strings</i> limpas e sujas a 2 meses
CdTe	1,22%	1,60%
Mono/c-Si	*	*
a-Si	1,78%	1,64%
Multi/c-Si	*	*
CIGS	0,40%	*
a-Si/ μ c-Si	2,40%	*

*O cronograma previa a uma comparação de 6 meses diferentes, porém por recomendação do decreto 515, de 17 de março de 2020, do estado de Santa Catarina, as limpezas foram interrompidas não possibilitando a continuidade da pesquisa em campo.

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 19 Ganho médio de potência máxima percentual quatro meses após a limpeza de referência.

Tecnologia	GP1
Comparação <i>Strings</i> limpas e sujas a 1 mês	
CdTe	0,97%
Mono/c-Si	*
a-Si	0,40%
Multi/c-Si	*
CIGS	*
a-Si/ μ c-Si	*

*O cronograma previa a uma comparação de 6 meses diferentes, porém por recomendação do decreto 515, de 17 de março de 2020, do estado de Santa Catarina, as limpezas foram interrompidas não possibilitando a continuidade da pesquisa em campo.

Fonte: Elaboração do autor.

Pela diferença do sistema de cada tecnologia, o tempo e o intervalo de limpeza programado foi diferente para cada uma delas, conseguindo se coletar mais dados em tecnologias que possuem maior número de *strings*, tecnologias com duas *strings* no método

adotado precisariam de um intervalo de tempo maior de amostragem para se obter o mesmo tamanho de amostras.

3.5 PRODUTIVIDADE E TAXA DE DESEMPENHO

A produtividade específica usualmente em inglês *Yield*, é a relação entre a energia elétrica gerada e a potência instalada pico total do SFVCR, na qual pode se obter o desempenho dos sistemas através da relação kWh/kWp, utilizando a Equação 6:

$$Y = \frac{E_{gerada}(kWh)}{P_p(kW)} \quad (6)$$

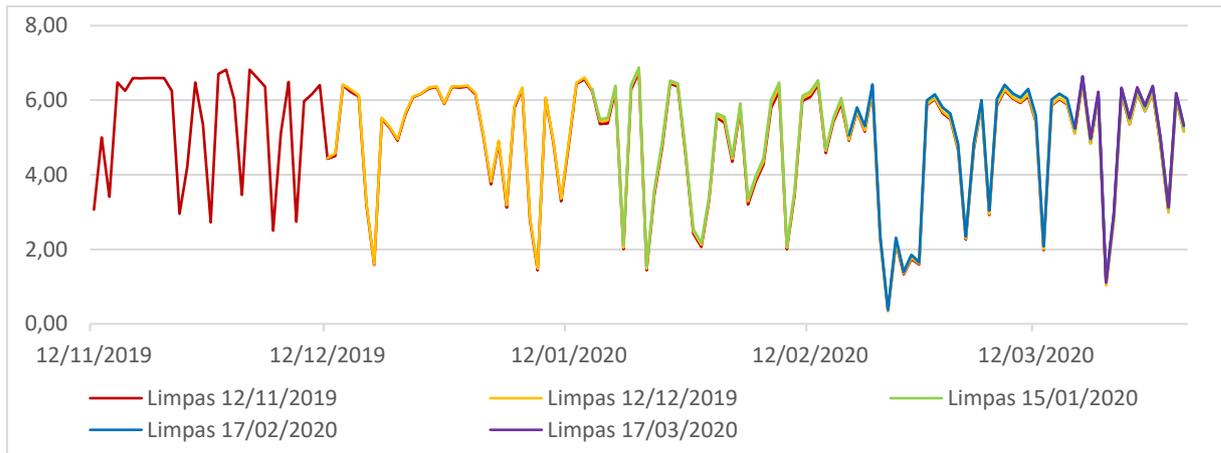
A taxa de desempenho do inglês *performace ratio* é a relação entre a produtividade e a produtividade de referência do local a 1 kW/m² incidentes no painel FV, e é dada pela Equação 7:

$$PR = \frac{Yield}{Yield\ refer\ência} (\%) = \frac{Yield}{Irradia\c{a}\tilde{o}\ do\ plano / 1kW/m^2} (\%) \quad (7)$$

Para fazer a análise individual de cada *string* é realizado o cálculo de produtividade diária utilizando o Excel.

3.5.1 Produtividade CdTe

Será apresentado, logo abaixo, na Tabela 20, Tabela 21 e Tabela 22 a produtividade total da tecnologia de Telureto de Cadmo durante os dias da pesquisa. No Gráfico 7 é exibido a produtividade total descrito nas tabelas a seguir, e para facilitar a análise gráfica durante os dias das limpezas, a amostra gráfica é separada dentro do intervalo de uma semana (sete dias) deixando o dia de referência no meio do intervalo (quarto dia).

Gráfico 7 Produtividade das *strings* de CdTe no período da pesquisa.

Fonte: Elaboração do autor.

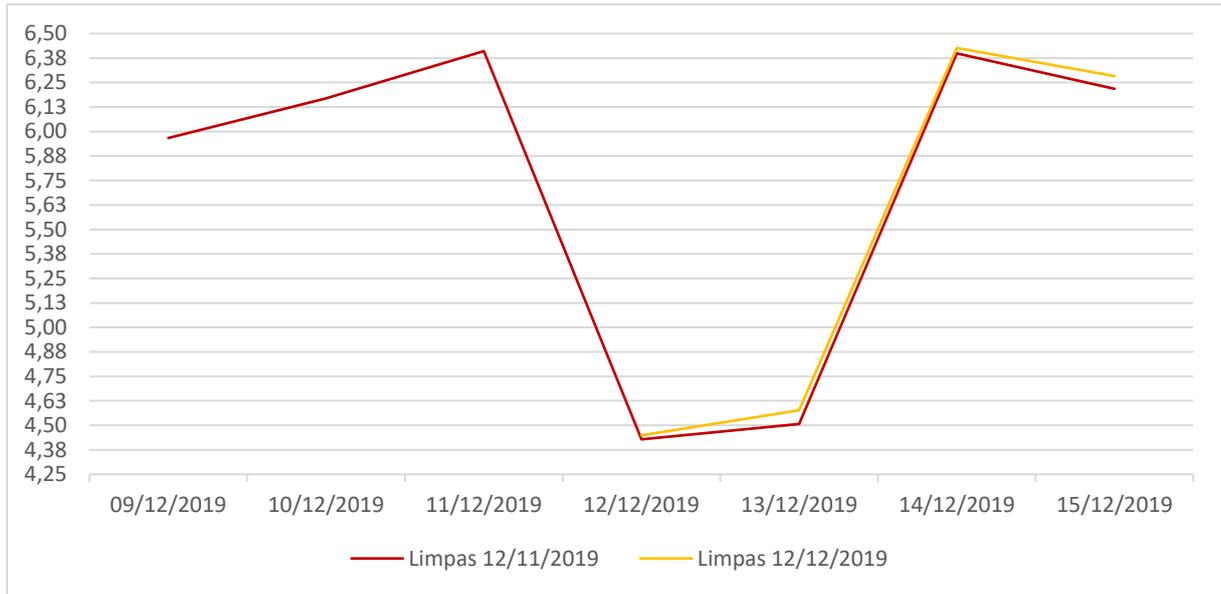
Após a primeira limpeza individual, ocorrida no dia 12/12/2019, já é possível notar a diferença de produtividade entre as *strings* sujas e as limpas, como mostra o Gráfico 8. No período de um mês a produtividade das placas limpas obteve um ganho médio de quase 1%, com dias onde o desempenho dos módulos foi quase o mesmo e, dias em que a diferença chega a 3%.

Tabela 20 Produtividade das *strings* de CdTe referente a primeira e segunda limpeza das *strings* no período de 12/11/2019 até 14/01/2020.

Período	Limpas 12/11 Yield	Período	Limpas 12/11 Yield	Limpas 12/12 Yield
12/11/2019	3,07	12/12/2019	4,43	4,45
13/11/2019	5,00	13/12/2019	4,51	4,58
14/11/2019	3,41	14/12/2019	6,40	6,43
15/11/2019	6,48	15/12/2019	6,22	6,28
16/11/2019	6,25	16/12/2019	6,09	6,13
17/11/2019	6,59	17/12/2019	3,19	3,25
18/11/2019	6,59	18/12/2019	1,58	1,60
19/11/2019	6,59	19/12/2019	5,49	5,53
20/11/2019	6,59	20/12/2019	5,25	5,28
21/11/2019	6,59	21/12/2019	4,92	4,95
22/11/2019	6,25	22/12/2019	5,61	5,65
23/11/2019	2,95	23/12/2019	6,08	6,09
24/11/2019	4,21	24/12/2019	6,17	6,18
25/11/2019	6,48	25/12/2019	6,31	6,34
26/11/2019	5,34	26/12/2019	6,35	6,37
27/11/2019	2,73	27/12/2019	5,90	5,92
28/11/2019	6,70	28/12/2019	6,35	6,37
29/11/2019	6,82	29/12/2019	6,34	6,37
30/11/2019	6,02	30/12/2019	6,37	6,39
01/12/2019	3,46	31/12/2019	6,16	6,19
02/12/2019	6,82	01/01/2020	5,06	5,09
03/12/2019	6,59	02/01/2020	3,74	3,82
04/12/2019	6,36	03/01/2020	4,86	4,92
05/12/2019	2,50	04/01/2020	3,11	3,19
06/12/2019	5,11	05/01/2020	5,80	5,86
07/12/2019	6,49	06/01/2020	6,32	6,33
08/12/2019	2,74	07/01/2020	2,81	2,87
09/12/2019	5,97	08/01/2020	1,44	1,48
10/12/2019	6,17	09/01/2020	6,04	6,07
11/12/2019	6,41	10/01/2020	4,87	4,90
		11/01/2020	3,29	3,36
		12/01/2020	4,81	4,88
		13/01/2020	6,44	6,46
		14/01/2020	6,56	6,62

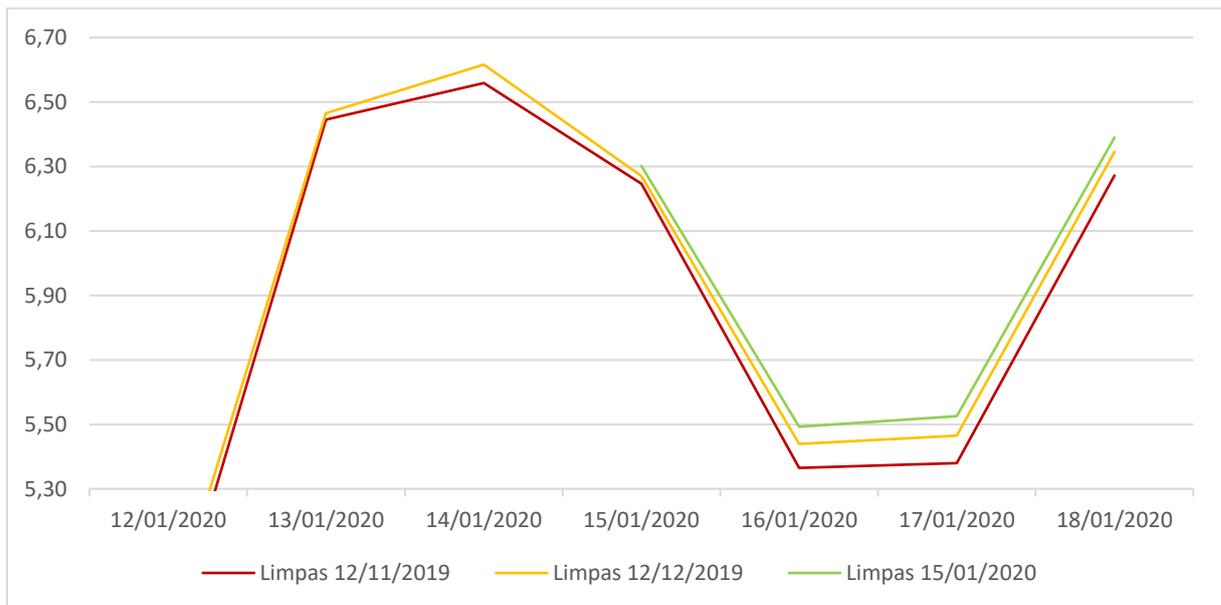
Produtividade mensal:		Taxa de desempenho mensal:	
Y(12/11)	Y(12/12)	PR(12/11)	PR(12/12)
161,89	163,13	93,38%	94,10%

Fonte: Elaboração do autor.

Gráfico 8 Produtividade das *strings* de CdTe durante a semana da segunda limpeza.

Fonte: Elaboração do autor.

No intervalo de tempo entre 15 de janeiro e 14 de fevereiro, a produtividade das *strings* mais sujas em relação as limpas no dia 12 de dezembro obteve uma diferença de 1,6%, percentual maior que no período anterior, já a diferença entre a produtividade das *strings* sujas e das limpas no dia 15 de janeiro foi aproximadamente 3%.

Gráfico 9 Produtividade das *strings* de CdTe durante a semana da terceira limpeza.

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 21 Produtividade das *strings* de CdTe referente a primeira, segunda, terceira e quarta limpeza referente ao período de 15/01/2020 até 16/03/2020.

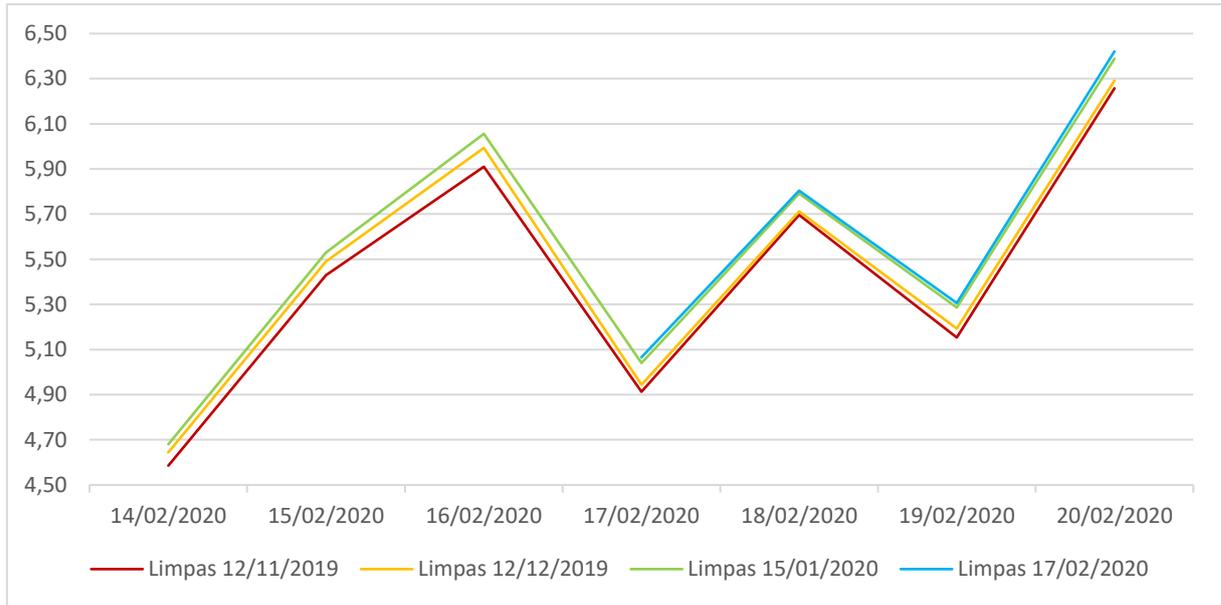
Período	Limpas 12/11 Yield	Limpas 12/12 Yield	Limpas 15/01 Yield	Período	Limpas 12/11 Yield	Limpas 12/12 Yield	Limpas 15/01 Yield	Limpas 17/02 Yield
15/01/2020	6,25	6,27	6,30	17/02/2020	4,91	4,94	5,04	5,07
16/01/2020	5,36	5,44	5,49	18/02/2020	5,70	5,71	5,79	5,80
17/01/2020	5,38	5,46	5,52	19/02/2020	5,15	5,19	5,29	5,31
18/01/2020	6,27	6,35	6,39	20/02/2020	6,26	6,29	6,39	6,42
19/01/2020	2,00	2,05	2,12	21/02/2020	2,29	2,30	2,35	2,36
20/01/2020	6,29	6,37	6,42	22/02/2020	0,35	0,35	0,37	0,38
21/01/2020	6,75	6,83	6,88	23/02/2020	2,17	2,20	2,30	2,31
22/01/2020	1,44	1,48	1,53	24/02/2020	1,33	1,35	1,42	1,39
23/01/2020	3,47	3,55	3,61	25/02/2020	1,74	1,77	1,85	1,85
24/01/2020	4,77	4,86	4,93	26/02/2020	1,59	1,62	1,69	1,65
25/01/2020	6,45	6,50	6,53	27/02/2020	5,87	5,89	5,98	5,99
26/01/2020	6,36	6,41	6,45	28/02/2020	6,03	6,05	6,13	6,15
27/01/2020	4,53	4,59	4,64	29/02/2020	5,66	5,70	5,81	5,81
28/01/2020	2,42	2,49	2,54	01/03/2020	5,49	5,52	5,61	5,64
29/01/2020	2,06	2,13	2,17	02/03/2020	4,67	4,70	4,80	4,83
30/01/2020	3,30	3,35	3,41	03/03/2020	2,26	2,28	2,35	2,34
31/01/2020	5,53	5,60	5,65	04/03/2020	4,68	4,72	4,84	4,84
01/02/2020	5,40	5,47	5,56	05/03/2020	5,85	5,89	5,99	6,01
02/02/2020	4,35	4,42	4,47	06/03/2020	2,92	2,95	3,04	3,04
03/02/2020	5,78	5,86	5,92	07/03/2020	5,86	5,90	6,02	6,04
04/02/2020	3,20	3,29	3,36	08/03/2020	6,26	6,29	6,39	6,42
05/02/2020	3,82	3,90	3,96	09/03/2020	6,05	6,08	6,16	6,19
06/02/2020	4,27	4,36	4,44	10/03/2020	5,93	5,96	6,05	6,08
07/02/2020	5,80	5,92	6,01	11/03/2020	6,11	6,16	6,28	6,30
08/02/2020	6,24	6,37	6,48	12/03/2020	5,42	5,45	5,56	5,58
09/02/2020	2,01	2,05	2,08	13/03/2020	1,98	2,00	2,08	2,08
10/02/2020	3,46	3,53	3,58	14/03/2020	5,86	5,88	5,99	6,02
11/02/2020	5,99	6,06	6,11	15/03/2020	6,03	6,06	6,15	6,18
12/02/2020	6,08	6,16	6,23	16/03/2020	5,89	5,92	6,02	6,04
13/02/2020	6,40	6,48	6,54					
14/02/2020	4,59	4,64	4,68					
15/02/2020	5,43	5,49	5,53					
16/02/2020	5,91	5,99	6,06					

Produtividade mensal (15/01-14/02):			Taxa de desempenho mensal (15/01-14/02):		
Y(12/11)	Y(12/12)	Y(15/01)	PR(12/11)	PR(12/12)	PR(15/01)
157,38	159,73	161,58	91,82%	93,19%	94,27%

Produtividade mensal (17/01-16/02):				Taxa de desempenho mensal			
Y(12/11)	Y(12/12)	Y(15/01)	Y(17/02)	PR(12/11)	PR(12/12)	PR(15/01)	PR(17/02)
130,28	131,14	133,73	134,11	90,85%	91,44%	93,25%	93,52%

Fonte: Elaboração do autor.

Entre os dias 17 de fevereiro e 16 de março, a produtividade das *strings* mais sujas em relação as limpas no dia 12 de dezembro obteve uma diferença de 0,8%, percentual menor que no período anterior. Já a diferença entre a produtividade das *strings* sujas e das limpas no dia 15 de janeiro foi em média quase 3,1% e em relação as limpas no dia 17 de fevereiro, foi quase o mesmo que o da anterior, tendo em média 3,3%.

Gráfico 10 Produtividade das *strings* de CdTe durante a semana da quarta limpeza.

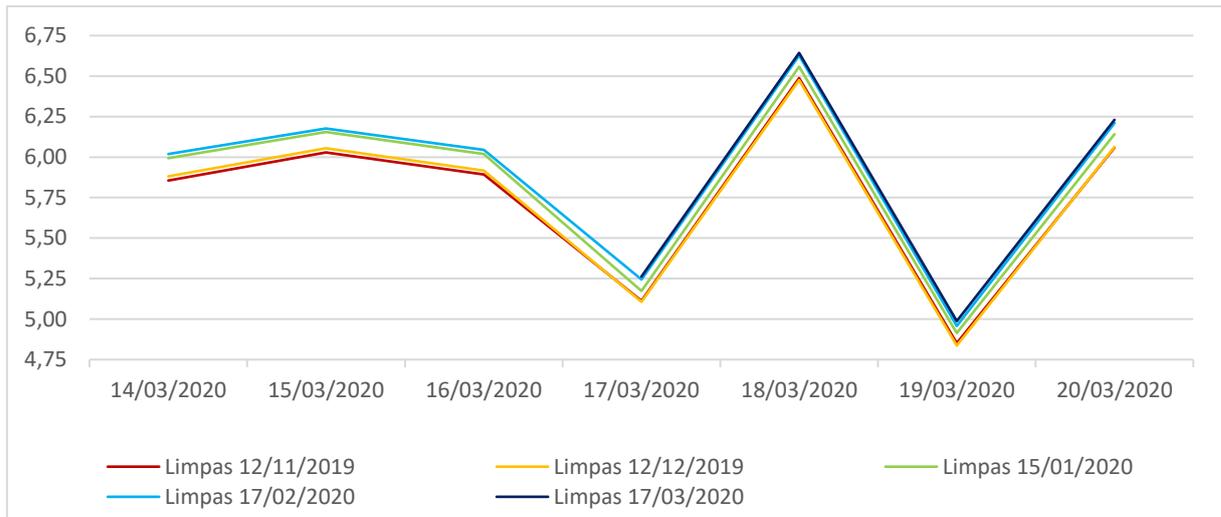
Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 22 Produtividade das *strings* de CdTe referente as cinco limpezas referente ao período de 17/03/2020 até 31/03/2020.

Período	Limpas 12/11 Yield	Limpas 12/12 Yield	Limpas 15/01 Yield	Limpas 17/02 Yield	Limpas 17/03 Yield
17/03/2020	5,11	5,11	5,17	5,24	5,26
18/03/2020	6,49	6,48	6,56	6,63	6,64
19/03/2020	4,85	4,84	4,91	4,96	4,99
20/03/2020	6,06	6,06	6,14	6,21	6,23
21/03/2020	1,05	1,03	1,11	1,13	1,11
22/03/2020	2,80	2,80	2,88	2,94	2,95
23/03/2020	6,17	6,18	6,24	6,32	6,34
24/03/2020	5,35	5,36	5,44	5,52	5,53
25/03/2020	6,19	6,20	6,25	6,34	6,34
26/03/2020	5,71	5,72	5,76	5,84	5,85
27/03/2020	6,19	6,20	6,28	6,38	6,38
28/03/2020	4,81	4,81	4,90	5,00	5,01
29/03/2020	3,00	2,99	3,07	3,13	3,14
30/03/2020	6,04	6,05	6,09	6,18	6,19
31/03/2020	5,16	5,16	5,23	5,31	5,33

Produtividade (17 a 31 de março)					Taxa de desempenho (17 a 31 de março)				
Y (12/11)	Y (12/12)	Y (15/01)	Y (17/02)	Y (17/03)	PR (12/11)	PR (12/12)	PR (15/01)	PR (17/02)	PR (17/03)
74,99	74,97	76,03	77,12	77,29	102,87%	102,84%	104,29%	105,79%	106,02%

Fonte: Elaboração do autor.

Gráfico 11 Produtividade das *strings* de CdTe durante a semana da quinta limpeza.

Fonte: Elaboração do autor.

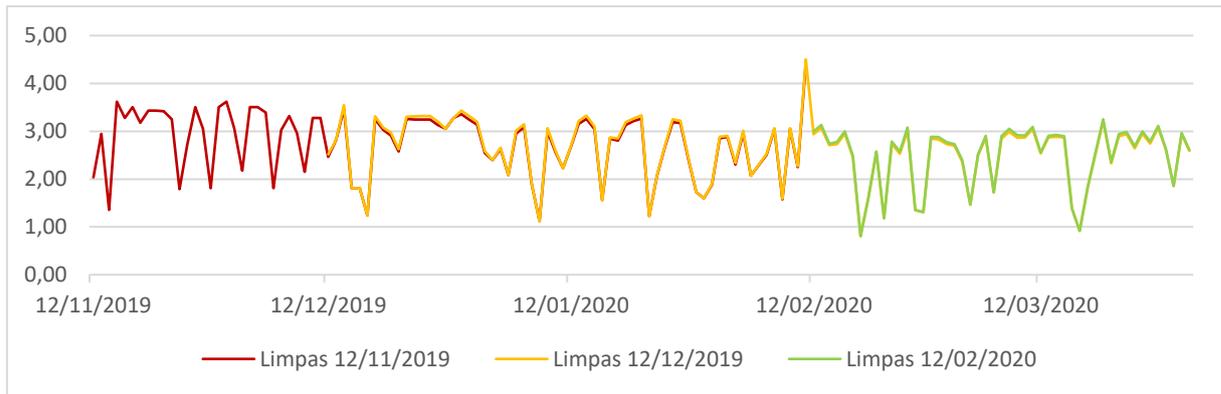
Contudo, no intervalo de tempo de 17 de março e 31 de março, a produtividade das *strings* mais sujas em relação as limpas no dia 12 de dezembro não foi observado diferença importante, referente a limpeza do dia 15 de janeiro a diferença média foi de 1,6%, nas duas limpezas mais recentes houve uma diferença média de produtividade de 3% e 3,2%.

3.5.2 Produtividade Mono/c-Si

A produtividade total da tecnologia Silício Monocristalino, durante os dias da pesquisa, será apresentada a seguir na Tabela 23 e Tabela 24, no Gráfico 12 será exibida a produtividade total descrita nessas tabelas. Para facilitar a análise gráfica durante os dias das limpezas, a amostra gráfica foi separada em um intervalo de uma semana (sete dias) deixando o dia de referência no meio do intervalo (quarto dia).

Como a tecnologia de Mono/c-Si possui apenas duas *strings*, os dados não se referem as médias e sim ao valor real da produtividade das *strings* analisadas. No Gráfico 13 é possível ver a diferença de produtividade na semana da limpeza, com os dados da Tabela 23 é possível analisar que no período de 12 de dezembro a 11 de fevereiro a *string* limpa no dia 12 de dezembro teve uma produtividade média no primeiro mês de 1,2% e no segundo mês de 1%, sendo que em alguns dias as *string* chegaram quase a mesma produtividade.

Gráfico 12 Produtividade de Mono/c-Si no período da pesquisa.



Fonte: Elaboração do autor.

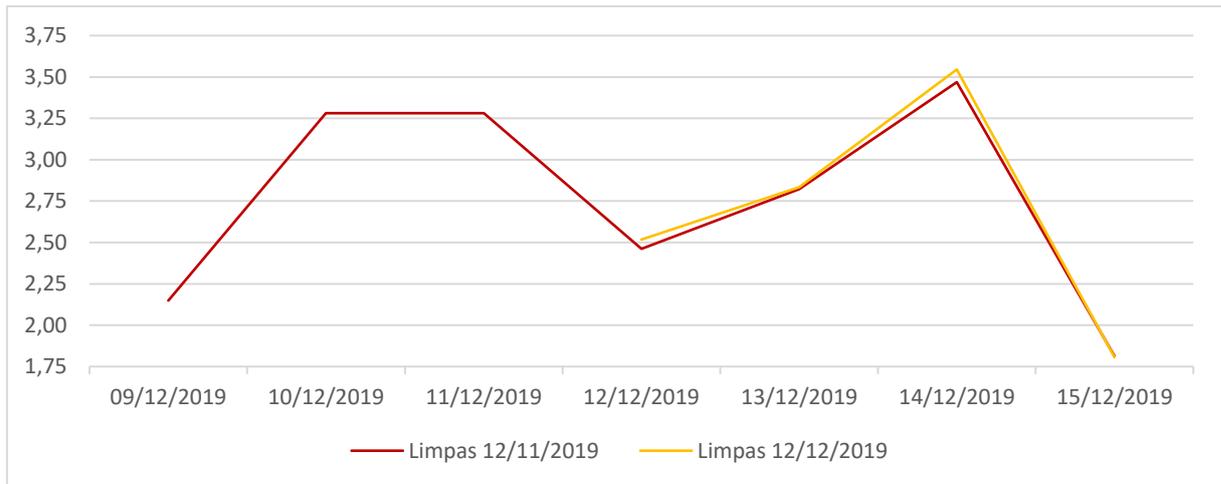
Tabela 23 Produtividade das *strings* de Mono/c-Si referente a primeira e segunda limpeza no período de 12/11/2019 até 11/02/2020.

Período	Limpas 12/11/2019 Yield	Período	Limpas 12/11/2019 Yield	Limpas 12/12/2019 Yield	Período	Limpas 12/11/2019 Yield	Limpas 12/12/2019 Yield
12/11/2019	2,04	12/12/2019	2,46	2,52	12/01/2020	2,68	2,70
13/11/2019	2,94	13/12/2019	2,82	2,83	13/01/2020	3,16	3,22
14/11/2019	1,36	14/12/2019	3,47	3,55	14/01/2020	3,26	3,33
15/11/2019	3,62	15/12/2019	1,81	1,81	15/01/2020	3,04	3,10
16/11/2019	3,28	16/12/2019	1,81	1,81	16/01/2020	1,56	1,56
17/11/2019	3,51	17/12/2019	1,24	1,24	17/01/2020	2,85	2,87
18/11/2019	3,18	18/12/2019	3,25	3,31	18/01/2020	2,80	2,85
19/11/2019	3,43	19/12/2019	3,03	3,08	19/01/2020	3,13	3,19
20/11/2019	3,43	20/12/2019	2,91	2,97	20/01/2020	3,21	3,27
21/11/2019	3,42	21/12/2019	2,58	2,62	21/01/2020	3,27	3,33
22/11/2019	3,25	22/12/2019	3,26	3,30	22/01/2020	1,23	1,22
23/11/2019	1,79	23/12/2019	3,25	3,31	23/01/2020	2,06	2,07
24/11/2019	2,71	24/12/2019	3,24	3,32	24/01/2020	2,68	2,70
25/11/2019	3,51	25/12/2019	3,25	3,31	25/01/2020	3,19	3,25
26/11/2019	3,05	26/12/2019	3,13	3,20	26/01/2020	3,17	3,22
27/11/2019	1,81	27/12/2019	3,05	3,05	27/01/2020	2,41	2,44
28/11/2019	3,51	28/12/2019	3,28	3,28	28/01/2020	1,73	1,73
29/11/2019	3,62	29/12/2019	3,36	3,43	29/01/2020	1,60	1,59
30/11/2019	3,07	30/12/2019	3,25	3,31	30/01/2020	1,88	1,90
01/12/2019	2,18	31/12/2019	3,14	3,20	31/01/2020	2,85	2,89
02/12/2019	3,51	01/01/2020	2,54	2,59	01/02/2020	2,88	2,91
03/12/2019	3,51	02/01/2020	2,40	2,40	02/02/2020	2,31	2,34
04/12/2019	3,39	03/01/2020	2,63	2,66	03/02/2020	2,97	3,01
05/12/2019	1,81	04/01/2020	2,08	2,08	04/02/2020	2,07	2,07
06/12/2019	3,02	05/01/2020	2,95	3,01	05/02/2020	2,30	2,31
07/12/2019	3,32	06/01/2020	3,08	3,14	06/02/2020	2,51	2,53
08/12/2019	2,97	07/01/2020	1,88	1,88	07/02/2020	3,04	3,07
09/12/2019	2,15	08/01/2020	1,12	1,12	08/02/2020	1,58	1,59
10/12/2019	3,28	09/01/2020	3,00	3,06	09/02/2020	3,04	3,07
11/12/2019	3,28	10/01/2020	2,57	2,60	10/02/2020	2,25	2,27
		11/01/2020	2,23	2,23	11/02/2020	4,42	4,50

Período	Produtividade		Taxa de desempenho	
	Y(12/11)	Y(12/12)	PR(12/11)	PR(12/12)
1º mês	84,08	85,24	50,04%	50,73%
2º mês	81,14	82,07	50,04%	50,62%

Fonte: Elaboração do autor.

Gráfico 13 Produtividade de Mono/c-Si durante a semana da segunda limpeza.



Fonte: Elaboração do autor.

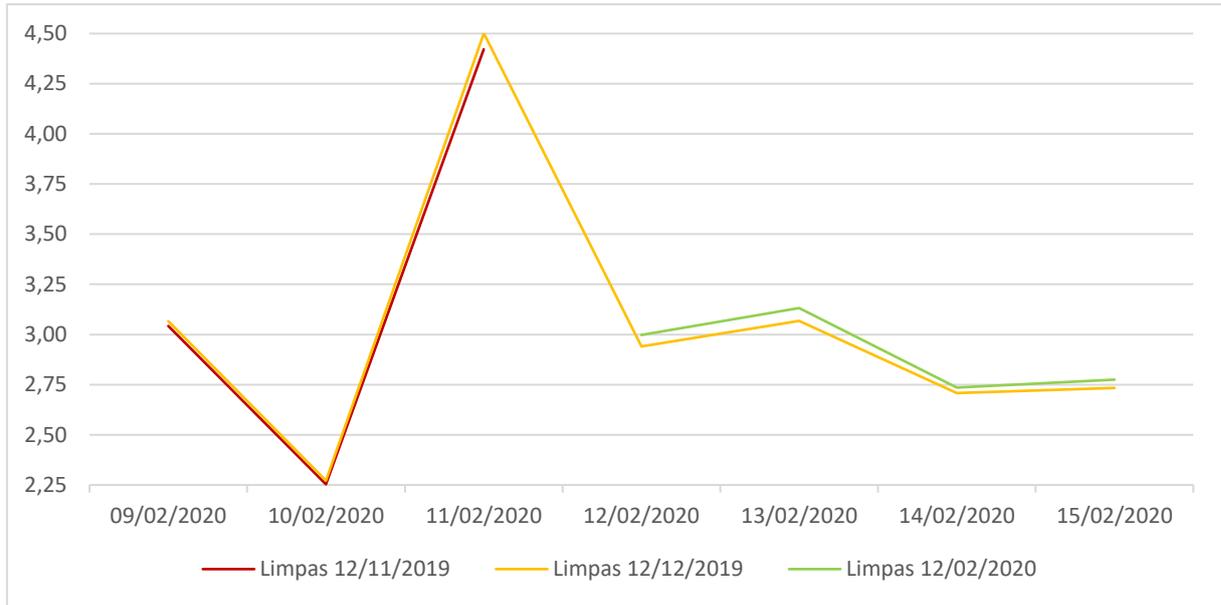
Tabela 24 Produtividade das *strings* de Mono/c-Si referente a segunda e terceira limpeza no período de 12/12/2019 até 31/03/2020.

Período	Limpas 12/12/2019 Yield	Limpas 12/02/2020 Yield	Período	Limpas 12/12/2019 Yield	Limpas 12/02/2020 Yield
12/02/2020	2,94	3,00	12/03/2020	2,53	2,56
13/02/2020	3,07	3,13	13/03/2020	2,87	2,90
14/02/2020	2,71	2,74	14/03/2020	2,88	2,92
15/02/2020	2,73	2,78	15/03/2020	2,87	2,90
16/02/2020	2,95	3,00	16/03/2020	1,39	1,38
17/02/2020	2,46	2,49	17/03/2020	0,92	0,92
18/02/2020	0,81	0,81	18/03/2020	1,83	1,83
19/02/2020	1,61	1,60	19/03/2020	2,52	2,55
20/02/2020	2,55	2,58	20/03/2020	3,22	3,25
21/02/2020	1,18	1,18	21/03/2020	2,33	2,36
22/02/2020	2,74	2,78	22/03/2020	2,90	2,94
23/02/2020	2,53	2,57	23/03/2020	2,94	2,99
24/02/2020	3,01	3,08	24/03/2020	2,65	2,68
25/02/2020	1,36	1,35	25/03/2020	2,95	3,00
26/02/2020	1,31	1,31	26/03/2020	2,74	2,78
27/02/2020	2,85	2,89	27/03/2020	3,07	3,11
28/02/2020	2,83	2,88	28/03/2020	2,62	2,63
29/02/2020	2,73	2,77	29/03/2020	1,86	1,86
01/03/2020	2,69	2,73	30/03/2020	2,94	2,97
02/03/2020	2,37	2,40	31/03/2020	2,59	2,61
03/03/2020	1,47	1,47			
04/03/2020	2,49	2,52			
05/03/2020	2,86	2,90			
06/03/2020	1,72	1,73			
07/03/2020	2,84	2,90			
08/03/2020	2,99	3,05			
09/03/2020	2,87	2,91			
10/03/2020	2,87	2,91			
11/03/2020	3,04	3,09			

Período	Produtividade		Taxa de desempenho	
	Y(12/12)	Y(12/02)	PR(12/12)	PR(12/02)
1º mês	70,58	71,52	48,89%	49,55%
Resto do mês	50,62	51,15	52,07%	52,63%

Fonte: Elaboração do autor.

Gráfico 14 Produtividade de Mono/c-Si durante a semana da terceira limpeza.

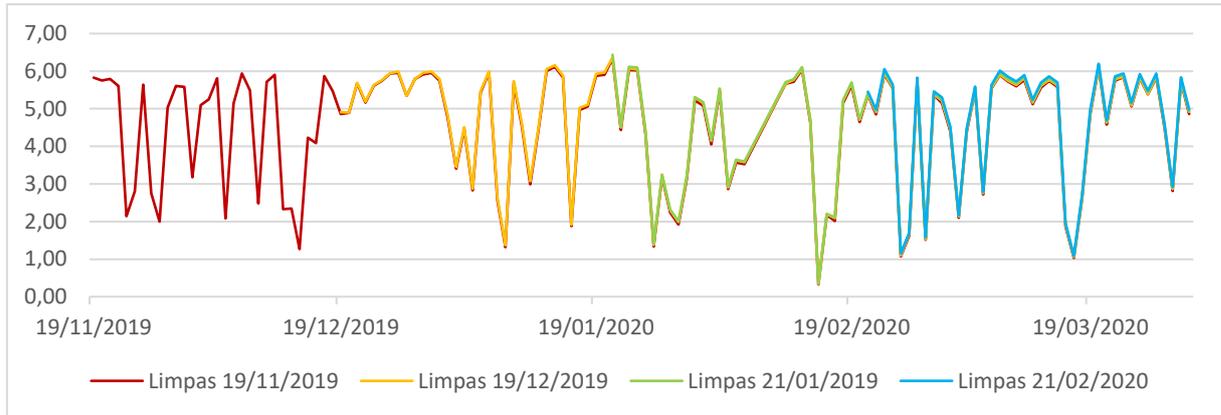


Fonte: Elaboração do autor.

Com a análise do Gráfico 14, é possível ver a diferença de produtividade na semana da terceira limpeza, com os dados da Tabela 24 é possível verificar que no período de 11 de fevereiro a 31 de março a diferença de produtividade entre a *string* limpa no dia 12 de dezembro e 12 de fevereiro foi de 1,02% durante o primeiro mês e 1,04% o resto dos dias até 31 de março.

3.5.3 Produtividade a-Si

A seguir, será apresentado na Tabela 25 e Tabela 26 a produtividade total da tecnologia de Silício Amorfo durante os dias da pesquisa, no Gráfico 15 é exibido a produtividade total descrito nessas tabelas e, para facilitar a análise gráfica durante os dias das limpezas a amostra gráfica é separada em um intervalo de uma semana (sete dias) deixando o dia de referência no meio do intervalo (quarto dia).

Gráfico 15 Produtividade das *strings* de a-Si no período da pesquisa.

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 25 Produtividade das *strings* de a-Si referente a primeira e segunda limpeza no período de 12/11/2019 até 11/02/2020.

Período	Limpas 19/11/2019 Yield	Período	Limpas 19/11/2019 Yield	Limpas 19/12/2019 Yield
19/11/2019	5,82	19/12/2019	4,86	4,91
20/11/2019	5,75	20/12/2019	4,89	4,90
21/11/2019	5,80	21/12/2019	5,67	5,69
22/11/2019	5,60	22/12/2019	5,16	5,19
23/11/2019	2,14	23/12/2019	5,62	5,64
24/11/2019	2,80	24/12/2019	5,74	5,76
25/11/2019	5,64	25/12/2019	5,93	5,95
26/11/2019	2,75	26/12/2019	5,96	5,99
27/11/2019	2,00	27/12/2019	5,34	5,34
28/11/2019	5,03	28/12/2019	5,79	5,79
29/11/2019	5,61	29/12/2019	5,92	5,95
30/11/2019	5,58	30/12/2019	5,96	5,99
01/12/2019	3,18	31/12/2019	5,75	5,80
02/12/2019	5,10	01/01/2020	4,75	4,82
03/12/2019	5,25	02/01/2020	3,41	3,45
04/12/2019	5,81	03/01/2020	4,46	4,51
05/12/2019	2,08	04/01/2020	2,83	2,88
06/12/2019	5,14	05/01/2020	5,44	5,47
07/12/2019	5,94	06/01/2020	5,97	5,99
08/12/2019	5,49	07/01/2020	2,57	2,63
09/12/2019	2,48	08/01/2020	1,32	1,37
10/12/2019	5,72	09/01/2020	5,68	5,73
11/12/2019	5,90	10/01/2020	4,54	4,62
12/12/2019	2,33	11/01/2020	2,99	3,08
13/12/2019	2,35	12/01/2020	4,46	4,52
14/12/2019	1,26	13/01/2020	6,01	6,06
15/12/2019	4,23	14/01/2020	6,11	6,16
16/12/2019	4,08	15/01/2020	5,83	5,88
17/12/2019	5,87	16/01/2020	1,88	1,92
18/12/2019	5,47	17/01/2020	4,97	5,03
		18/01/2020	5,06	5,11
		19/01/2020	5,88	5,93
		20/01/2020	5,90	5,97

Produtividade mensal		Taxa de desempenho	
Y(19/11)	Y(19/12)	PR(19/11)	PR(19/12)
150,88	152,12	90,32%	91,06%

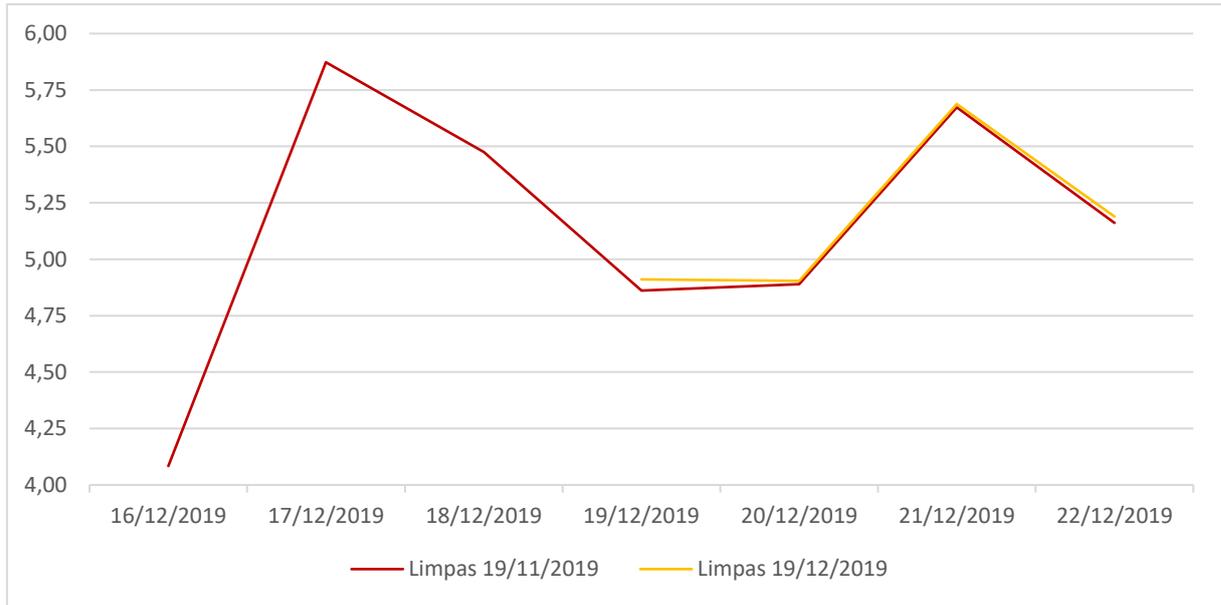
Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 26 Produtividade das *strings* de a-Si referente a primeira, segunda, terceira e quarta limpeza no período de 21/01/2019 até 31/03/2020.

Período	Limpas 19/11 Yield	Limpas 19/12 Yield	Limpas 21/01 Yield	Período	Limpas 19/11 Yield	Limpas 19/12 Yield	Limpas 21/01 Yield	Limpas 21/02 Yield
21/01/2020	6,33	6,36	6,44	21/02/2020	5,37	5,38	5,42	5,46
22/01/2020	4,44	4,51	4,52	22/02/2020	4,85	4,91	4,93	4,98
23/01/2020	6,03	6,08	6,11	23/02/2020	5,91	5,95	5,99	6,06
24/01/2020	6,02	6,05	6,10	24/02/2020	5,55	5,56	5,59	5,64
25/01/2020	4,30	4,35	4,36	25/02/2020	1,07	1,10	1,13	1,15
26/01/2020	1,33	1,37	1,40	26/02/2020	1,62	1,68	1,69	1,70
27/01/2020	3,19	3,25	3,24	27/02/2020	5,71	5,71	5,77	5,82
28/01/2020	2,25	2,31	2,32	28/02/2020	1,51	1,53	1,57	1,57
29/01/2020	1,92	1,99	2,00	29/02/2020	5,37	5,38	5,43	5,46
30/01/2020	3,14	3,20	3,21	01/03/2020	5,15	5,22	5,23	5,30
31/01/2020	5,22	5,30	5,31	02/03/2020	4,40	4,45	4,47	4,52
01/02/2020	5,08	5,15	5,17	03/03/2020	2,10	2,13	2,15	2,17
02/02/2020	4,05	4,16	4,15	04/03/2020	4,39	4,43	4,45	4,48
03/02/2020	5,46	5,51	5,54	05/03/2020	5,48	5,52	5,54	5,59
04/02/2020	2,86	2,91	2,92	06/03/2020	2,72	2,75	2,77	2,79
05/02/2020	3,57	3,63	3,65	07/03/2020	5,54	5,56	5,59	5,63
06/02/2020	3,53	3,57	3,60	08/03/2020	5,90	5,91	5,96	6,01
11/02/2020	5,66	5,67	5,71	09/03/2020	5,72	5,75	5,79	5,85
12/02/2020	5,72	5,77	5,79	10/03/2020	5,60	5,63	5,66	5,72
13/02/2020	6,04	6,06	6,11	11/03/2020	5,77	5,82	5,85	5,89
14/02/2020	4,63	4,68	4,69	12/03/2020	5,12	5,16	5,19	5,24
15/02/2020	0,32	0,34	0,35	13/03/2020	5,57	5,62	5,64	5,70
16/02/2020	2,17	2,20	2,21	14/03/2020	5,74	5,76	5,81	5,86
17/02/2020	2,02	2,09	2,11	15/03/2020	5,58	5,62	5,64	5,70
18/02/2020	5,16	5,21	5,23	16/03/2020	1,87	1,91	1,93	1,95
19/02/2020	5,62	5,68	5,70	17/03/2020	1,03	1,05	1,08	1,08
20/02/2020	4,65	4,71	4,72	18/03/2020	2,64	2,70	2,71	2,73
				19/03/2020	4,86	4,90	4,93	4,98
				20/03/2020	6,10	6,11	6,17	6,20
				21/03/2020	4,58	4,64	4,64	4,70
				22/03/2020	5,75	5,78	5,82	5,87
				23/03/2020	5,83	5,85	5,90	5,94
				24/03/2020	5,06	5,09	5,12	5,16
				25/03/2020	5,81	5,82	5,88	5,92
				26/03/2020	5,38	5,39	5,44	5,48
				27/03/2020	5,83	5,85	5,90	5,94
				28/03/2020	4,48	4,53	4,54	4,59
				29/03/2020	2,81	2,87	2,88	2,92
				30/03/2020	5,71	5,74	5,79	5,83
				31/03/2020	4,86	4,92	4,93	4,98

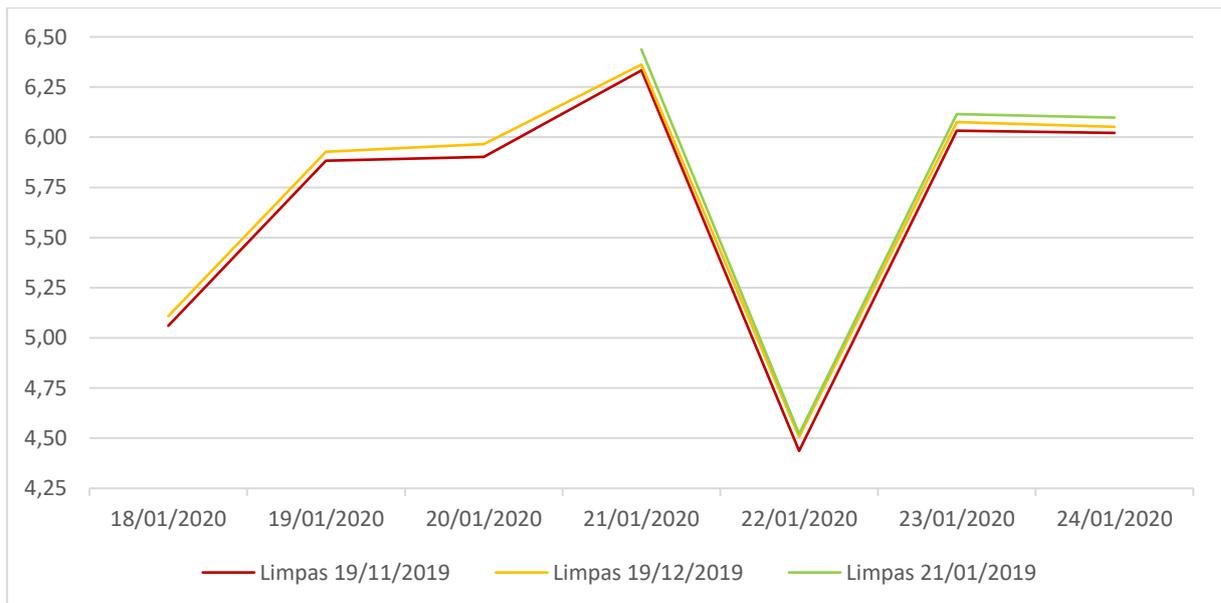
Produtividade mensal (21/01 – 20/02)				Taxa de desempenho (21/01 – 20/02)				
Y(19/11)	Y(19/12)	Y(21/01)		PR(19/11)	PR(19/12)	PR(21/01)		
110,72	112,10	112,65		79,41%	80,40%	80,79%		
Período	Produtividade mensal (21/01 – 20/02)				Taxa de desempenho (21/01 – 20/02)			
	Y(19/11)	Y(19/12)	Y(21/01)	Y(21/02)	Y(19/11)	Y(19/12)	Y(21/01)	Y(21/02)
1º mês	128,24	129,21	130,08	131,25	89,90%	90,58%	91,19%	92,01%
Resto	56,11	56,48	56,82	57,33	104,96%	105,66%	106,29%	107,23%

Fonte: Elaboração do autor.

Gráfico 16 Produtividade das *strings* de a-Si durante a semana da segunda limpeza.

Fonte: Elaboração do autor.

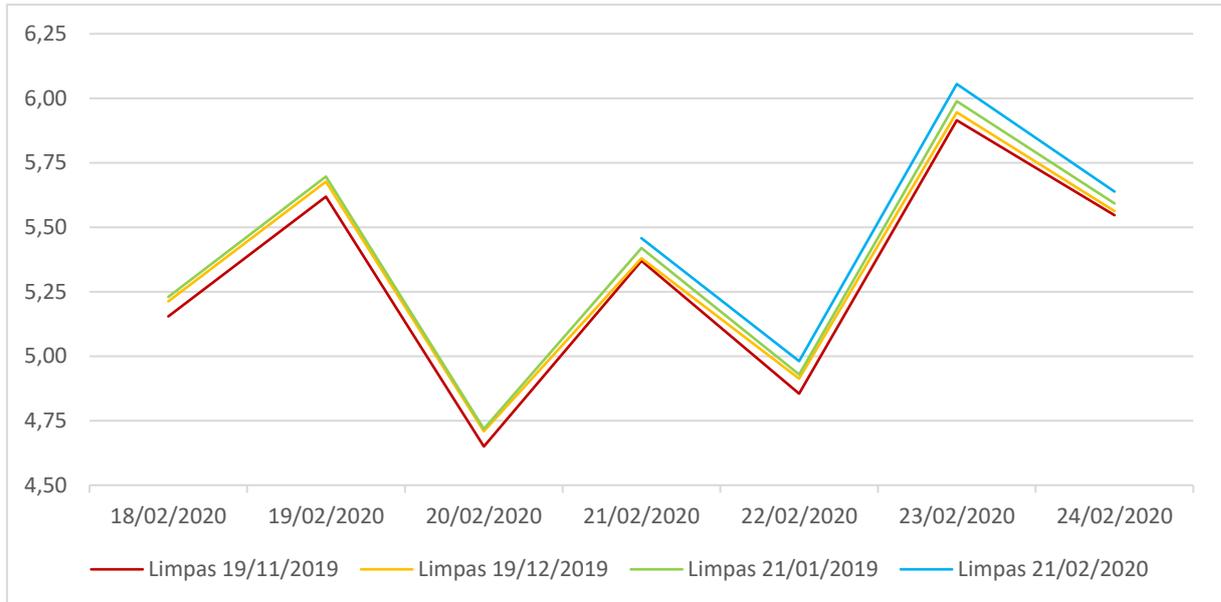
Durante o período entre 19 de dezembro e 18 de janeiro a produtividade das *strings* sujas e as recém lavadas variaram em média 1%, como pode ser observado na Tabela 25, porém, no segundo período entre os dias 21 de janeiro e 20 de fevereiro, o desempenho médio das *strings* lavadas no dia 19 de dezembro foi melhor que no período anterior sendo 1,62%, já as lavadas no dia 21 de janeiro tiveram uma diferença de 2,13% comparada as *strings* sujas.

Gráfico 17 Produtividade das *strings* de a-Si durante a semana da terceira limpeza.

Fonte: Elaboração do autor.

No último período da pesquisa, entre os dias 21 de fevereiro até 20 de março, a produtividade média comparando as *strings* sujas e das limpezas de dezembro, janeiro e fevereiro foram respectivamente: 1%, 1,82% e 2,68%.

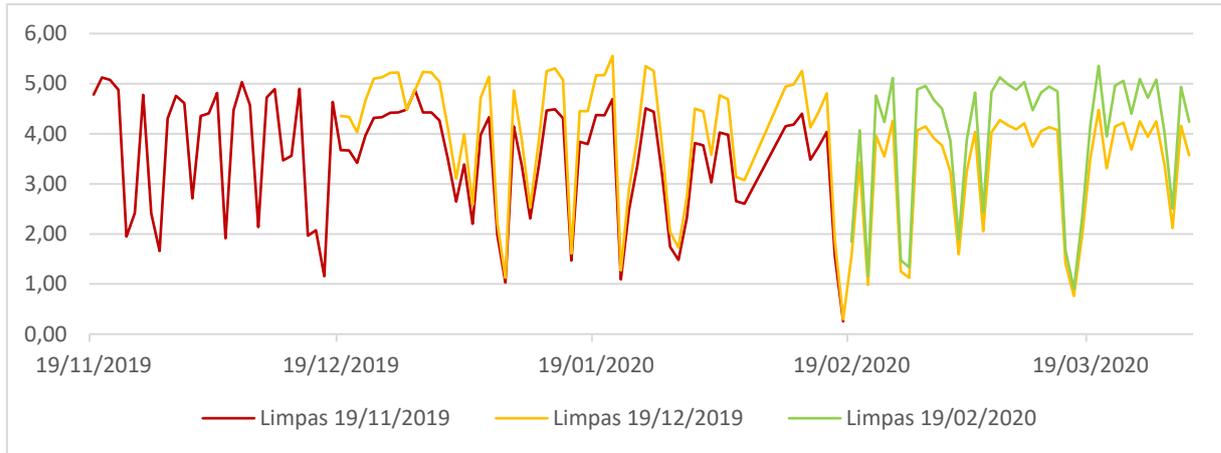
Gráfico 18 Produtividade das *strings* de a-Si durante a semana da quarta limpeza.



Fonte: Elaboração do autor.

3.5.4 Produtividade Multi/c-Si

Na Tabela 27 e Tabela 28 é exibida a produtividade total da tecnologia de Silício Policristalino durante os dias da pesquisa. É demonstrado, no Gráfico 19, a produtividade total descrita nessas tabelas e, para facilitar a análise gráfica durante os dias das limpezas a amostra gráfica é separada dentro do intervalo de uma semana (sete dias) deixando o dia de referência no meio do intervalo (quarto dia).

Gráfico 19 Produtividade das *strings* de Multi/c-Si no período da pesquisa.

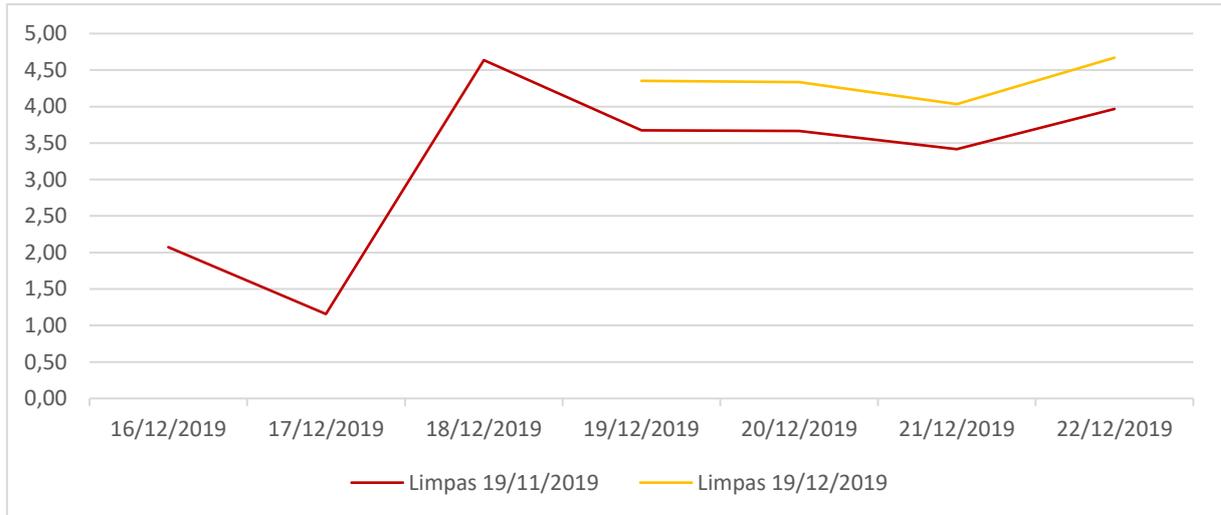
Elaboração do autor.

Tabela 27 Produtividade das *strings* de Multi/c-Si referente a primeira e segunda limpeza no período de 19/11/2019 até 18/02/2020.

Período	Limpas 19/11/2019 Yield	Período	Limpas 19/11/2019 Yield	Limpas 19/12/2019 Yield
19/11/2019	4,79	19/12/2019	3,68	4,35
20/11/2019	5,12	20/12/2019	3,66	4,33
21/11/2019	5,08	21/12/2019	3,42	4,03
22/11/2019	4,88	22/12/2019	3,97	4,67
23/11/2019	1,95	23/12/2019	4,32	5,10
24/11/2019	2,41	24/12/2019	4,33	5,13
25/11/2019	4,78	25/12/2019	4,42	5,21
26/11/2019	2,41	26/12/2019	4,43	5,22
27/11/2019	1,66	27/12/2019	4,11	4,86
28/11/2019	4,31	28/12/2019	4,41	5,21
29/11/2019	4,76	29/12/2019	4,43	5,24
30/11/2019	4,61	30/12/2019	4,42	5,22
01/12/2019	2,71	31/12/2019	4,27	5,04
02/12/2019	4,36	01/01/2020	3,50	4,12
03/12/2019	4,41	02/01/2020	2,64	3,11
04/12/2019	4,81	03/01/2020	3,38	3,99
05/12/2019	1,91	04/01/2020	2,20	2,58
06/12/2019	4,47	05/01/2020	3,98	4,72
07/12/2019	5,03	06/01/2020	4,33	5,14
08/12/2019	4,57	07/01/2020	1,98	2,21
09/12/2019	2,14	08/01/2020	1,03	1,13
10/12/2019	4,73	09/01/2020	4,14	4,87
11/12/2019	4,89	10/01/2020	3,36	3,88
12/12/2019	3,47	11/01/2020	2,31	2,53
13/12/2019	3,56	12/01/2020	3,33	3,82
14/12/2019	4,90	13/01/2020	4,46	5,25
15/12/2019	1,96	14/01/2020	4,49	5,31
16/12/2019	2,07	15/01/2020	4,31	5,08
17/12/2019	1,16	16/01/2020	1,47	1,61
18/12/2019	4,64	17/01/2020	3,84	4,45
		18/02/2020	0,25	0,30

Período	Produtividade		Taxa de desempenho	
	Y(19/11)	Y(19/12)	PR(19/11)	PR(19/12)
1º mês	112,41	131,84	67,29%	78,92%
2º mês	87,69	103,74	62,64%	74,11%

Elaboração do autor.

Gráfico 20 Produtividade das *strings* de Multi/c-Si durante a semana da segunda limpeza.

Elaboração do autor.

Tabela 28 Produtividade das *strings* de Multi/c-Si referente a segunda e terceira limpeza no período de 19/02/2019 até 31/03/2020.

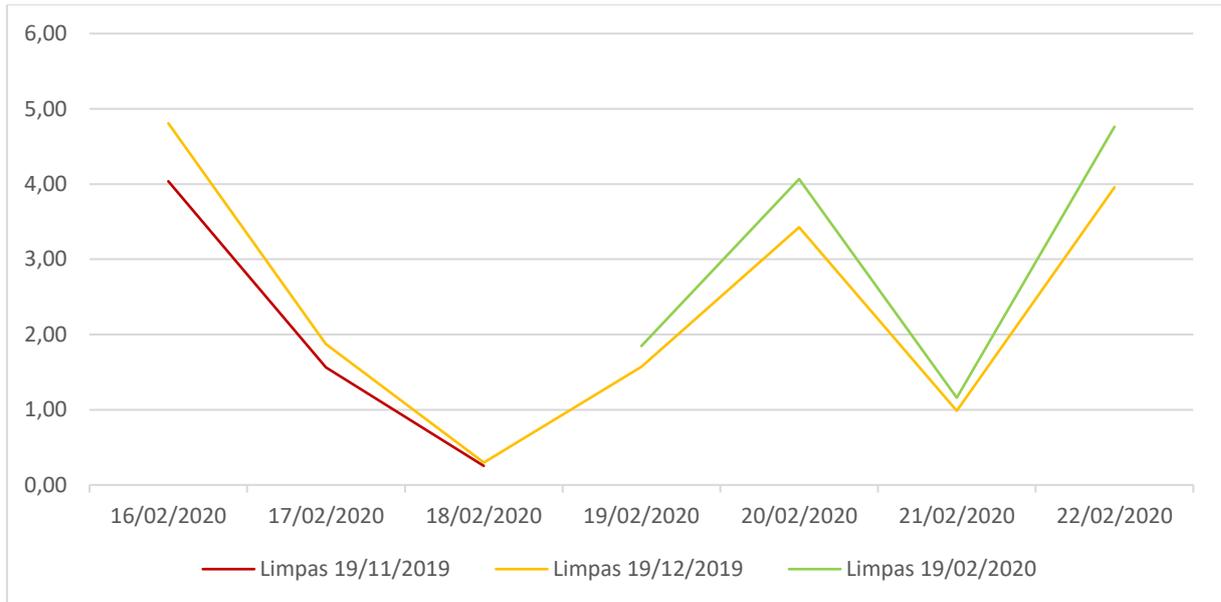
Período	Limpas 19/12/2019 Yield	Limpas 19/02/2020 Yield	Período	Limpas 19/12/2019 Yield	Limpas 19/02/2020 Yield
19/02/2020	1,57	1,85	19/03/2020	3,51	4,16
20/02/2020	3,43	4,07	20/03/2020	4,48	5,36
21/02/2020	0,98	1,16	21/03/2020	3,31	3,95
22/02/2020	3,96	4,76	22/03/2020	4,15	4,96
23/02/2020	3,55	4,23	23/03/2020	4,22	5,06
24/02/2020	4,26	5,11	24/03/2020	3,68	4,40
25/02/2020	1,25	1,47	25/03/2020	4,25	5,09
26/02/2020	1,13	1,33	26/03/2020	3,94	4,72
27/02/2020	4,07	4,88	27/03/2020	4,25	5,08
28/02/2020	4,14	4,95	28/03/2020	3,37	4,01
29/02/2020	3,91	4,67	29/03/2020	2,12	2,51
01/03/2020	3,77	4,50	30/03/2020	4,16	4,94
02/03/2020	3,24	3,87	31/03/2020	3,57	4,24
03/03/2020	1,60	1,89			
04/03/2020	3,25	3,87			
05/03/2020	4,03	4,82			
06/03/2020	2,06	2,44			
07/03/2020	4,03	4,84			
08/03/2020	4,27	5,12			
09/03/2020	4,17	4,98			
10/03/2020	4,09	4,88			
11/03/2020	4,21	5,03			
12/03/2020	3,74	4,47			
13/03/2020	4,05	4,82			
14/03/2020	4,13	4,94			
15/03/2020	4,08	4,84			
16/03/2020	1,41	1,67			
17/03/2020	0,76	0,90			
18/03/2020	1,98	2,34			

Período	Produtividade		Taxa de desempenho	
	Y(19/12)	Y(19/02)	PR(19/12)	PR(19/02)
1º mês	91,12	108,72	63,71%	76,01%
Resto	49,00	58,47	77,55%	92,54%

Elaboração do autor.

No Gráfico 20, referente a semana da segunda limpeza, é possível observar que a diferença de produtividade das *strings* sujas e limpas é maior que nas tecnologias vistas anteriormente no próprio dia da limpeza. No período de 19 de dezembro a 18 de janeiro, as diferenças de produtividade observadas foram de 14,3% e, no próximo período até o dia 18 de fevereiro foi um pouco maior que 15,4%.

Gráfico 21 Produtividade das *strings* de Multi/c-Si durante a semana da terceira limpeza.

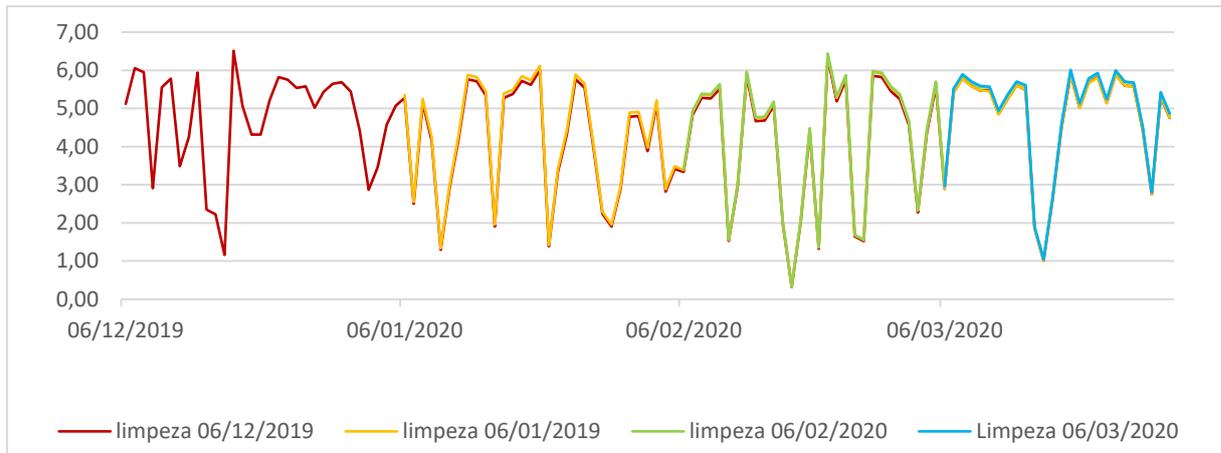


Elaboração do autor.

No Gráfico 21 referente a semana da terceira limpeza, observa-se entre os dias 17 e 18 de fevereiro, data próxima a limpeza seguinte, que a limpeza e a produtividade das *strings* lavadas em novembro e dezembro começavam a se aproximar. Na Tabela 28 é possível ver que as duas *strings* estão com um distanciamento de limpeza de dois meses e, a média da produtividade no primeiro mês de amostra é de 16%, porém, dos dias seguintes até o dia 31 de março foi de 16,2%.

3.5.5 Produtividade de CIGS

Nas tabelas a seguir e no Gráfico 22 estão descritos a produtividade das *strings* da tecnologia Cobre-Índio-Gálio-Selênio durante o tempo de estudo, para facilitar a análise gráfica durante os dias das limpezas a amostra gráfica é separada dentro do intervalo de uma semana (sete dias) deixando o dia de referência no meio do intervalo (quarto dia).

Gráfico 22 Produtividade das *strings* de CIGS no período da pesquisa.

Elaboração do autor.

Tabela 29 Produtividade das *strings* de CIGS referente a primeira e segunda limpeza no período de 06/12/2019 até 05/02/2020.

Período	limpeza 06/12/2019 Yield	Período	limpeza 06/12/2019 Yield	limpeza 06/01/2019 Yield
06/12/2019	5,12	06/01/2020	5,28	5,35
07/12/2019	6,05	07/01/2020	2,50	2,55
08/12/2019	5,94	08/01/2020	5,14	5,25
09/12/2019	2,91	09/01/2020	4,15	4,25
10/12/2019	5,55	10/01/2020	1,30	1,33
11/12/2019	5,78	11/01/2020	2,94	3,01
12/12/2019	3,49	12/01/2020	4,22	4,32
13/12/2019	4,25	13/01/2020	5,76	5,88
14/12/2019	5,94	14/01/2020	5,71	5,82
15/12/2019	2,35	15/01/2020	5,34	5,45
16/12/2019	2,23	16/01/2020	1,91	1,95
17/12/2019	1,16	17/01/2020	5,28	5,39
18/12/2019	6,51	18/01/2020	5,37	5,49
19/12/2019	5,06	19/01/2020	5,72	5,84
20/12/2019	4,32	20/01/2020	5,62	5,74
21/12/2019	4,32	21/01/2020	6,00	6,11
22/12/2019	5,21	22/01/2020	1,38	1,42
23/12/2019	5,82	23/01/2020	3,33	3,41
24/12/2019	5,76	24/01/2020	4,33	4,42
25/12/2019	5,54	25/01/2020	5,76	5,89
26/12/2019	5,57	26/01/2020	5,55	5,65
27/12/2019	5,02	27/01/2020	3,96	4,05
28/12/2019	5,43	28/01/2020	2,24	2,29
29/12/2019	5,65	29/01/2020	1,91	1,96
30/12/2019	5,69	30/01/2020	2,89	2,96
31/12/2019	5,45	31/01/2020	4,78	4,89
01/01/2020	4,43	01/02/2020	4,80	4,91
02/01/2020	2,87	02/02/2020	3,88	3,97
03/01/2020	3,46	03/02/2020	5,11	5,21
04/01/2020	4,57	04/02/2020	2,82	2,89
05/01/2020	5,07	05/02/2020	3,41	3,49

Produtividade mensal		Taxa de desempenho mensal	
Y(06/12)	Y(06/01)	PR(06/12)	PR(06/01)
128,42	131,15	78,39%	80,05%

Elaboração do autor.

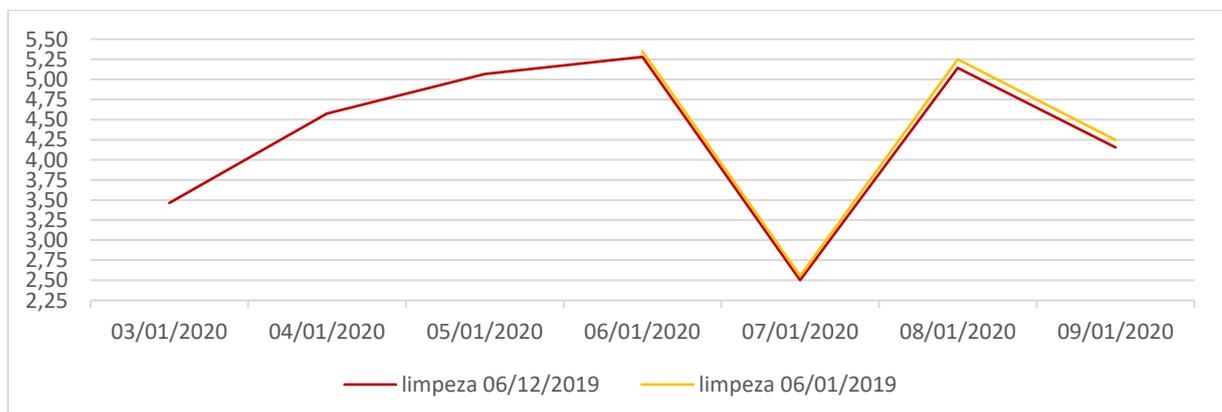
Tabela 30 Produtividade das *strings* de CIGS referente a primeira, segunda, terceira e quarta limpeza no período de 06/02/2019 até 31/03/2020

Período	limpeza 06/12 Yield	limpeza 06/01 Yield	limpeza 06/02 Yield	Período	limpeza 06/12 Yield	limpeza 06/01 Yield	limpeza 06/02 Yield	Limpeza 06/03 Yield
06/02/2020	3,34	3,39	3,40	06/03/2020	2,90	2,90	2,96	2,97
07/02/2020	4,83	4,91	4,93	07/03/2020	5,42	5,40	5,50	5,52
08/02/2020	5,28	5,37	5,39	08/03/2020	5,79	5,78	5,87	5,89
09/02/2020	5,26	5,34	5,37	09/03/2020	5,58	5,58	5,67	5,70
10/02/2020	5,51	5,61	5,63	10/03/2020	5,46	5,47	5,55	5,58
11/02/2020	1,53	1,55	1,56	11/03/2020	5,48	5,45	5,55	5,57
12/02/2020	2,96	3,01	3,02	12/03/2020	4,86	4,84	4,92	4,95
13/02/2020	5,84	5,94	5,97	13/03/2020	5,25	5,25	5,33	5,36
14/02/2020	4,67	4,75	4,77	14/03/2020	5,61	5,59	5,68	5,71
15/02/2020	4,69	4,76	4,78	15/03/2020	5,48	5,49	5,58	5,61
16/02/2020	5,07	5,16	5,18	16/03/2020	1,85	1,85	1,89	1,90
17/02/2020	2,00	2,04	2,05	17/03/2020	1,01	1,02	1,05	1,05
18/02/2020	0,32	0,33	0,33	18/03/2020	2,62	2,61	2,66	2,67
19/02/2020	2,03	2,07	2,08	19/03/2020	4,51	4,51	4,59	4,62
20/02/2020	4,40	4,46	4,48	20/03/2020	5,87	5,88	5,98	6,01
21/02/2020	1,32	1,36	1,36	21/03/2020	5,02	5,01	5,10	5,13
22/02/2020	6,33	6,41	6,44	22/03/2020	5,68	5,66	5,76	5,79
23/02/2020	5,19	5,28	5,31	23/03/2020	5,82	5,81	5,91	5,93
24/02/2020	5,75	5,85	5,87	24/03/2020	5,14	5,13	5,22	5,24
25/02/2020	1,64	1,68	1,68	25/03/2020	5,89	5,87	5,97	6,00
26/02/2020	1,52	1,55	1,56	26/03/2020	5,59	5,60	5,69	5,71
27/02/2020	5,86	5,95	5,98	27/03/2020	5,58	5,56	5,66	5,68
28/02/2020	5,82	5,91	5,94	28/03/2020	4,43	4,42	4,50	4,52
29/02/2020	5,46	5,54	5,58	29/03/2020	2,74	2,74	2,79	2,80
01/03/2020	5,25	5,35	5,37	30/03/2020	5,30	5,32	5,40	5,43
02/03/2020	4,57	4,66	4,68	31/03/2020	4,75	4,76	4,84	4,87
03/03/2020	2,27	2,33	2,34					
04/03/2020	4,36	4,43	4,46					
05/03/2020	5,58	5,67	5,71					

Produtividade mensal			Taxa de desempenho mensal				
Y(06/12)	Y(06/01)	Y(06/02)	PR(06/12)	PR(06/01)	PR(06/02)		
118,64	120,66	121,22	81,54%	82,93%	83,32%		
Produtividade 06/03 – 31/03			Taxa de desempenho 06/03 – 31/03				
Y(06/12)	Y(06/01)	Y(06/02)	Y(06/03)	PR(06/12)	PR(06/01)	PR(06/02)	PR(06/03)
123,64	123,52	125,60	126,22	97,84%	97,75%	99,40%	99,89%

Elaboração do autor.

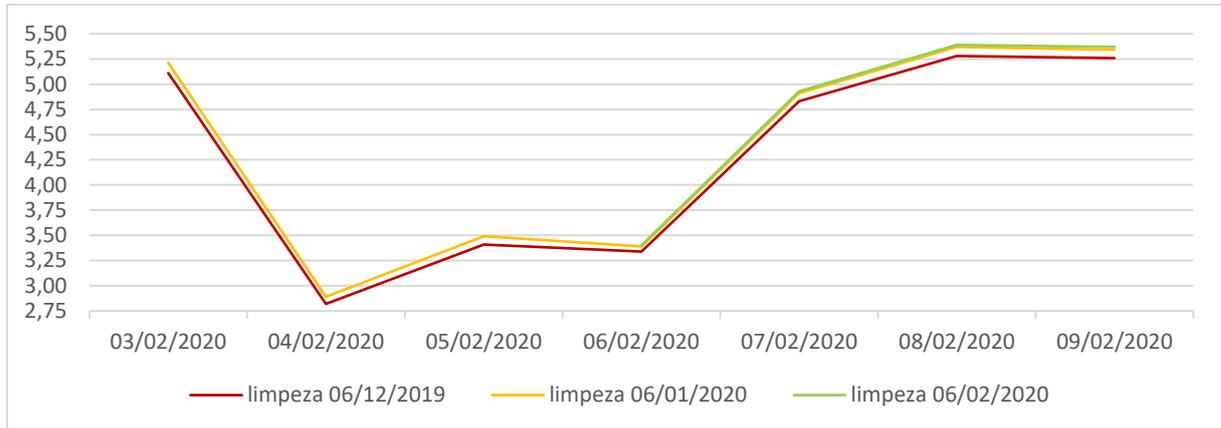
Gráfico 23 Produtividade das *strings* de CIGS durante a semana da segunda limpeza.



Elaboração do autor.

Relacionando o Gráfico 23 e a Tabela 29 identifica-se a diferença da produtividade das *strings* com um mês de diferença entre limpezas, no intervalo de tempo de 6 de janeiro até 5 de fevereiro a diferença de produtividade média foi de aproximadamente 2,1%.

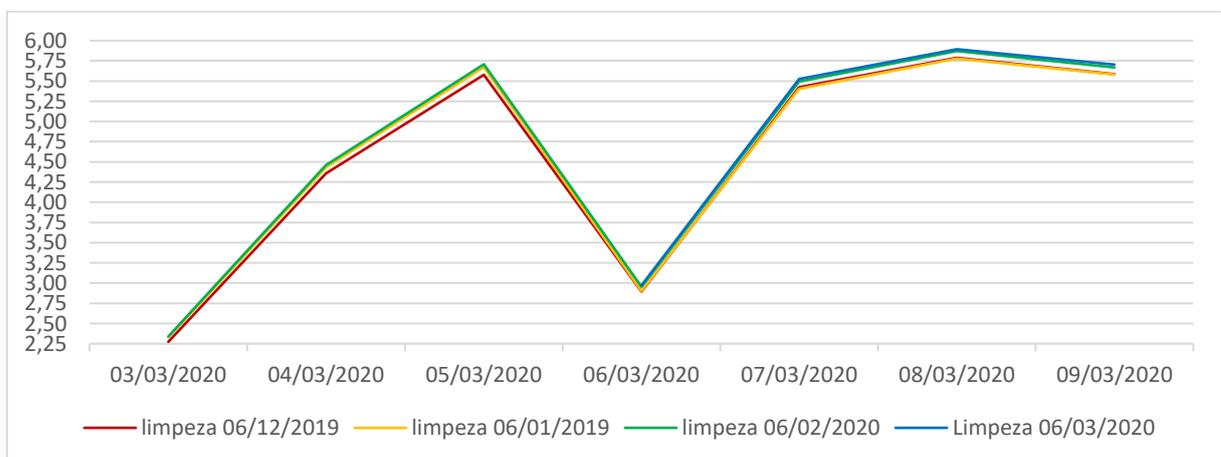
Gráfico 24 Produtividade das *strings* de CIGS durante a semana da terceira limpeza.



Elaboração do autor.

No Gráfico 24 observa-se que a produtividade das *strings* que receberam limpeza em fevereiro está muito próxima a de *strings* que receberam limpeza em janeiro, pode-se observar ainda pela Tabela 30 que durante o período a diferença média de produtividade entre a segunda e terceira limpeza foi de aproximadamente 1%, assim repetindo o comportamento do período anterior. Quando comparado com o intervalo de um mês de limpeza, a diferença média da produtividade entre as *strings* limpas em dezembro e janeiro foi de 1,8 % e de dezembro e fevereiro foi de 2,2%.

Gráfico 25 Produtividade das *strings* de CIGS durante a semana da quarta limpeza.



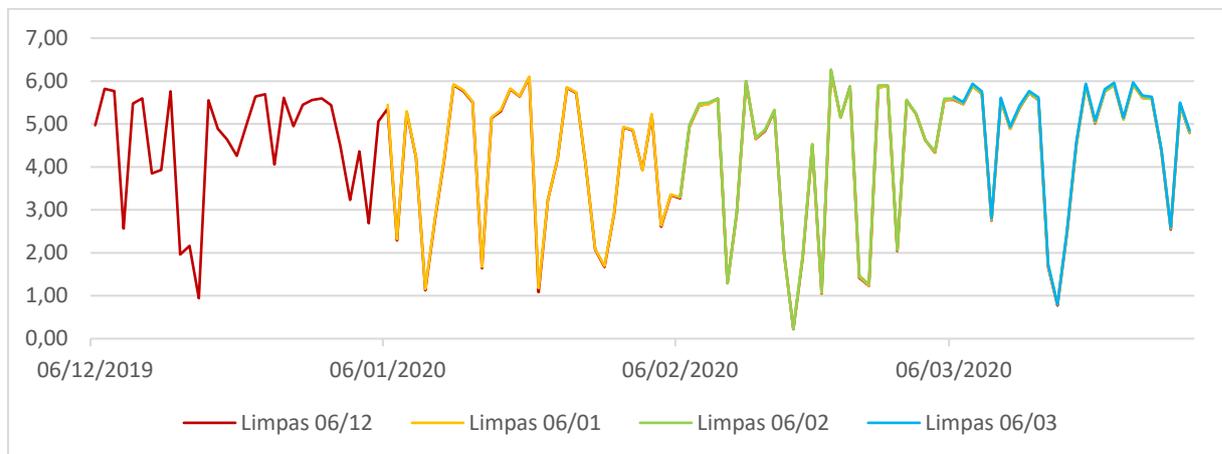
Elaboração do autor.

Ainda na Tabela 30 é possível observar que as *strings* das limpezas de janeiro e fevereiro, que tinham pouca diferença de produtividade, começam no final do período passado (5 de março) a se distanciarem, tendência essa que é mantida até 31 de março. No período de 6 a 31 de março as limpezas de março, fevereiro e janeiro tiveram uma produtividade média de 2,1%, 1,6% e -0,065% em comparação as *strings* sujas.

3.5.6 Produtividade de a-Si/ μ c-Si

A seguir, é discutido sobre a produtividade da última das tecnologias estudadas no Gráfico 26, onde é possível verificar a produtividade no período da pesquisa dos módulos de Silício Microcristalino/Amorfo. Nesse gráfico já é possível observar que existe pouca diferença de produtividade entre as *strings* limpas e sujas. Para facilitar a análise gráfica durante os dias das limpezas a amostra gráfica é separada dentro do intervalo de uma semana (sete dias) deixando o dia de referência no meio do intervalo (quarto dia).

Gráfico 26 Produtividade das *strings* de a-Si/ μ c-Si no período da pesquisa.



Elaboração do autor.

Na Tabela 31 é possível comparar a produtividade média da primeira e da segunda limpeza, onde é observado uma diferença de 0,9%. No dia 22 de janeiro a diferença foi de quase 8%, enquanto na maior parte dos dias não chegou a 0,5% e, ainda dias em que as *strings* sujas foram um pouco mais produtivas.

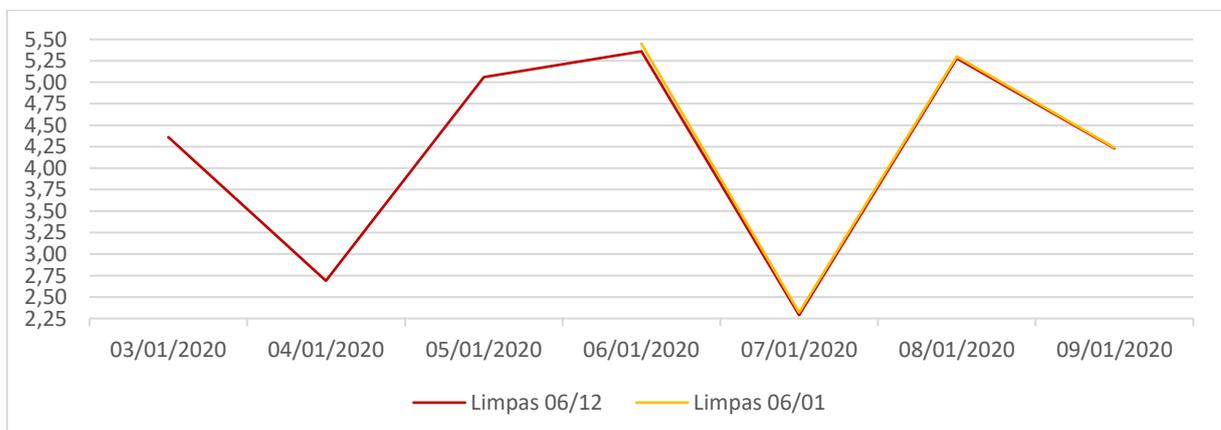
Tabela 31 Produtividade das *strings* de a-Si/ μ c-Si referente a primeira e segunda limpeza no período de 06/12/2019 até 05/02/2020.

Período	Limpas 06/12/2019 Yield	Período	Limpas 06/12/2019 Yield	Limpas 06/01/2020 Yield
06/12/2019	4,97	06/01/2020	5,36	5,45
07/12/2019	5,82	07/01/2020	2,29	2,32
08/12/2019	5,77	08/01/2020	5,28	5,30
09/12/2019	2,56	09/01/2020	4,23	4,24
10/12/2019	5,48	10/01/2020	1,13	1,16
11/12/2019	5,60	11/01/2020	2,77	2,80
12/12/2019	3,85	12/01/2020	4,18	4,21
13/12/2019	3,93	13/01/2020	5,91	5,92
14/12/2019	5,76	14/01/2020	5,77	5,79
15/12/2019	1,96	15/01/2020	5,51	5,52
16/12/2019	2,16	16/01/2020	1,64	1,67
17/12/2019	0,94	17/01/2020	5,14	5,16
18/12/2019	5,55	18/01/2020	5,30	5,33
19/12/2019	4,89	19/01/2020	5,81	5,83
20/12/2019	4,64	20/01/2020	5,64	5,65
21/12/2019	4,26	21/01/2020	6,09	6,10
22/12/2019	4,96	22/01/2020	1,08	1,18
23/12/2019	5,64	23/01/2020	3,24	3,25
24/12/2019	5,69	24/01/2020	4,18	4,19
25/12/2019	4,06	25/01/2020	5,84	5,86
26/12/2019	5,61	26/01/2020	5,72	5,74
27/12/2019	4,95	27/01/2020	4,01	4,02
28/12/2019	5,45	28/01/2020	2,07	2,09
29/12/2019	5,56	29/01/2020	1,67	1,69
30/12/2019	5,60	30/01/2020	2,91	2,93
31/12/2019	5,44	31/01/2020	4,92	4,93
01/01/2020	4,48	01/02/2020	4,85	4,87
02/01/2020	3,23	02/02/2020	3,93	3,92
03/01/2020	4,36	03/02/2020	5,21	5,23
04/01/2020	2,69	04/02/2020	2,61	2,64
05/01/2020	5,06	05/02/2020	3,34	3,36

Produtividade mensal		Taxa de desempenho mensal	
Y(06/12)	Y(06/01)	PR(06/12)	PR(06/01)
127,63	128,34	77,91%	78,34%

Elaboração do autor.

Gráfico 27 Produtividade das *strings* de a-Si/ μ c-Si durante a semana da segunda limpeza.



Elaboração do autor.

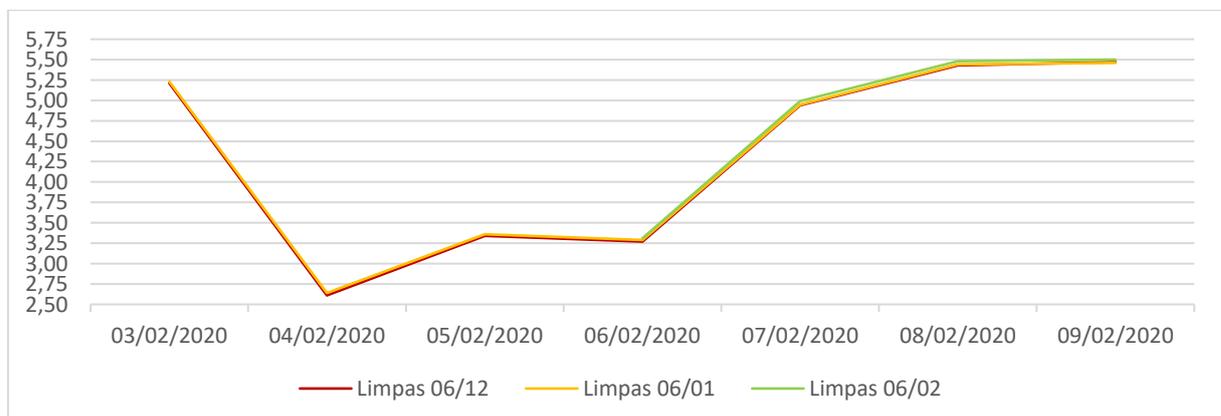
Tabela 32 Produtividade das *strings* de a-Si/ μ c-Si referente a primeira, segunda, terceira e quarta limpeza no período de 06/02/2019 até 31/03/2020.

Período	Limpas 06/12 Yield	Limpas 06/01 Yield	Limpas 06/02 Yield	Período	Limpas 06/12 Yield	Limpas 06/01 Yield	Limpas 06/02 Yield	Limpas 06/03 Yield
06/02/2020	3,27	3,29	3,31	06/03/2020	5,57	5,58	5,60	5,64
07/02/2020	4,94	4,95	4,99	07/03/2020	5,46	5,46	5,48	5,51
08/02/2020	5,43	5,44	5,48	08/03/2020	5,89	5,88	5,90	5,94
09/02/2020	5,47	5,46	5,50	09/03/2020	5,70	5,71	5,72	5,76
10/02/2020	5,59	5,59	5,60	10/03/2020	2,75	2,76	2,79	2,80
11/02/2020	1,29	1,29	1,30	11/03/2020	5,56	5,56	5,57	5,61
12/02/2020	2,92	2,93	2,95	12/03/2020	4,89	4,89	4,91	4,94
13/02/2020	5,99	5,98	6,00	13/03/2020	5,38	5,39	5,40	5,44
14/02/2020	4,65	4,66	4,68	14/03/2020	5,72	5,72	5,73	5,77
15/02/2020	4,84	4,86	4,87	15/03/2020	5,56	5,57	5,58	5,62
16/02/2020	5,31	5,32	5,33	16/03/2020	1,67	1,69	1,72	1,72
17/02/2020	1,99	1,99	1,99	17/03/2020	0,77	0,79	0,81	0,80
18/02/2020	0,22	0,23	0,23	18/03/2020	2,43	2,43	2,46	2,47
19/02/2020	1,88	1,91	1,94	19/03/2020	4,55	4,55	4,57	4,60
20/02/2020	4,50	4,52	4,53	20/03/2020	5,90	5,89	5,93	5,94
21/02/2020	1,05	1,07	1,10	21/03/2020	5,02	5,03	5,04	5,08
22/02/2020	6,23	6,21	6,27	22/03/2020	5,76	5,76	5,76	5,81
23/02/2020	5,15	5,14	5,16	23/03/2020	5,91	5,90	5,91	5,96
24/02/2020	5,87	5,86	5,87	24/03/2020	5,11	5,10	5,12	5,15
25/02/2020	1,42	1,44	1,46	25/03/2020	5,92	5,91	5,93	5,97
26/02/2020	1,23	1,24	1,27	26/03/2020	5,61	5,61	5,63	5,66
27/02/2020	5,86	5,86	5,90	27/03/2020	5,59	5,58	5,59	5,63
28/02/2020	5,89	5,88	5,90	28/03/2020	4,36	4,37	4,39	4,41
29/02/2020	2,04	2,06	2,07	29/03/2020	2,54	2,56	2,58	2,59
01/03/2020	5,54	5,54	5,57	30/03/2020	5,45	5,45	5,48	5,50
02/03/2020	5,24	5,24	5,24	31/03/2020	4,79	4,80	4,81	4,85
03/03/2020	4,62	4,62	4,63					
04/03/2020	4,33	4,34	4,36					
05/03/2020	5,56	5,56	5,59					

Período	Produtividade			Taxa de desempenho				
	Y(06/12)	Y(06/01)	Y(06/02)	PR(06/12)	PR(06/01)	PR(06/02)		
06/02 – 05/03	118,32	118,47	119,06	81,33%	81,43%	81,84%		
Período	Produtividade				Taxa de desempenho			
	Y(06/12)	Y(06/01)	Y(06/02)	Y(06/03)	PR(06/12)	PR(06/01)	PR(06/02)	PR(06/03)
06/03 – 31/03	123,85	123,93	124,41	125,16	98,01%	98,08%	98,45%	99,05%

Elaboração do autor.

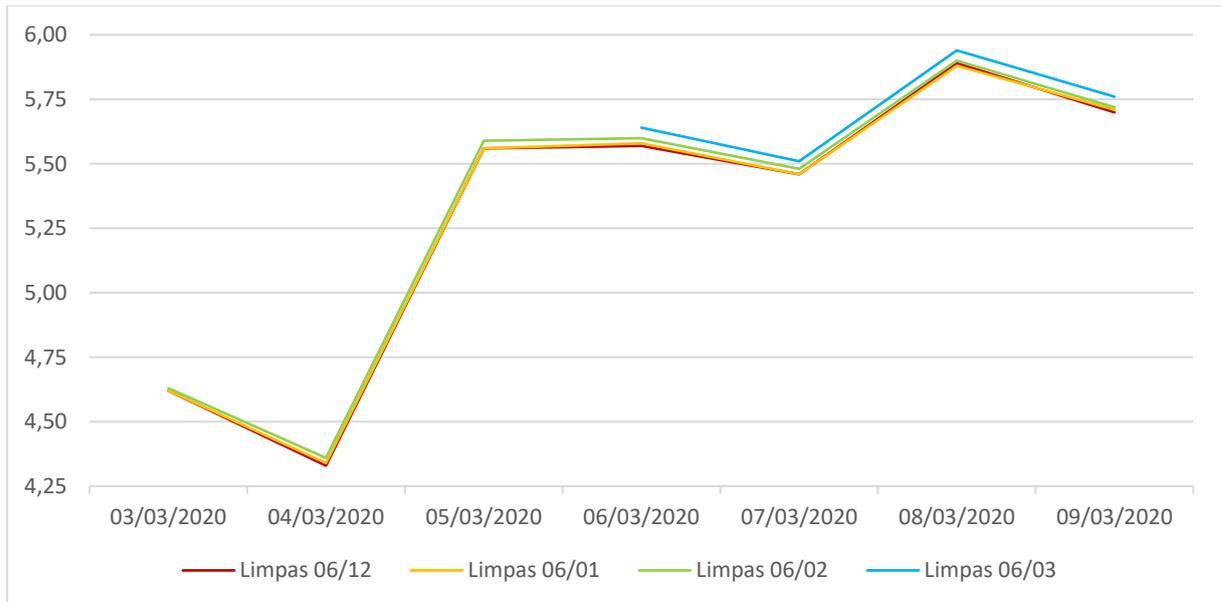
Gráfico 28 Produtividade das *strings* de a-Si/ μ c-Si durante a semana da terceira limpeza.



Elaboração do autor.

Relacionando a Tabela 32 e o Gráfico 28 é possível observar que o comportamento segue parecido ao do período anterior, com pouca diferença entre a produtividade das *strings* mais sujas e limpas, sendo que a diferença de produtividade foi de 1% e 0,4% nas *strings* limpas em fevereiro e janeiro em relação as limpas em dezembro.

Gráfico 29 Produtividade das *strings* de a-Si/ μ c-Si durante a semana da quarta limpeza.



Elaboração do autor.

A quarta limpeza, que compara 3 meses de diferença, a produtividade teve uma diferença parecida com a anterior em que foi comparado 2 meses, sendo a diferença média de produtividade entre março e dezembro de 1,2%, para fevereiro e janeiro a diferença foi de 0,7% e 0,2% respectivamente.

4 DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE LIMPEZA IDEAL

Nesse capítulo, serão comparados os dados obtidos pelas amostragens de fator de capacidade que analisa a quantidade de energia elétrica gerada conforme o tempo de operação, a figura de mérito que busca o diferencial de potência máxima das *strings* analisadas e a produtividade, além da taxa de desempenho que buscam comparar a energia elétrica gerada com a potência instalada. Para facilitar a determinação do intervalo do tempo de limpeza as tecnologias serão analisadas separadamente no decorrer do capítulo.

4.1 DETERMINAÇÃO DO TEMPO IDEAL PARA A TECNOLOGIA DE CDTE

Analisando os dados obtidos para a tecnologia de Telureto de Cadmo observa-se que a limpeza inicial aumentou consideravelmente o fator de capacidade do sistema, nos últimos dois meses as *strings* estavam com o fator de capacidade de aproximadamente 16% chegando já no mês da limpeza a alcançar 19,62%. No período após a quarta limpeza programada é possível verificar que as duas primeiras *strings* a serem limpas, que contam com um mês de diferença de limpeza, apresentam praticamente a mesma produtividade média e, no próximo período o comportamento se repete. Ainda no período após a quinta limpeza, a terceira *string* limpa ficou com 1% de diferença de produtividade das duas primeiras a serem limpas.

Analisando o ganho percentual de potência máxima observamos que após 4 meses as duas primeiras *strings* a serem limpas se comportaram de forma muito parecida, com uma diferença menor que 1%. Com a análise do GP de potência máxima e da produtividade pode-se deduzir que as *strings* de CdTe perdem a maior parte da sua eficiência após 3 meses de limpeza.

4.2 DETERMINAÇÃO DO TEMPO IDEAL PARA A TECNOLOGIA DE MONO/C-SI

A tecnologia de Silício monocristalino apresentou pouca diferença de desempenho nas quatro análises de produtividade, chegando à diferença máxima de 2% em alguns poucos dias. Vale ressaltar que esses módulos estavam com um baixo fator de capacidade, até mesmo após as limpezas se iniciarem, como o fator de capacidade se manteve praticamente o mesmo durante o mês de Agosto de 2019 a Março de 2020, é possível que tais características tenham se mantido assim por degradação dos módulos de Mono/c-Si, que visivelmente são os mais danificadas na UF-PAES. Desse modo seja pelo intervalo de tempo da pesquisa que foi menor

que o previsto ou pelos módulos danificados, não foi possível apontar com quanto tempo os módulos irão ter uma perda de produtividade perceptível.

4.3 DETERMINAÇÃO DO TEMPO IDEAL PARA A TECNOLOGIA DE A-SI

Para os módulos de Silício Amorfo o fator de capacidade estava entre 14% e 16% antes de serem iniciadas as limpezas, aumentando no mês da limpeza para um pouco mais de 18%. Após um mês de coleta de dados as *strings* com um mês de diferença de limpeza não apresentaram grande variedade na produtividade, as diferenças foram próximas de 1% nas três análises realizadas.

Strings com dois meses de diferença de limpeza são apresentadas em duas análises distintas. Entre as *strings* da primeira e terceira limpeza, após um mês da terceira lavagem, a diferença da produtividade foi em média de 2% caindo para 1,42% após mais de um mês e 1,12% até o fim da pesquisa em 31 de março. A outra limpeza comparando dois meses de diferença foi entre as *strings* da segunda e quarta limpeza, que após um mês da quarta limpeza obteve uma diferença média de produtividade de 1,7% diminuindo até dia 31 de março para 1,47%, valores próximos ao comportamento da análise anterior.

A análise de três meses de diferença foi realizada entre a primeira e quarta limpeza e nela é possível notar que no primeiro mês há uma diferença de produtividade de 2,68% e, no período seguinte até 31 de março houve uma diferença média de 2,2%.

Através dos dados obtidos, verificou-se que pelo ganho percentual da potência máxima as *strings* com um mês de diferença nas limpezas tiveram uma queda de ganho percentual no primeiro mês de 2,9% para 0,4% no terceiro mês, logo, pode-se concluir através do ganho percentual de potência máxima que um tempo ideal entre as limpezas seria de 3 meses. Contudo é interessante estender o tempo da pesquisa para relacionar os dados do ganho percentual com a diferença de produtividade para chegar em um resultado mais preciso.

4.4 DETERMINAÇÃO DO TEMPO IDEAL PARA A TECNOLOGIA DE MULTI/C-SI

A outra tecnologia de silício de cristalino no UF-PAES é a de silício policristalino, possuía uma taxa de desempenho de aproximadamente 71% após a primeira limpeza quando as duas *strings* foram limpas e estavam praticamente equilibradas. Após um mês uma das *strings* foi limpa e com isso houve uma diferença na taxa de desempenho bastante relevante, na *string* limpa em novembro foi de 67% e na limpa em dezembro aproximadamente 79%, após dois

meses da limpeza de dezembro ambas taxas de desempenho abaixaram para 62% e 74% respectivamente na ordem de limpeza, a análise mostra que a primeira *string* teve uma queda bem mais rápida da taxa de produtividade, já que no segundo mês após a limpeza estava em 67% enquanto a segunda *string* no mesmo tempo estava em 74%. Essa mudança se deve a possibilidade de diferentes quantidades de sujidades acumuladas nos módulos da primeira limpeza se acumularam em maior quantidade em menor espaço de tempo. Analisando agora o ganho percentual de potência máxima temos em média uma melhora de quase 16 % no primeiro mês em relação aos módulos limpos entre novembro e dezembro e um pouco mais de 16,5% no segundo mês.

No mês fevereiro os módulos da *string* que haviam sido lavados em novembro foram novamente limpos, a partir disso tivemos a diferença de dados para *strings* com dois meses de diferença de limpeza, a taxa de desempenho média no primeiro período de um mês após a limpeza foi de quase 67% para a *string* limpa em dezembro e 76% para a limpa em fevereiro, após os próximos 12 dias, período que foi possível observar com controle de pesquisa, a taxa de desempenho média aumentou para as duas *strings* respectivamente em ordem de tempo de limpeza o aumento foi 77,5% e 92,5%. O ganho percentual de potência máxima deve uma diferença de desempenho de 16,8% e 17% no primeiro e segundo períodos das coletas de dados.

Para definir um tempo com maior precisão a pesquisa deveria se prolongar um pouco mais, seria recomentado para observar o comportamento da taxa de desempenho já que ao contrário da tendência de diminuir no último intervalo da pesquisa ela aumentou, abstendo a última amostra da taxa de desempenho, as *strings* mostraram um comportamento na queda de desempenho entre o segundo e o terceiro mês após a limpeza, sendo essa queda de 74~79% para 62~67%.

4.5 DETERMINAÇÃO DO TEMPO IDEAL PARA A TECNOLOGIA DE CIGS

A tecnologia de Cobre-Índio-Gálio-Selênio possuía um fator de capacidade mais baixo antes das limpezas se iniciarem, entretanto, no mês de agosto a tecnologia teve um desempenho acima do esperado, onde se previa um desempenho pior conforme a quantidade de irradiação estimada no local, como visto no Gráfico 3. O desempenho foi melhor, inclusive, que quando comparado ao mês de novembro, último mês antes da limpeza.

No mês de dezembro, quando foi realizada a limpeza total, o fator de capacidade subiu de aproximadamente 16% para 20%, após a primeira limpeza individual de *string* no mês

de janeiro a diferença entre as potências máximas das duas *strings* no primeiro mês foi de 2,9%, seguida por uma queda de 1,6% e 0,4% no segundo mês. No período seguinte, que durou 25 dias, a queda da máxima potência quando comparada a limpeza inicial e a realizada em fevereiro, foi no primeiro mês de 4% e 1,41% no período dos próximos 25 dias, assim demonstrando que este módulo se expôs a condições que condicionaram a diminuição mais rápida da diferença entre as potências máximas.

Verificando a produtividade dos módulos quando comparado *strings* limpas em dezembro e janeiro, três meses após a segunda lavagem, a diferença da produtividade média muda de 2,1% no primeiro mês para praticamente 0% no terceiro mês. Com isso, somado ao fato de o ganho percentual de potência máxima ser praticamente 0%, pode-se chegar à conclusão de que 3 meses é um intervalo ideal para se repetir as limpezas nessa tecnologia.

4.6 DETERMINAÇÃO DO TEMPO IDEAL PARA A TECNOLOGIA DE A-SI/ μ C-SI

Referente a tecnologia de silício amorfo/microcristalino, era esperado que no mês de fevereiro houvesse um fator de capacidade menor que no mês de novembro, se mantido as condições. Contudo foi superior e, ao analisar os dados coletados observou-se que após a primeira limpeza o fator de capacidade diminuiu, apesar da tendência de se manter próximo ou aumentar devido a limpeza.

Referente a potência máxima das *strings*, a diferença percentual das *strings* limpas em janeiro e fevereiro foi em média no primeiro mês de 3,9% tendo uma diminuição no segundo mês para 2,7% e 2,4% no terceiro mês. A diferença de produtividade nesses intervalos de tempo foram respectivamente 0,9%, 0,4% e 0,2%. Comparando os dados das *strings* com dois meses de diferença de limpeza, notou-se que após um mês a potência máxima teve uma diferença de 4,8% e após dois meses 3,8%, já a diferença de produtividade foi de 1% no primeiro mês para 0,7% no segundo mês. Na diferença entre três meses de limpeza, onde o período de análise foi de 25 dias, a diferença entre as potências máximas foi de aproximadamente 5,8% com uma diferença média de produtividade de 1,2%.

O intervalo de tempo de limpeza na pesquisa para essa tecnologia não foi satisfatório, contudo, existe uma grande similaridade na tecnologia de silício amorfo/microcristalino com a de silício amorfo e, considerando esse fato, é possível considerar e indicar o intervalo de três meses entre as limpezas. Porém, como é possível observar no tempo da pesquisa, a diferença de ganho de potência máxima no intervalo de 3 meses e a taxa de desempenho se mantiveram próximas em ambas *strings*.

5 CONCLUSÃO

Através da análise dos dados obtidos, sobre o estudo de comportamento dos sistemas fotovoltaicos de diferentes tecnologias e variados intervalos de tempo de exposição ao acúmulo de sujeira, foi possível traçar o comportamento dos módulos referente ao tempo de limpeza e observar comportamentos que tendem a se repetir após um ciclo de tempo.

O acúmulo de sujeira nos módulos fotovoltaicos estabelece ligação direta ao declínio de desempenho do sistema, onde na maior parte das análises feitas a sujidade foi decisiva na queda de eficiência. Sendo que, há uma diminuição na fração da luz que chega nas células fotovoltaicas com o acúmulo de sujidade, devido ao espalhamento da radiação incidente, assim limitando a geração de energia elétrica e eficiência dos módulos. Logo, é importante delimitar um tempo de limpeza para garantir uma máxima eficiência do sistema.

Os objetivos dessa pesquisa foram fornecer dados sobre como o acúmulo de sujeira influencia a produtividade e o desempenho das diferentes tecnologias fotovoltaicas, sendo possível assim delimitar um tempo de limpeza ideal de forma que maximize a eficiência de cada uma das tecnologias estudadas.

Através do supervisor foram coletados dados diários do comportamento de cada uma das *strings* dos sistemas, permitindo observar o comportamento de cada tecnologia e comparar as perdas pela sujidade. Foram realizadas através desses dados as análises das produtividades, taxas de desempenho, ganhos percentuais de potência máxima e fatores de capacidade. Por meio desses dados e através dessa pesquisa, foi possível comprovar a perda de eficiência nos sistemas devido à sujidade e possibilitando o estudo do tempo ideal de limpeza.

Portanto, como visto nos resultados obtidos das análises de produtividade, taxa de desempenho, ganho percentual de potência máxima e fator de capacidade, discutidos ao longo deste trabalho, pode-se constatar que para as tecnologias de CdTe, a-Si, CIGS e a-Si/ μ c-Si, é ideal uma limpeza a cada três meses, para as tecnologias de c-Si o resultado mais apurado foi o dos módulos de silício policristalino, onde através das análises observou-se que entre o segundo e o terceiro mês o desempenho tem uma queda brusca, recomendando-se então a limpeza após o segundo mês, já para os módulos de silício monocristalino não foi possível obter dados de como a sujidade influencia nessa tecnologia.

Através da conclusão do estudo da Relação entre limpeza versus eficiência de módulos fotovoltaicos de diferentes tecnologias e com a determinação dos tempos ideais de limpeza, surgem alguns temas relacionados para futuras pesquisas que abrangem e complementam o estudo realizado. Sendo estes:

- Testar outros diferentes métodos de limpezas dos módulos para verificar a diferença nos resultados e obter um método de limpeza ideal;
- Quantificar a quantidade de sujeira depositada nos módulos antes e após as limpezas naturais, para delimitar a sua importância e sua influência na determinação do tempo de limpeza;
- Analisar se para usinas de grande porte os tempos de limpezas são economicamente viáveis, já que demandariam uma mão de obra grande para um curto intervalo de tempo;
- Expandir a pesquisa das tecnologias de silício cristalino, aumentando o tempo de pesquisa para poder obter dados significantes da tecnologia de silício monocristalino e poder verificar se os outros módulos de silício policristalino na UF-PAES se comportam da mesma maneira.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA (São Paulo). **Fonte Solar Fotovoltaica Assume 7ª Posição na Matriz Elétrica Brasileira e Ultrapassa Nucleares**. 2019. Disponível em: <http://www.absolar.org.br/noticia/noticias-externas/fonte-solar-fotovoltaica-assume-7a-posicao-na-ma>. Acesso em: 07 maio 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10899:2013**: Energia solar fotovoltaica – Terminologia. Rio de Janeiro: Abnt, 2013. 15 p. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/8242/abnt-nbr10899-energia-solar-fotovoltaica-terminologia>. Acesso em: 07 maio 2020.

BALFOUR, John; SHAW, Michael; NASH, Nicole B. **Introdução ao projeto de sistemas fotovoltaicos**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016

BÜHLER, Alexandre José. **Determinação de Parâmetros Fotovoltaicos a Partir de Ensaios de Curvas e Características sem Iluminação**. 2007. 72 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/10621>. Acesso em: 07 maio 2020.

CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica. **Potencial Solar**: SunData v 3.0. 2018. Disponível em: <http://cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>. Acesso em: 07 maio 2020.

DGS - DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR SONNENENERGIE (Alemanhã). The German Energy Society. **Planning and Installing Photovoltaic Systems**: 2. ed. Berlim: Earthscan, 2008.

ELANGOVAN, Hemaprabha; RANJAN, Upasna; JAGDISH, A K; RAMAMURTHY, Praveen C.; CHATTOPADHYAY, Kamanio. Performance of Monocrystalline Silicon solar cell- Influence of dust on Ultra-Violet and Visible region during early stage of deposition. **2017 Ieee 44th Photovoltaic Specialist Conference (pvsc)**, Bangalore, Índia, p. 2811-2815, jun. 2017. IEEE. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8366172>. Acesso em: 07 maio 2020.

GUEYMARD, C.a.; MYERS, D.; EMERY, K.. Proposed reference irradiance spectra for solar energy systems testing. **Solar Energy**, [s.l.], v. 73, n. 6, p. 443-467, dez. 2002. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/S0038-092X\(03\)00005-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0038-092X(03)00005-7). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X03000057?via%3Dihub>. Acesso em: 07 maio 2020.

HICKEL, Bernardo Meyer. **O Impacto no Desempenho de Sistemas Fotovoltaicos Causado Pelo Acúmulo de Sujeira Sobre os Módulos FV**: metodologia e avaliação através de curvas ixv em campo. 2017. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/181232>. Acesso em: 07 maio 2020.

ISHII, Tetsuyuki et al. Solar spectral influence on the performance of photovoltaic (PV) modules under fine weather and cloudy weather conditions. **Progress In Photovoltaics: Research and Applications**, Ibaraki, p. 1-9, nov. 2011. Wiley. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/pip.1210>. Acesso em: 07 maio 2020.

KLOSSEK, A. et al. Growth process of microcrystalline silicon studied by combined photoluminescence and Raman investigations. **Journal Of Applied Physics**, Berlim, v. 114, n. 22, p. 223511-223516, 14 dez. 2013. Disponível em: <https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.4838058>. Acesso em: 07 maio 2020.

MUELLER, Thomas et al. Inductively coupled plasma deposited amorphous silicon alloys using industrial equipment for heterojunction silicon solar cells. **2014 Ieee 40th Photovoltaic Specialist Conference (pvsc)**, Denver, p. 625-628, jun. 2014. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6925000>. Acesso em: 07 maio 2020.

MEKHILEF, S.; SAIDUR, R.; KAMALISARVESTANI, M.. Effect of dust, humidity and air velocity on efficiency of photovoltaic cells. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, Kuala Lumpur, Malásia, v. 16, n. 5, p. 2920-2925, jun. 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032112001050>. Acesso em: 07 maio 2020.

PINTO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio (org.). **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel - Cresesb, 2014. 530 p.

PLANO DECENAL DE EXPANSÃO DE ENERGIA 2029. Brasília: Ministério de Minas e Energias, 2019. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: Mme/epe. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2029>. Acesso em: 07 maio 2020.

REBOLLAR, P. B. May; RODRIGUES, P. Roberto. **Energias Renováveis Energia Solar**. 1. ed. Palhoça: Ed. Unisul, 2011

RESENHA ENERGÉTICA BRASILEIRA: exercício de 2018. Brasília: Ministério de Minas e Energia, maio 2019. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/planejamento-e-desenvolvimento-energetico/publicacoes/resenha-energetica-brasileira4-6ae1-eefac950168b>. Acesso em: 07 maio 2020.

SANDIA NATIONAL LABORATORIES. **PVPMC - Photovoltaic Performance Modeling Collaborative: Spectral Response**. Disponível em: <https://pvpmc.sandia.gov/modeling-steps/2-dc-module-iv/effective-irradiance/spectral-response/>. Acesso em: 07 maio 2020.

SAYYAH, Arash; HORENSTEIN, Mark N.; MAZUMDER, Malay K.. Energy yield loss caused by dust deposition on photovoltaic panels. **Solar Energy**, Boston, Estados Unidos da América, v. 107, p. 576-604, set. 2014. Elsevier BV. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X1400259X>. Acesso em: 07 maio 2020.

SEYEDMAHMOUDIAN, Mehdi; HORAN, Ben; RAHMANI, Rasoul; OO, Aman Maung Than; STOJCEVSKI, Alex. Efficient Photovoltaic System Maximum Power Point Tracking Using a New Technique. **Energies**, [s.l.], v. 9, n. 3, p. 147, 2 mar. 2016. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/en9030147>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/9/3/147>. Acesso em: 07 maio 2020.

SOARES JÚNIOR, J. G.; RAMOS, S.; AMARAL, L. S. **Impacto Da Sujidade Sobre O Desempenho De Sistemas Fotovoltaicos**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, VII, 2018, Gramado.

SOLARPOWEREUROPE (União Europeia). **Global Market Outlook**: Bruxelas: Solarpowereurope, 2018. 94 p. Disponível em: https://www.solarpowereurope.org/wp-content/uploads/2019/07/SolarPower-Europe_Global-Market-Outlook-. Acesso em: 07 maio 2020.

VALLÊRA, António M.; BRITO, Miguel Centeno. **Meio Século de História Fotovoltaica**. Lisboa, Portugal: Cfmc, 2006. 6 p. Disponível em: <http://solar.fc.ul.pt/gazeta2006.pdf>. Acesso em: 07 maio 2020.

ZHANG, Shu et al. 335 Watt world record P-type mono-crystalline module with 20.6 % efficiency PERC solar cells. **2015 Ieee 42nd Photovoltaic Specialist Conference (pvsc)**, [Nova Orleans], jun. 2015. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7356434>. Acesso em: 07 maio 2020.

ANEXOS

ANEXO A – Datasheet Módulo CdTe modelo FS-4110-2

FIRST SOLAR SERIES 4™ PV MODULE

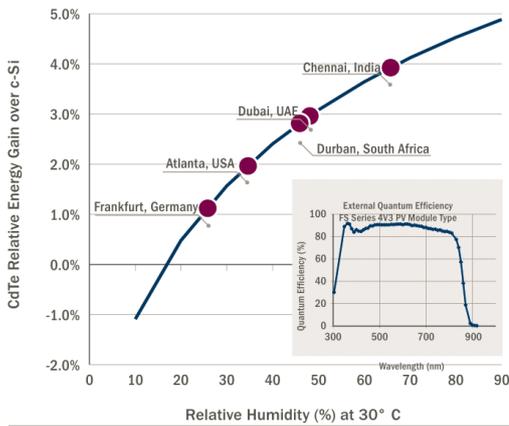
MECHANICAL DESCRIPTION	
Length	1200mm
Width	600mm
Weight	12kg
Thickness	6.8mm
Area	0.72m ²
Individual Leadwire	2.5mm ² , 657mm (minimum from strain relief to connector mating surface)
Connectors	MC4 or MC4-EVO 2 ⁹
Bypass Diode	None
Cell Type	Thin-film CdTe semiconductor, up to 216 cells
Frame Material	None
Front Glass	3.2mm heat strengthened Series 4A™ includes anti-reflective coating
Back Glass	3.2mm tempered
Encapsulation	Laminate material with edge seal
Load Rating	2400Pa ¹⁰

MODULE NUMBERS AND RATINGS AT STANDARD TEST CONDITIONS (1000W/m ² , AM 1.5, 25°C) ⁵							
NOMINAL VALUES		FS-4110-3 FS-4110A-3	FS-4112-3 FS-4112A-3	FS-4115-3 FS-4115A-3	FS-4117-3 FS-4117A-3	FS-4120-3 FS-4120A-3	FS-4122-3 FS-4122A-3
Nominal Power ⁶ (-0/+5W)	P _{MPP} (W)	110.0	112.5	115.0	117.5	120.0	122.5
Voltage at P _{MAX}	V _{MPP} (V)	67.8	68.5	69.3	70.1	70.8	71.5
Current at P _{MAX}	I _{MPP} (A)	1.62	1.64	1.66	1.68	1.70	1.71
Open Circuit Voltage	V _{OC} (V)	86.4	87.0	87.6	88.1	88.7	88.7
Short Circuit Current	I _{SC} (A)	1.82	1.83	1.83	1.83	1.84	1.85
Module Efficiency	%	15.3	15.6	16.0	16.3	16.7	17.0
Maximum System Voltage	V _{SYS} (V)	1500 ^{7,8}					
Limiting Reverse Current	I _R (A)	4.0					
Maximum Series Fuse	I _{CF} (A)	4.0					

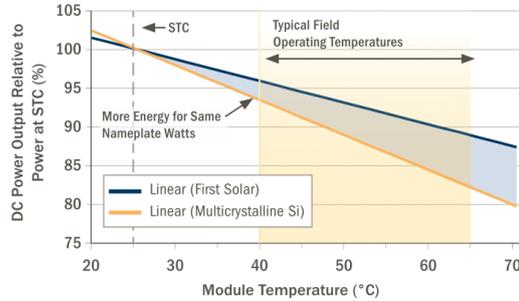
RATINGS AT NOMINAL OPERATING CELL TEMPERATURE OF 45°C (800W/m ² , 20°C air temperature, AM 1.5, 1m/s wind speed) ⁵							
Nominal Power	P _{MPP} (W)	83.2	85.1	87.0	89.0	90.8	92.7
Voltage at P _{MAX}	V _{MPP} (V)	63.5	64.5	64.9	65.9	66.3	67.2
Current at P _{MAX}	I _{MPP} (A)	1.31	1.32	1.34	1.35	1.37	1.38
Open Circuit Voltage	V _{OC} (V)	81.6	82.1	82.7	83.2	83.7	83.7
Short Circuit Current	I _{SC} (A)	1.47	1.47	1.48	1.48	1.48	1.49

TEMPERATURE CHARACTERISTICS		
Module Operating Temperature Range	(°C)	-40 to +85
Temperature Coefficient of P _{MPP}	T _K (P _{MPP})	-0.28%/°C [Temperature Range: 25°C to 75°C]
Temperature Coefficient of V _{OC}	T _K (V _{OC})	-0.28%/°C
Temperature Coefficient of I _{SC}	T _K (I _{SC})	+0.04%/°C

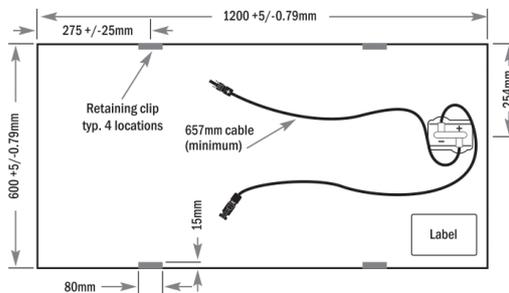
SUPERIOR SPECTRAL RESPONSE



SUPERIOR TEMPERATURE COEFFICIENT



MECHANICAL DRAWING



- Device package meets Atlas 25+
- Class A Spread of Flame / Class B Burning Brand. Roof mounted fire rating is established by assessing rack and solar module as a unit
- Limited power output and product warranties subject to warranty terms and conditions
- Ensures 98% rated power in first year, -0.5%/year through year 25
- All ratings ± 10%, unless specified otherwise. Specifications are subject to change
- Measurement uncertainty applies
- UL 1703 1500V Listed / ULC 1703 1000V Listed
- Application Class A for 1000V (class II), Application Class B for 1500V (class 0) with MC4; Application Class A for 1000V and 1500V (class II) with MC4-EVO 2
- Multi-Contact: MC4 (PV-KST4/PV-KBT4) or MC4-EVO 2 (PV-KST-EVO 2 / PV-KBT-EVO 2).
- Higher load ratings can be met with additional clips or wider clips, subject to testing

Disclaimer

The information included in this Module Datasheet is subject to change without notice and is provided for informational purposes only. No contractual rights are established or should be inferred because of user's reliance on the information contained in this Module Datasheet. Please refer to the appropriate Module User Guide and Module Product Specification document for more detailed technical information regarding module performance, installation and use.

The First Solar logo, First Solar™, and all products denoted with * are registered trademarks, and those denoted with a ™ are trademarks of First Solar, Inc.

ANEXO B – Datasheet Módulo Mono/c-Si modelo YL260C-30B

PANDA 60 Cell 40mm SERIES

ELECTRICAL PERFORMANCE

Electrical parameters at Standard Test Conditions (STC)

Module type	YLxxxC-30b (xxx=P _{max})									
Power output	P _{max}	W	280	275	270	265	260	255	250	
Power output tolerances	ΔP _{max}	W	0 / 5							
Module efficiency	η _m	%	17.1	16.8	16.5	16.2	15.9	15.6	15.3	
Voltage at P _{max}	V _{mpp}	V	31.1	30.8	31.1	31.0	30.8	30.6	30.5	
Current at P _{max}	I _{mpp}	A	9.01	8.94	8.68	8.55	8.46	8.33	8.20	
Open-circuit voltage	V _{oc}	V	38.9	38.6	39.0	39.0	38.6	38.3	38.1	
Short-circuit current	I _{sc}	A	9.61	9.55	9.06	8.93	8.91	8.85	8.71	

STC: 1000W/m² irradiance, 25°C cell temperature, AM1.5g spectrum according to EN 60904-3.
Average relative efficiency reduction of 3.5% at 200W/m² according to EN 60904-1.

Electrical parameters at Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)

Power output	P _{max}	W	202.2	198.6	194.7	192.4	188.8	185.2	181.6
Voltage at P _{max}	V _{mpp}	V	28.3	28.3	28.2	28.1	27.8	27.7	27.6
Current at P _{max}	I _{mpp}	A	7.14	7.02	6.91	6.86	6.79	6.68	6.58
Open-circuit voltage	V _{oc}	V	37.1	36.7	36.2	35.9	35.5	35.2	35.1
Short-circuit current	I _{sc}	A	7.27	7.23	7.21	7.20	7.18	7.13	7.02

NOCT: open-circuit module operation temperature at 800W/m² irradiance, 20°C ambient temperature, 1m/s wind speed.

THERMAL CHARACTERISTICS

Nominal operating cell temperature	NOCT	°C	46 +/- 2
Temperature coefficient of P _{max}	γ	%/°C	-0.42
Temperature coefficient of V _{oc}	β _{Voc}	%/°C	-0.31
Temperature coefficient of I _{sc}	α _{Isc}	%/°C	0.04
Temperature coefficient of V _{mpp}	β _{Vmpp}	%/°C	-0.41

OPERATING CONDITIONS

Max. system voltage	1000V _{DC}
Max. series fuse rating	20A
Limiting reverse current	20A
Operating temperature range	-40°C to 85°C
Max. static load, front (e.g., snow and wind)	5400Pa
Max. static load, back (e.g., wind)	2400Pa
Max. hailstone impact (diameter / velocity)	25mm / 23m/s

CONSTRUCTION MATERIALS

Front cover (material / thickness)	low-iron tempered glass / 3.2mm
Backsheet (color)	white or black
Cell (quantity / material / dimensions)	60 / monocrystalline silicon / 156mm x 156mm
Encapsulant (material)	ethylene vinyl acetate (EVA)
Frame (material / color / anodization color)	anodized aluminum alloy / silver or black / clear
Junction box (protection degree)	≥ IP65
Cable (length / cross-sectional area)	1100mm / 4mm ²
Plug connector (type / protection degree)	MC4 / IP67 or YT08-1 / IP67 or Amphenol H4 / IP68

- Due to continuous innovation, research and product improvement, the specifications in this product information sheet are subject to change without prior notice. The specifications may deviate slightly and are not guaranteed.
- The data do not refer to a single module and they are not part of the offer, they only serve for comparison to different module types.

Yingli Green Energy Holding Co. Ltd.
service@yinglisolar.com
Tel: 0086-312-8929802

YINGLISOLAR.COM

© Yingli Green Energy Holding Co. Ltd. | DS_PANDA60Cell-30b_40mm_EU_EN_201303_v02.20.4

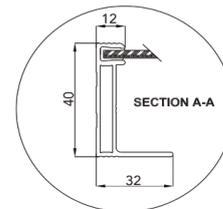
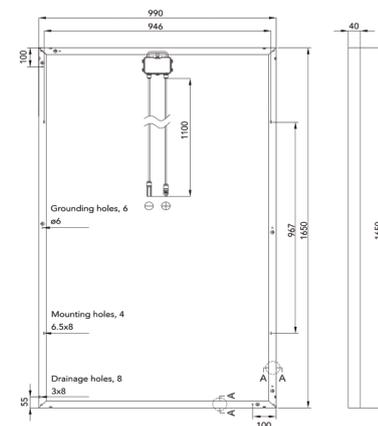
GENERAL CHARACTERISTICS

Dimensions (L / W / H)	1650mm / 990mm / 40mm
Weight	19.1kg

PACKAGING SPECIFICATIONS

Number of modules per pallet	26
Number of pallets per 40' container	28
Packaging box dimensions (L / W / H)	1700mm / 1150mm / 1190mm
Box weight	534kg

Unit: mm



Warning: Read the Installation and User Manual in its entirety before handling, installing, and operating Yingli Solar modules.

Our Partners:



ANEXO C – Datasheet Módulo a-Si modelo DA100-A5

DuPont Apollo A Series Thin Film Modules

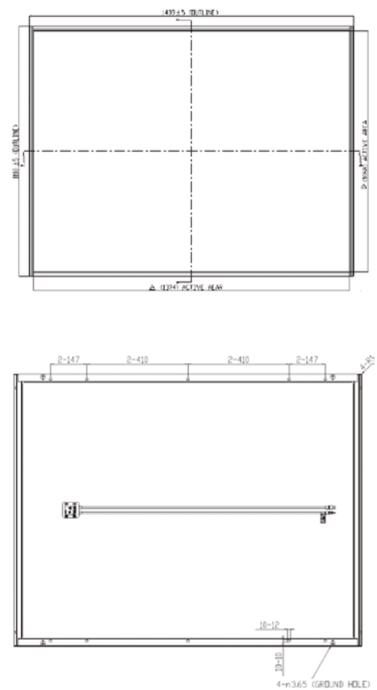


- ✓ High Energy Yields
- ✓ Stable Power Output
- ✓ Robust Encapsulation
- ✓ Easy Mounting

Product Specification

Model	DA100	DA102	DA105
Technology	Amorphous Silicon (Single Junction)		
Mechanical Characteristics			
Dimensions	L 1,409 x W 1,110 x T 35mm		
Weight	20kg		
Electrical Characteristics			
Nominal power output (Pm)	100W	102W	105W
Voltage at Pm point (Vpm)	75V	75V	75V
Current at Pm point (Ipm)	1.34A	1.36A	1.40A
Open circuit voltage (Voc)	100V	100V	100V
Short circuit current (Isc)	1.66A	1.66A	1.66A
Temperature Coefficients			
Coefficient of Pm	- 0.25% / °C		
Coefficient of Voc	- 0.30% / °C		
Coefficient of Isc	+0.09% / °C		
Operating Conditions			
Operating temperature	- 40 ~ + 85 °C		
Maximum mechanical load	2400/2400 N/m ²		
Maximum system voltage	1000V		
Connector	MC4 Compatible		
Cable length	890 ~ 1000mm		
Standard Guarantees and Certificates			
Product Warranty	5 years		
Performance Warranty	80% of nominal power for 25 years		
Certificate	IEC 61646 / IEC 61730 / UL 1703 / ULC1703		

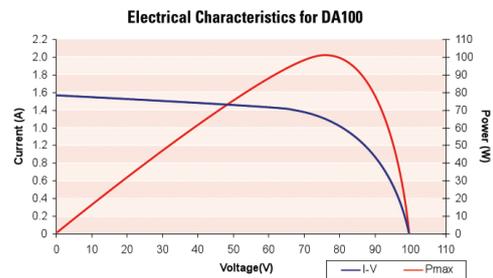
Model Outline



Above data represents stabilized module performance at standard test conditions (STC: 1000W/m², spectrum AM 1.5, 25°C temperature). Tolerance for power and other parameters are subject to +/- 5% and +/- 10% respectively.



All data are subject to change without prior notice.



Du Pont Apollo Limited
 Units 501-509, West Wing of Lakeside 1, No. 8 Science Park West Avenue,
 Hong Kong Science Park, Shatin, N.T., Hong Kong.
 General Enquiry : +852 3664 3000 | enquiry.apollo@hkg.dupont.com
 Customer Service : +852 3664 3018 | cs@hkg.dupont.com

Copyright © 2010 Du Pont Apollo Limited. All Rights Reserved.
 The DuPont Oval logo and "The miracles of science" are trademarks of E.I. du Pont de Nemours and Company or its affiliates.
 DuPont Apollo is a wholly-owned subsidiary of DuPont specializing in silicon-based thin film photovoltaic modules.
 Please visit us at www.apollo.dupont.com

Authorized Reseller of DuPont Apollo Thin Film PV modules:

ANEXO D – Datasheet Módulo Multi/c-Si modelo SF220-30-1P235L

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Electrical Characteristics at Standard Test Conditions (STC)

MAXIMUM POWER (P _{max})	225W	230W	235W	240W	245W	250W
OPEN CIRCUIT VOLTAGE (V _{oc})	36.7V	36.8V	36.8V	37.0V	37.1V	37.2V
SHORT CIRCUIT CURRENT (I _{sc})	8.18A	8.34A	8.44A	8.54A	8.64A	8.74A
VOLTAGE AT MAXIMUM POWER (V _{mp})	29.9V	30.0V	30.1V	30.2V	30.3V	30.4V
CURRENT AT MAXIMUM POWER (I _{mp})	7.53A	7.67A	7.81A	7.95A	8.08A	8.22A
MODULE EFFICIENCY (%)	13.6	13.9	14.2	14.5	14.8	15.1

P_{max}, V_{oc}, I_{sc}, V_{mp} and I_{mp} tested at STC defined as irradiance of 1000W/m² at AM 1.5G solar spectrum and temperature 25 ±2°C. Power tolerance of ±3% refers to measured performance.

Electrical Characteristics at Normal Operating Cell Temperature (NOCT)

MAXIMUM POWER (P _{max})	163W	167W	170W	174W	178W	182W
OPEN CIRCUIT VOLTAGE (V _{oc})	33.1V	33.3V	33.5V	33.7V	34.1V	34.2V
SHORT CIRCUIT CURRENT (I _{sc})	6.50A	6.66A	6.74A	6.84A	6.99A	7.07A
VOLTAGE AT MAXIMUM POWER (V _{mp})	27.1V	27.2V	27.3V	27.4V	27.6V	27.7V
CURRENT AT MAXIMUM POWER (I _{mp})	6.02A	6.14A	6.23A	6.35A	6.46A	6.58A
MODULE EFFICIENCY (%)	12.3	12.6	12.9	13.2	13.5	13.8

P_{max}, V_{oc}, I_{sc}, V_{mp} and I_{mp} tested at STC defined as irradiance of 1000W/m² at AM 1.5G solar spectrum and temperature 25 ±2°C. Power tolerance of ±3% refers to measured performance.

Temperature Characteristics

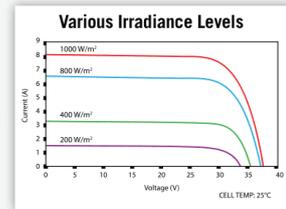
NORMAL OPERATING CELL TEMPERATURE (NOCT)	45 ±3°C
TEMPERATURE COEFFICIENTS OF P	-0.45%/°C
TEMPERATURE COEFFICIENTS OF V	-0.32%/°C
TEMPERATURE COEFFICIENTS OF I	-0.04%/°C

Maximum Ratings

MAXIMUM SYSTEM VOLTAGE	1000V (IEC); 600V (UL)
SERIES FUSE RATING	15A
MAXIMUM REVERSE CURRENT	Series fuse rating multiplied by 1.35

Performance at Low Irradiance:

The typical relative change in module efficiency at an irradiance of 200W/m² in relation to 1000W/m² (both at 25°C and AM 1.5G spectrum) is less than 5%.



MECHANICAL CHARACTERISTICS

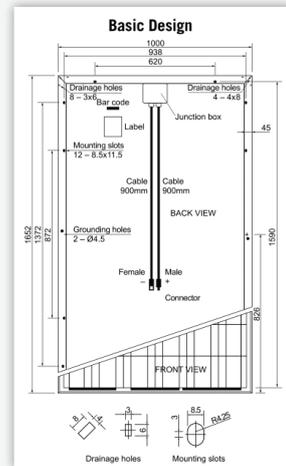
DIMENSIONS	1652mm x 1000mm x 45mm (65.04 in x 39.37 in x 1.77 in)
WEIGHT	21kg (46.2 lbs)
FRAME	Aluminum alloy
FRONT	Tempered glass
ENCAPSULANT	EVA
BACK COVER	Composite sheet
CELL TECHNOLOGY	Polycrystalline
CELL SIZE	156mm x 156mm (6.14 in x 6.14 in)
NUMBER OF CELLS (Pieces)	60 (6 x 10)
JUNCTION BOX	Protection class IP65 with bypass-diode
OUTPUT CABLES	Solar cable: 4mm ² ; length 900mm (35.4 in)
CONNECTOR	Linyang LY0706-2

SYSTEM DESIGN

OPERATING TEMPERATURE	-40°C to 85°C
HAIL SAFETY IMPACT VELOCITY	25mm at 23m/s
FIRE SAFETY CLASSIFICATION	Class C
STATIC LOAD WIND/SNOW	5.4kN/m ²

PACKAGING AND STORAGE

STORAGE TEMPERATURE	-40°C to 85°C
PACKAGING CONFIGURATION	22 pcs per pallet
LOADING CAPACITY (40 FT. CONTAINER)	572 pieces



©Hanwha SolarOne Co. Ltd. Specifications are subject to change without notice, Release: 2011-01-27

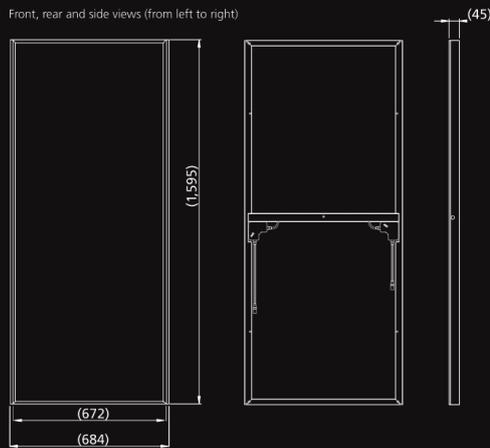
ANEXO E – Datasheet Módulo CIGS modelo PowerMax STRONG 120

PowerMax[®] STRONG
The solid frame line.

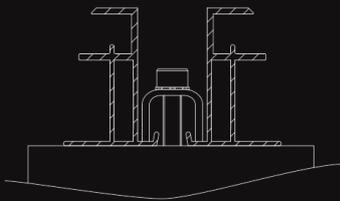


DIMENSIONS

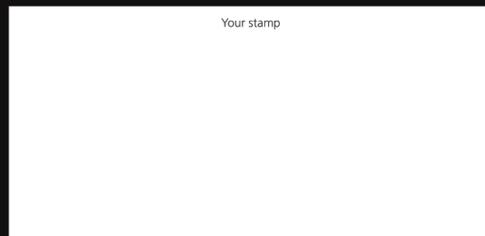
Front, rear and side views (from left to right)



Cross section through frames, mounting structure and clamp



Dimensions in mm



MECHANICAL SPECIFICATIONS

PowerMax [®] STRONG	Value
External dimensions incl. mounting lip	1,595 x 684 mm ²
External dimensions excl. mounting lip	1,595 x 672 mm ²
Thickness	45 mm
Weight	19.6 kg
Junction box protection class	MC (IP65)
Dimensions of the junction boxes	80 x 80 x 23 mm ³
Cable lengths (☉ plug ☉ socket)	190 310 mm
Cable cross section	2.5 mm ²
Connector type	MC4

ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Data measured under standard test conditions (STC)*:

PowerMax [®] STRONG	110	115	120	125	130	135
Nominal power P_{nom}	110 W	115 W	120 W	125 W	130 W	135 W
Tolerance of nominal power ΔP_{nom}	-0/+5 %	-0/+5 %	-0/+5 %	-0/+4 %	-0/+4 %	-0/+4 %
Module efficiency η^{**}	10.3 %	10.7 %	11.2 %	11.7 %	12.1 %	12.6 %
Aperture efficiency η	11.6 %	12.2 %	12.7 %	13.2 %	13.7 %	14.2 %
Open-circuit voltage V_{oc}	56.9 V	57.7 V	58.5 V	59.3 V	60.2 V	61.1 V
Short-circuit current I_{sc}	3.19 A	3.20 A	3.21 A	3.22 A	3.23 A	3.24 A
Voltage at mpp V_{mpp}	40.4 V	41.6 V	42.8 V	44.0 V	45.3 V	46.6 V
Current at mpp I_{mpp}	2.72 A	2.76 A	2.80 A	2.84 A	2.87 A	2.90 A
Limiting reverse current I_r	5.0 A					
Max. system voltage V_{sys} (IEC)	1,000 V					
Max. system voltage V_{sys} (UL)	600 V					

* Insolation intensity 1,000 W/m² in the plane of the module, module temperature 25 °C and a spectral distribution of the sunlight according to the atmospheric mass (AM) 1.5.
** excl. mounting lip.

Data measured at nominal operating cell temperature (NOCT)* and AM 1.5:

PowerMax [®] STRONG	110	115	120	125	130	135
NOCT	40.0 °C					
Nominal power P_{nom}	82.0 W	85.8 W	89.5 W	93.2 W	96.9 W	100.7 W
Open-circuit voltage V_{oc}	53.3 V	54.0 V	54.8 V	55.6 V	56.5 V	57.4 V
Short-circuit current I_{sc}	2.51 A					
Voltage at mpp V_{mpp}	37.5 V	38.7 V	39.9 V	41.1 V	42.3 V	43.6 V

* Module operating temperature at 800 W/m² insolation intensity in the plane of the module, air temperature 20 °C, wind speed 1 m/s and open-circuit condition.

Temperature coefficients:

PowerMax [®] STRONG	Value
Temperature coefficient P_{nom}	-0.39 %/°C
Temperature coefficient V_{oc}	-170 mV/°C
Temperature coefficient I_{sc}	0.10 mA/°C
Temperature coefficient V_{mpp}	-140 mV/°C

Data measured at low light intensity:

The relative reduction in the module-efficiency at a light intensity of 200 W/m² relative to 1,000 W/m² at 25 °C module temperature and spectrum AM 1.5 is 10 %.
At 500 W/m² the relative reduction in module-efficiency is 1 %.

For more information about handling, installation and operation of PowerMax[®] modules, refer to the installation, operating and safety manual for AVANCIS PowerMax[®] photovoltaic modules.

As a result of ongoing research and product improvements, the specifications in this product data sheet are subject to changes without prior publication. This data sheet is not allowed to be used for deriving any rights, and AVANCIS does not accept any liability with regard to and resulting from the use of information contained herein. Installation equipment is not supplied with the product.

AVANCIS GmbH & Co. KG,
Solarstrasse 3, 04860 Torgau, Germany
Tel.: +49 (0) 3421 7388-0 Fax: +49 (0) 3421 7388-111
E-Mail: info@avancis.de Web: www.avancis.de

Edition: December 2011 Mat. no.: 99002222 - Data valid for modules produced on/after January 1st 2012 starting with serial number: AVANCISXXX120101XXXX



- Qualified, IEC 61646
- Safety tested, IEC 61730
- Periodic inspection
- Salt mist corrosion proofed



TUEVPAM-1110
(Resistance to Ammonia Test)

ANEXO F – Datasheet Módulo a-Si/μc-Si modelo DA142-C1



DuPont Apollo C Series Thin Film Modules



- ✓ High Energy Yields
- ✓ Stable Power Output
- ✓ Robust Encapsulation
- ✓ Easy Mounting
- ✓ Low Cable Power Loss

Product Specification

Model	DA130	DA133	DA136	DA139	DA142	DA145
Technology	Amorphous / Microcrystalline Silicon (Tandem Junction)					

Mechanical Characteristics	
Dimensions	L 1409 x W 1110 x T 35 mm
Weight	20 kg
Front Cover	4.0 mm TCO Glass
Encapsulant	EVA
Back Cover	Backsheet
Frame	Aluminium

Electrical Characteristics	
At Standard Test Conditions (STC)	
Nominal power output (Pmpp)	130W 133W 136W 139W 142W 145W
Voltage at Pmpp (Vmpp)	118V 119V 120V 120V 121V 122V
Current at Pm point (Impp)	1.10A 1.12A 1.14A 1.16A 1.17A 1.19A
Open circuit voltage (Voc)	154V 154V 155V 156V 156V 157V
Short circuit current (Isc)	1.27A 1.31A 1.35A 1.39A 1.43A 1.47A
Open circuit voltage, initial (Voc, initial)	158V 159V 159V 160V 161V 162V
Short circuit current, initial (Isc, initial)	1.30A 1.34A 1.38A 1.42A 1.46A 1.50A

At Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	
Nominal power output (Pmpp)	96W 98W 100W 102W 105W 107W
Voltage at Pm point (Vmpp)	108V 108V 109V 109V 110V 111V
Current at Pm point (Impp)	0.89A 0.91A 0.92A 0.94A 0.95A 0.97A
Open circuit voltage (Voc)	143V 143V 144V 144V 145V 146V
Short circuit current (Isc)	1.04A 1.07A 1.10A 1.13A 1.16A 1.19A

Temperature Characteristics at 1000W/m ² , AM 1.5	
α Temperature coefficient of Isc	+ 0.06% / °C
β Temperature coefficient of Voc	- 0.31% / °C
γ Temperature coefficient of Pmpp	- 0.32% / °C

Operating Conditions	
Operating temperature	- 40 ~ + 85 °C
Maximum mechanical load (front/back)	2400 / 2400 N/m ²
Maximum system voltage	1000 V (IEC) / 600 V (UL)
Maximum reverse current overload	2A
Connector	MC4 compatible
Cable size	2.5 mm ²
Cable length	400 mm, 900 mm

Standard Guarantees and Certifications	
Product warranty	5 years
Performance warranty	80% of nominal power for 25 years 90% of nominal power for 10 years
Certifications	IEC 61646 / IEC 61730 / UL1703 / ULC1703

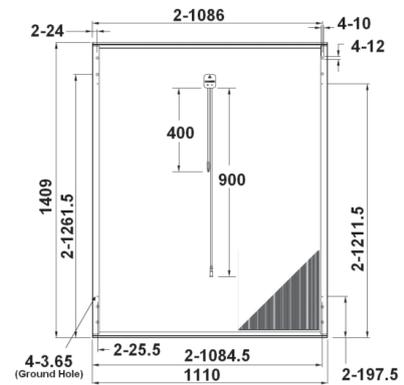
Packaging Details	
Packaging unit	29 modules per pallet
Dimensions	L 1436 x W 1117 x H 1275 mm
Storage	928 modules (32 pallets) in 40' HQ container

Above electrical data represents stabilized module performance, unless specified otherwise.
 Pmpp at STC is subject to tolerance of +/-5%.
 Initial Pmpp is approximately 12-16% higher than stabilized Pmpp.
 STC: 1000 W/m², AM 1.5, cell temperature 25°C.
 NOCT: 43.4 ± 0.2°C, 800 W/m², AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

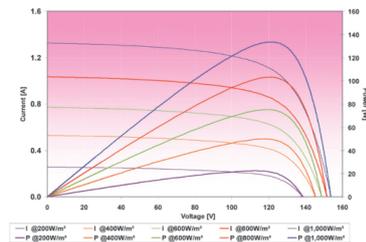
All data are subject to change without prior notice. Please consult with your sales representative for the exact product specifications of the actual shipment.

Copyright © 2011 Du Pont Apollo Limited. All Rights Reserved. The DuPont Oval logo and "The miracles of science" are trademarks of E.I. du Pont de Nemours and Company or its affiliates. DuPont Apollo is a wholly-owned subsidiary of DuPont specializing in silicon-based thin film photovoltaic modules. Please visit us at www.apollo.dupont.com

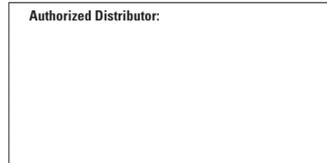
Module Outline



Electrical Characteristics for DA130 at 25°C



Authorized Distributor:



version 11/2011