



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE – UFS
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA - PROEE

**Análise da influência de células sombreadas nos parâmetros elétricos do
módulo fotovoltaico quando estão operando em sol real.**

ADRIANO MORAES DA SILVA

São Cristóvão – SE, Brasil
Dezembro de 2022



Análise da influência de células sombreadas nos parâmetros elétricos do módulo fotovoltaico quando estão operando em sol real.

ADRIANO MORAES DA SILVA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica – PROEE, da Universidade Federal de Sergipe, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Douglas Bressan Riffel

São Cristóvão – SE, Brasil
Dezembro de 2022



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA-PROEE

TERMO DE APROVAÇÃO

"Análise da influência de células sombreadas nos parâmetros elétricos do módulo fotovoltaico quando estão operando em sol real"

Discente:

Adriano Moraes da Silva

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Sergipe, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Aprovada pela banca examinadora composta por:

Documento assinado digitalmente
 TARSO VILELA FERREIRA
Data: 06/01/2023 16:03:00-0300
Verifique em <https://verificador.itl.br>

Prof. Dr. Tarso Vilela Ferreira (PROEE/UFS)
Presidente

Documento assinado digitalmente
 ROMULO ALVES DE OLIVEIRA
Data: 04/01/2023 14:16:57-0300
Verifique em <https://verificador.itl.br>

Prof. Dr. Rômulo Alves de Oliveira (IFS)
Examinador Externo

Documento assinado digitalmente
 JAMES SIDNEY FREITAS DE CARVALHO
Data: 04/01/2023 23:45:47-0300
Verifique em <https://verificador.itl.br>

Prof. Dr. James Sidney Freitas de Carvalho (IFS)
Examinador Externo

Documento assinado digitalmente
 ADRIANO MORAES DA SILVA
Data: 02/01/2023 20:23:30-0300
Verifique em <https://verificador.itl.br>

Adriano Moraes da Silva
Candidato

Cidade Universitária "Prof. José Aloísio de Campos", 19 de dezembro de 2022.

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

S586a Silva, Adriano Moraes da
Análise da influência de células sombreadas nos parâmetros elétricos do módulo fotovoltaico quando estão operando em sol real / Adriano Moraes da Silva ; orientador Douglas Bressan Riffel. - São Cristóvão, 2022.
196 f. : il.

Dissertação (mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Sergipe, 2022.

1. Engenharia elétrica. 2. Energia solar. 3. Geração de energia fotovoltaica. I. Riffel, Douglas Bressan orient. II. Título.

CDU 621.3

*Dedico este trabalho a minha mãe, Maria do Socorro Moraes da Silva
(in memoriam), que sempre foi minha fonte de estímulo, confiança e
apoio na realização dos meus sonhos.*

Agradecimentos

Mais uma etapa rumo ao aperfeiçoamento da minha formação profissional acaba de ser concluída. As experiências adquiridas durante o mestrado motivaram mais ainda o desejo de seguir a carreira acadêmica. Este período contribuiu para o meu crescimento pessoal, aprofundamento e ampliação dos meus conhecimentos.

Agradeço a Deus, meu Pai fiel que nunca me desamparou nos momentos mais difíceis que passei durante o curso, em especial a pandemia COVID-19 e o falecimento de minha mãe, momento no qual só restou a fé.

Sou eternamente grato ao apoio recebido pela minha família, amigos e colegas que me motivaram na concretização dos meus sonhos, em especial meu pai José João da Silva, minha irmã Tatiana Moraes da Silva, meu irmão José Carlos Moraes da Silva, minha madrinha Maria Aparecida da Silva Bezerra. Agradeço a Thiago de Amorim Rego pela compreensão e pelo companheirismo de todas as horas; obrigado por segurarem em minha mão e me apoiar em minhas escolhas.

Minha imensa gratidão aos amigos e colegas do Laboratório de Engenharia e Energia (LABENGE), em especial ao Prof. Douglas Bressan Riffel pelos ensinamentos e confiança no desenvolvimento deste estudo. Aos amigos Jose Raymundo de Alcantara Neto e Thiago Mota Vieira pelo suporte na realização dos experimentos, ao Ézio Soares de Moura pela contribuição no desenvolvimento dos modelos.

Meus agradecimentos ao Prof. Tarso Vilela Ferreira, ao Prof. Romulo Alves de Oliveira e ao Prof. James Sidney Freitas de Carvalho que aceitaram o convite de participar da banca examinadora e contribuir com o aperfeiçoamento desta dissertação.

Por fim, agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PROEE) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Resumo

Resumo da Dissertação apresentada ao PROEE/UFS como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre (Me.)

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE CÉLULAS SOMBREADAS NOS PARÂMETROS ELÉTRICOS DO MÓDULO FOTOVOLTAICO QUANDO ESTÃO OPERANDO EM SOL REAL.

Dezembro/2022

Orientador: Prof. Dr. Douglas Bressan Riffel.

A caracterização e previsão precisa de tensão e corrente de células fotovoltaicas sob diferentes condições de operação é essencial para avaliar a confiabilidade, eficiência e segurança de módulos fotovoltaicos. Nesses termos, o estudo sobre o comportamento da curva característica de módulos fotovoltaicos é importante porque esses sistemas geralmente operam em ambientes adversos, com diferentes condições de operação e por isso são passíveis de falhas. Vários estudos têm se dedicado em desenvolver métodos de análise da curva I-V considerando a influência dos diversos cenários de operação, tais como temperatura, sombreamento, condução reversa, variação do espectro solar entre outros, a fim de consolidar estudos capazes de contribuir com a previsão de falhas em sistemas fotovoltaicos. Posto isso, este trabalho analisou a influência de diferentes condições de funcionamento de módulos fotovoltaicos quando células estão operando com diferentes tipos de sombreamentos. O estudo desdobrou-se na análise qualitativa existente entre os parâmetros elétricos e o comportamento da curva IV. Para este fim, foram realizados experimentos com células solares em 2 módulos sob condições de sol real. As curvas IV obtidas foram parametrizadas conforme é estabelecido pela *International Electrotechnical Commission* (IEC, 60891). Verificou-se que anomalias físicas nas células possuem maior influência nos parâmetros elétricos do que os desgastes da superfície de células solares. Os resultados experimentais demonstraram que o fluxo de fótons da irradiância são absorvidos em sua faixa de comprimento de onda mesmo em células que possuem superfícies mais desgastadas. Além disso, este trabalho também constatou que os modelos de extração dos parâmetros elétricos para células que operam com sombreamento, disponíveis na literatura, não tiveram um bom ajuste físico nas medições de campo realizadas, tornando-se um parâmetro puramente matemático. À luz desses resultados, conclui-se que é fundamental a realização de experimentos em condições reais de operação para a análise da operação de células fotovoltaicas com sombreamento.

Palavras-chave: Características da curva IV, Identificação de Parâmetros, sombreamento de células fotovoltaicas.

Abstract

Abstract of Dissertation presented to PROEE/UFS as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master.

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF SHADED CELLS ON THE ELECTRICAL PARAMETERS OF THE PHOTOVOLTAIC MODULE WHEN THEY ARE OPERATING IN REAL SUN.

December/2022

Adivisor: Prof. Dr. Douglas Bressan Riffel.

Accurate characterization and prediction of voltage and current of photovoltaic cells under different operating conditions is essential to evaluate the reliability, efficiency and safety of photovoltaic modules. In these terms, the study of the behavior of the characteristic curve of photovoltaic modules is important because these systems generally operate in adverse environments, with different operating conditions and are therefore prone to failure. Several studies have been devoted to developing methods for analyzing the I-V curve considering the influence of different operating scenarios, such as temperature, shading, reverse conduction, variation of the solar spectrum, among others, in order to consolidate studies capable of contributing to the predictions of failures in photovoltaic systems. That said, this work analyzed the influence of different operating conditions of photovoltaic modules when cells are operating with different types of shading. The study unfolded in the existing qualitative analysis between the electrical parameters and the behavior of the IV curve. To this end, experiments were carried out with solar cells in 2 modules under real sun conditions. The IV curves were parameterized as established by the International Electrotechnical Commission (IEC, 60891). It was verified that physical anomalies in the cells have a greater influence on the electrical parameters than surface wear of solar cells. The experimental results reinforce that the irradiance photon flux is absorbed in its wavelength range even in cells that have more worn surfaces. In addition, this work also found that the transmission models of electrical parameters for cells that operate with shading, available in the literature, did not have a good physical fit in the field measurements performed, becoming a purely mathematical parameter. In light of these results, it is concluded that it is essential to carry out experiments under real operating conditions for the analysis of the operation of photovoltaic cells with shading.

Keywords: IV curve characteristics, Parameters Identification, shading of photovoltaic cells.

Lista de Figuras

Figura 2.1	Espectro fora e dentro da atmosfera	20
Figura 2.2	Origem da radiação global	21
Figura 2.3	Circuito equivalente modelo 1 diodo, padrão para a descrição elétrica de células e módulos fotovoltaicos	22
Figura 2.4	Curva característica IV e curva de potência PV de um módulo fotovoltaico com destaque aos principais pontos	24
Figura 2.5	Variações na forma da Curva IV	25
Figura 2.6	Influência da R_s e R_{sh} com a Curva IV	26
Figura 4.1	(a) Imagem do Módulo Fotovoltaico com células menos escurecidas; (b) Imagem do Módulo Fotovoltaico com células mais escurecidas	36
Figura 4.2	Seleção das células no Módulo A e B	38
Figura 4.3	Módulo fotovoltaico disponível para realização de pesquisas no LABENGE	39
Figura 4.4	Rastreador solar	40
Figura 4.5	Arranjo experimental para medir Curvas IV	41
Figura 4.6	(a) Emborrachado preto para sombreamento dos experimentos da tensão de ruptura (I), sombreamento parcial (II) e total da célula (III); (b) Fita adesiva com sujidade (IV); (c) Celofanes para variação do espectro solar (V)	44
Figura 4.7	Estrutura para realização do experimento da tensão de ruptura	44
Figura 4.8	Estrutura para realização dos experimentos II, III, IV e V	45
Figura 4.9	Processos para análise dos resultados	46
Figura 5.1	Caracterização das células solares como um diodo	48
Figura 5.2	(a) Transmitância das cores vermelha, verde e azul; (b) Absorbância das cores vermelha, verde e azul	57
Figura 5.3	Pontos e regiões de análise da Curva Característica IV típica	61
Figura 5.4	Eletroluminescência das células do Módulo B e Curva IV para os experimentos II e III	65
Figura 5.5	Eletroluminescência das células do Módulo A e Curva IV para os experimentos	66
Figura 5.6	Curvas IV das células 20 do módulo A e 10 do módulo B do Experimento da sujidade	67
Figura 5.7	Curvas IV com sombreamento submetido a diferentes transmitâncias ..	68
Figura 5.8	Dados do Experimento V do Módulo A	68

Figura 5.9	Efeitos do sombreamento nas células solares na curva típica IV	70
Figura 5.10	Sombreamento Total e Parcial das células 13 e 16 do Módulo A	72
Figura 5.11	Curvas IV's com variação espectral das células 2, 11, 12, 24 e 29 do Módulo B	73
Figura 5.12	Modelos aplicados para células do Módulo B sem sombreamento	75
Figura 5.13	Modelos aplicados para células do Módulo B com sombreamento	76

Lista de Tabelas

Tabela 4.1	Parâmetros elétricos e especificações do módulo fotovoltaico	35
Tabela 4.2	Média de Intensidades dos pixels no módulo A (a); Média de Intensidade dos pixels no módulo B (b)	37
Tabela 5.1	Variação da tensão de ruptura no módulo A	48
Tabela 5.2	Variação da tensão de ruptura no módulo B	49

Lista de Quadros

Quadro 3.1	Modelos de obtenção dos parâmetros elétricos	30
Quadro 4.1	Estrutura e planejamento da pesquisa	34
Quadro 4.2	Procedimentos para o experimento I	42
Quadro 4.3	Procedimento para os experimentos II, III, IV e V	43
Quadro 5.1	Células com maiores variações na região de ruptura	50
Quadro 5.2	Dados da célula sem sombreamento e com sombreamento quadros (a) e (b), respectivamente	51
Quadro 5.3	Dados da célula sem sombreamento parcial e com sombreamento parcial quadros (a) e (b), respectivamente	53
Quadro 5.4	Dados do Experimento IV	55
Quadro 5.5	Curvas IV's com a variação do espectro	58
Quadro 5.6	Parâmetros elétricos extraídos dos modelos	59
Quadro 5.7	Relação dos parâmetros elétricos com a curvas IV em condições específicas de operação no Módulo A (a) e Módulo B (b)	63
Quadro 5.8	Parâmetros elétricos extraídos dos modelos	77

Lista de Siglas

DMEC	Departamento de Engenharia Mecânica
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
LABENG	Laboratório de Engenharia e Energia
NBR	Norma Técnica Brasileira
STC	<i>Standard Test Conditions</i>
UFS	Universidade Federal de Sergipe

Lista de Símbolos

A_λ	Absorbância
I_0	Intensidade da luz de entrada
I_0	Corrente de saturação reversa no modelo Jung
I	Intensidade da luz de saída
I_{mpp}	Corrente de Máxima Potência
I_{sc}	Corrente de Curto-Circuito
I_{sh}	Corrente em paralelo
P_{mpp}	Ponto de Máxima Potência
T	Transmitância
T	Temperatura absoluta em Kelvin
V_{mpp}	Tensão de Máxima potência
V_{oc}	Tensão de Circuito Aberto
I_d	Corrente de saturação do diodo
I_{ph}	Corrente Fotogerada
I_{S1}	Corrente de saturação do diodo 1 no modelo Quaschning e Hanitsch
I_{S2}	Corrente de saturação do diodo 2 no modelo Quaschning e Hanitsch
J	Corrente de saída no modelo de Bishop
J_{sat}	Corrente de saturação do diodo no modelo Bishop
J_{phot}	Corrente Fotogerada no modelo de Bishop
M	Número de células solares parcialmente sombreadas no modelo Jung
N	Número de células no modelo Jung
R_s	Resistência série
R_{sh}	Resistência paralelo
V_T	Tensão térmica no modelo Quaschning e Hanitsch
V_{br}	Tensão de ruptura PN
V_j	Tensão de junção PN
a	Fato de multiplicação não linear
m	Efeito avalanche
m_1	Fator de idealidade do diodo 1 no modelo Quaschning e Hanitsch
m_2	Fator de idealidade do diodo 2 no modelo Quaschning e Hanitsch
n	Fator de idealidade do diodo
k	Constante de Boltzmann
α	Constante relacionada ao efeito avalanche no modelo Jung
β	Constante relacionada ao efeito avalanche no modelo Jung

Sumário

1. INTRODUÇÃO	17
1.1 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA	18
1.2 OBJETIVOS	19
1.2.1 Objetivo Geral	19
1.2.2 Objetivos Específicos	19
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	19
2. O RECURSO SOLAR E A GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA	20
2.1 APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO SOL	20
2.1.1 Terminologia da Energia Solar	21
2.1.2 Absorção, Absorbância e Transmittância	21
2.2 GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA.....	22
2.2.1 Modelo Elétrico do gerador fotovoltaico de 1 diodo	22
2.2.2 Curva Característica (IV) da célula fotovoltaica	24
2.2.3 Propriedades da Curva IV	25
3. ANÁLISES DA CURVA IV SOBRE DIFERENTES CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO: UMA ABORDAGEM SOBRE A INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS ELÉTRICOS NO GERADOR FOTOVOLTAICO	27
3.1 OPERAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM DIFERENTES CONDIÇÕES	27
3.1.1 Sombreamento em módulos fotovoltaicos	28
3.1.2 Efeito avalanche	28
3.1.3 Variação do espectro solar	28
3.1.4 Diagnóstico de falhas através da Curva IV	29
3.1.5 Influência de pontos quentes na Curva IV	29
3.2 MODELOS DE IDENTIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS ELÉTRICOS	30
3.2.1 Modelo Bishop, JW (1988)	31
3.2.2 Modelo de Quaschnig e Hanitsch (1996)	32
3.2.3 Modelo de Jung et al. (2013)	33
4. MÉTODOS E PLANEJAMENTO DA PESQUISA	34
4.1 CLASSIFICAÇÃO METODOLÓGICA DA PESQUISA	34

4.2 PLANEJAMENTO DA PESQUISA	34
4.2.1 Fonte de Dados	35
4.2.2 Seleção das células fotovoltaicas	37
4.3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS	39
4.3.1 Obtenção da curva IV	40
4.3.2 Descrição dos experimentos	41
4.5 ANÁLISE DOS DADOS	45
5. SOMBREAMENTO DE CÉLULAS SOLARES: IMPACTO DE DIFERENTES TIPOLOGÍAS DE SOMBRAS NA OPERAÇÃO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	47
5.1 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	47
5.1.1 Experimento I – Variação da tensão de ruptura	47
5.1.2 Experimentos II e III – Sombreamento total e parcial da célula fotovoltaica	50
5.1.3 Experimentos IV – Sujidade	55
5.1.4 Experimentos V – Variação do espectro solar	57
5.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS A PARTIR DA CURVA IV	62
5.2.1 Relação da Curva IV com os parâmetros elétricos do módulo quando as células estão em condições de operação dos experimentos	62
5.2.2 Análise e discussões dos experimentos na Região 1 da Curva IV e no Ponto I_{ph}	64
5.2.3 Análise e discussões dos experimentos na região 2 da Curva IV e no ponto P_{mpp}	70
5.2.4 Análise e discussões dos experimentos na região 3 da Curva IV e no ponto V_{oc}	71
5.3 ANÁLISE DOS MODELOS BISHOP (1988), QUASCHNING (1996) E JUNG (2013)	74
6. CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS	79
REFERÊNCIAS	81
APÊNDICE A – Resultados experimentais do Módulo A e do Módulo B	90
APÊNDICE B – Implementação dos modelos Bishop (1988), Quaschnig (1996) e Jung <i>et al.</i> (2013) no Matlab®	190
APÊNDICE C – Produções Científicas	195

CAPÍTULO 1

Introdução

Sistemas fotovoltaicos configuram-se atualmente como uma das alternativas mais promissoras, entre as fontes renováveis com o aproveitamento da energia solar (ADHAU et al., 2022; BHATNAGAR; NEMA, 2013; ORIOLI, 2020). A conversão de energia se dar por uma célula fotovoltaica, dispositivo semicondutor capaz de produzir uma diferença de potencial elétrico durante a transformação da radiação solar em eletricidade e quando são conectadas formam o módulo fotovoltaico (ANITHA et al., 2022; KUMAR et al., 2020).

Nesse sentido, a previsão do comportamento desses sistemas contribui para a aceitação no mercado, tal como integração na matriz elétrica de forma mais efetiva (POULADIAN-KARI et al., 2022; ZHANG et al., 2020). A análise do desempenho de módulos fotovoltaicos geralmente se dar por meio da determinação da curva característica de tensão e corrente (Curva IV), que traz em seu escopo informações importantes de operação e as principais características dos parâmetros elétricos do gerador fotovoltaico (GNETCHEJO et al., 2019; MELLIT; TINA; KALOGIROU, 2018; ZHANG et al., 2020, 2022).

Os parâmetros elétricos do módulo fotovoltaico dependem predominantemente de diferentes condições de operação, tais como temperatura da célula, irradiância, massa de ar, posição angular do sol, condições diversas de sombreamento, além do estado físico das células e de suas interconexões no módulo (CHEN et al., 2019a; KUMAR et al., 2020; MA et al., 2015).

Módulos fotovoltaicos são sensíveis ao sombreamento, sendo este um dos principais responsáveis pela perda de potência em sistemas solares de geração (Kreft; Filipowicz; Żołądek, 2020). De acordo com Kinsey *et al.* (2022) sombreamento associados a problemas locais do sistema potencializam a formação de pontos quentes que impactam negativamente a confiabilidade e rendimento da energia gerada por painéis fotovoltaicos. Do mesmo modo, o sombreamento provoca a condução reversas de células solares tornando-as pontos de cargas, ao invés de geradores (Alonsogarcia; Ruiz; Chenlo, 2006).

Nessa perspectiva, observa-se que a sombra projetada em módulos fotovoltaicos, traz a longo prazo, problemas com a continuidade de geração de energia e a curto prazo uma redução na energia gerada. Todavia, instalações fotovoltaicas estão suscetíveis diariamente a diversas formações de sombra proveniente da movimentação de nuvens, arborização, partículas de poeira, entre outros (Dhimish; Badran, 2020). Muitos desses fatores não são controláveis e seu entendimento é importante para o avanço em soluções tecnológicas que contribuam com a confiabilidade da geração de energia solar.

À luz dessas considerações é notável que a eficiência de sistemas fotovoltaicos dependem não somente de fatores intrínsecos a sua tecnologia, como os métodos de fabricação, cabos e conexões e estrutura da célula, mas de fatores externos que por vezes não são controláveis e impactam negativamente a operação dos módulos, que geralmente são fabricados para entrega do seu ponto de máxima potência (DHIMISH; BADRAN, 2020; PARLAK, 2014; ZHANG et al., 2022).

Posto isso, muitos desses fatores, apesar de não controláveis, são passíveis de

experimentação que possam trazer avanços em soluções que melhorem a eficiência de sistemas fotovoltaicos. Motivados pela expansão do conhecimento e na melhoria da geração fotovoltaica, muitos estudos científicos têm abordado os aspectos relacionados à influência de fatores externos na geração de energia proveniente do recurso solar.

Dentro desse contexto, diversas pesquisas têm se dedicado a estudar o comportamento da curva característica para o diagnóstico de falhas em sistemas fotovoltaicos, bem como compreender como os parâmetros elétricos se comportam frente às diversas condições de operação que comprometem o rendimento energético, tais como variação da radiação, temperatura, umidade relativa do ar, influência de sombreamentos, partículas de poeira, entre outros (KREFT; FILIPOWICZ; ŻOŁĄDEK, 2020; BELHACHAT; LARBES, 2015).

Nessa direção, Zhang et al. (2020) fez a caracterização e previsão da curva características de tensão e corrente dos módulos fotovoltaicos (PV) sob diferentes condições de operação a fim de garantir a estabilidade da rede. Uma abordagem acerca das propriedades ópticas espectrais solares foi realizada por Levinson; Berdahl; Akbari, (2005) e apresentaram a teoria necessária para calcular a absorção e espectro de refletâncias e transmitância de um filme utilizado para taxar a luz incidente e difusa, o estudo apresenta evidências consideráveis para o aproveitamento de energia solar.

À luz dessas considerações, a determinação da curva característica de tensão e corrente (Curva IV) de módulos fotovoltaicos é o dado qualitativo mais importante para o estudo da operação de células fotovoltaicas. Segundo a *International Electrotechnical Commission* (IEC, 60891 (2009) a obtenção da curva deve obedecer às condições padrões de ensaio, com os valores específicos de irradiância, massa de ar e temperatura de 1000 W/m^2 , $AM = 1,5$ e $T = 25^\circ\text{C}$, respectivamente.

1.1 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

Nos últimos anos o impacto do sombreamento em sistemas fotovoltaicos tem sido amplamente discutido. Ramabadran; Mathur, (2009, 2010, 2012) investigaram o efeito de padrões de sombreamento parcial em diferentes configurações de sistemas fotovoltaicos a fim de identificar os modelos mais suscetíveis a perda de energia e extrair a precisão do impacto do sombreamento nos sistemas. Nessa mesma linha, Wang; Hsu (2011) estudaram o desempenho de conexão de células fotovoltaicas sob condição de sombreamento parcial através da resolução de equações não lineares simultâneas, verificando que problemas com sombreamento podem ser atenuados com a interconexões entre as células.

Sombreamento em sistemas são mais graves quando causam a polarização reversa, pois os módulos fotovoltaicos deixam de ser geradores de energia e passam a atuar como cargas. Sobre esse aspecto são realizados estudos que levam a uma nova proposta de análise da célula através da polarização reversa, nesse cenário Alonsogarcia; Ruiz e Chenlo (2006) elaboraram um modelo que representa o comportamento da célula solar polarizada de forma reversa sobre diferentes tipos de condições operacionais. De forma complementar, Silvestre; Boronat e Chouder (2009) desenvolveram uma metodologia de análise da condução reversa, norteadas por simulações e dados reais em módulos fotovoltaicos operando em condições de sombreamento parcial.

À luz disso, a determinação dos parâmetros elétricos de módulos é um ponto importante

de estudo para a melhoria do desempenho de sistemas fotovoltaicos, entre eles estão a Tensão de Circuito Aberto (V_{oc}), a Corrente de Curto-Circuito (I_{sc}), a Corrente de Máxima Potência (I_{mpp}), a Tensão de Máxima potência (V_{mpp}) e o Ponto de Máxima Potência (P_{mpp}).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é estudar o impacto que células fotovoltaicas sombreadas sofrem sobre a geração de energia elétrica de módulos operando em sol real, a partir da análise qualitativa do comportamento da Curva IV.

1.2.2 Objetivos Específicos

O alcance do objetivo geral se alicerça no cumprimento dos seguintes objetivos específicos:

- Selecionar células fotovoltaicas a partir das imagens de eletroluminescência considerando a intensidade dos pixels das células, a fim de correlacionar regiões ativas e escuras da superfície, o estado físico das células e a potência entregue pelo módulo.
- Construir um banco de dados a partir da aquisição de curvas IV's.
- Verificar a suscetibilidade das células em entrar condução reversa quando estão operando em condições de sombreamentos.
- Realizar experimentos em condições reais de iluminação com as células operando com sombreamento total, parcial, sujidade e mudanças no espectro da irradiância.
- Traçar um panorama qualitativo sobre a influência que diferentes tipos de sombras possuem sobre os parâmetros elétricos do módulo fotovoltaico a partir da análise do comportamento da Curva IV.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está estruturada em seis capítulos. Este capítulo introdutório faz uma abordagem sobre a contextualização do tema, a justificativa e relevância da pesquisa e os seus objetivos. O Capítulo 2 abrange os conceitos físicos que tangem o aproveitamento do recurso solar e o contexto de funcionamento da tecnologia fotovoltaica. No estado da arte, o Capítulo 3 se desdobra apresentando os trabalhos realizados e os avanços na área de estudo.

No Capítulo 4 apresenta os métodos e os procedimentos técnicos utilizados para obtenção dos resultados, juntamente com a estrutura e o planejamento da pesquisa. Na sequência, o Capítulo 5 apresenta os resultados experimentais e os aspectos qualitativos da Curva IV relacionados aos parâmetros elétricos do módulo fotovoltaico, quando as células estão operando em condições específicas. As considerações finais deste trabalho são abordadas no Capítulo 6, que traz em seu escopo as conclusões, bem como as principais limitações e algumas sugestões para o desenvolvimento de trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2

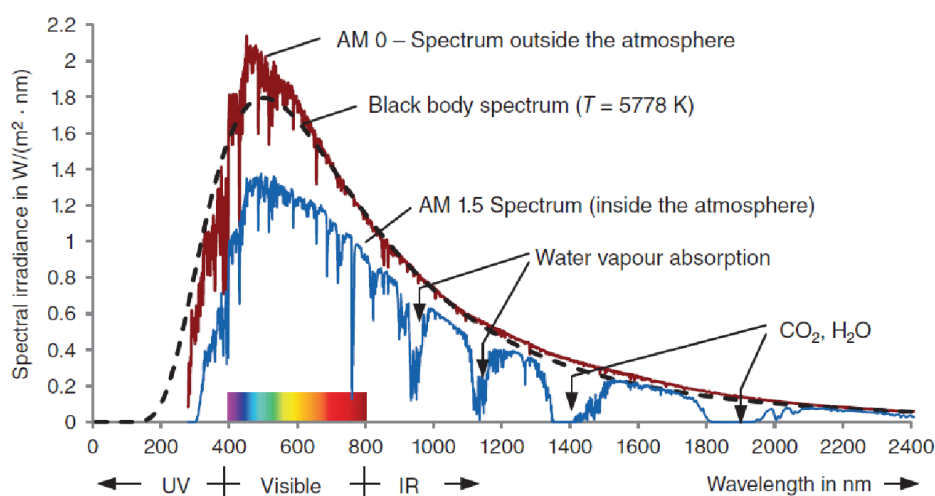
O recurso solar e a geração de energia fotovoltaica

Neste capítulo serão abordados conceitos importantes para compreensão da luz solar como fonte de energia. Assim sendo, serão apresentados aspectos importantes acerca da potência energética emitida pelo sol, bem como o seu aproveitamento energético a partir da caracterização do dispositivo fotovoltaico e da Curva IV.

2.1 APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO SOL

O sol é uma fonte de energia essencial para manter as condições de vida na terra e tem se consolidado, frente às atuais demandas energéticas, como um recurso promissor para o aproveitamento fotovoltaico. Mertens (2014) afirma que o sol emite uma potência de 3845×10^{26} W para o universo, chegando na superfície terrestre uma irradiância média durante o ano de 1367 W/m^2 . Diversos fatores estão associados a essa dispersão de energia, entre eles a distribuição temporal e espacial solar, bem como as mudanças do espectro solar quando a luz passa pela atmosfera (Figura 2.1).

Figura 2.1 – Espectro fora e dentro da atmosfera.



Fonte: Mertens (2014)

A Figura 2.1 apresenta o espectro luminoso antes e após a absorção pelos gases atmosféricos, evidenciando que a energia solar é essencialmente absorvida ou dispersa na atmosfera para vários comprimentos de onda. Várias razões estão associadas, tais como a reflexão da luz na atmosfera, absorção da luz por moléculas de gases, espalhamentos e dispersão por partículas menores ou maiores que o comprimento de onda da luz. Destaca-se ainda que para o melhor aproveitamento fotovoltaico é utilizado o comprimento de onda de luz visível, na Figura 2.1 apontado entre 400 e 800 nm (DIRNBERGER et al., 2015; MERTENS, 2014; RAMAPRABHA et al., 2010).

As moléculas de gases são as responsáveis pelas maiores atenuações em diferentes

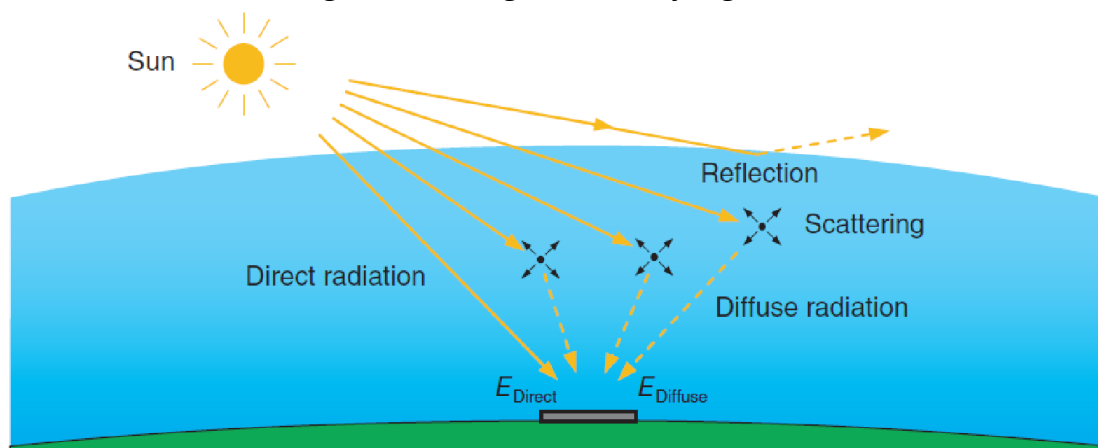
níveis de acordo com o comprimento de onda da radiação, em especial fora do espectro da luz visível. Entretanto, este fato evidencia a relação entre irradiação e a massa de ar (AM), que é um parâmetro relevante no estudo do aproveitamento energético do sol porque sinaliza a perda da intensidade luminosa que passa pela atmosfera ao longo do comprimento de onda (HONSBURG; BOWDEN, 2022).

Nesse sentido, os vários efeitos provocados pela AM causam o enfraquecimento da energia luminosa. Todavia, devido a reflexão da luz existe uma outra porção de luz que chega na superfície terrestre, mas não vem diretamente do sol, a radiação difusa que pode ser compreendida como a parcela de energia luminosa que chega por todas as direções do céu (MERTENS, 2014; HONSBURG; BOWDEN, 2022).

2.1.1 Terminologia da Energia Solar

O efeito fotovoltaico origina-se da transformação da radiação solar em energia elétrica. Partindo disso, compreende-se que a irradiância direta é a que incide em uma superfície, proveniente diretamente do disco solar e da região circunsolar, podendo ser normal ou horizontal. Irradiância difusa é a potência radiante do céu, recebida em uma unidade de área em uma superfície horizontal, excluída a irradiância direta. Irradiância global consiste na soma da irradiação direta e difusa (BOUTAHIR et al., 2022; KIRN; BRECL; TOPIC, 2015; MERTENS, 2014).

Figura 2.2 – Origem da radiação global



Fonte: Mertens (2014)

2.1.2 Absorção, Absorbância e Transmitância

A cor é uma interpretação do cérebro resultante de estímulos percebidos pela visão. Nesse sentido, pode-se afirmar que as cores estão relacionadas com os fótons, menor energia que uma onda luminosa com determinada frequência possui. Como a luz é absorvida ou emitida pelos os corpos, os fótons podem possuir energias altas ou baixas em função do espectro eletromagnético (HONSBURG; BOWDEN, 2022; MERTENS, 2014).

Segundo Halliday (2003), absorbância é definida como a fração de energia absorvida pela superfície de um corpo, ou seja, é a capacidade própria dos materiais de absorção de luz. Em espectroscopia, a absorbância ($A\lambda$) é definida analiticamente conforme a Equação 1.

$$A\lambda = -\log_{10} \frac{I_0}{I} \quad (1)$$

A equação 1 corresponde a quantidade de luz absorvida, ou seja, onde I é a intensidade da luz de saída, que passa por uma amostra em estudo (intensidade da luz transmitida) e I_0 é a intensidade da luz de entrada antes que entre na amostra (intensidade da luz incidente). Com base no exposto, verifica-se que a absorbância é proporcional à espessura de uma amostra e a concentração da substância nesta, em contraste à transmitância, conforme Equação 2. Como a absorbância é uma medida logarítmica de uma razão de intensidades luminosa, não possui dimensionalidade e possibilita a conversão para transmitância (HALLIDAY, 2003).

$$T = \frac{I_0}{I} \quad (2)$$

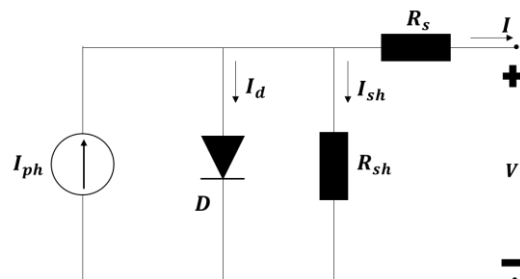
2.2 GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA

Células solares poliméricas são semicondutores de junções PN, semelhante ao diodo semicondutor que a partir do princípio fotoelétrico converte energia luminosa em energia elétrica (KREBS, 2009). Posto isso, esse capítulo apresentará as características técnicas do modelo elétrico dos módulos com seus parâmetros elétricos, e na sequência apresentará as configurações existentes das matrizes de geração fotovoltaica.

2.2.1 Modelo Elétrico do gerador fotovoltaico de 1 diodo

A representação do comportamento de uma célula fotovoltaica através de circuitos elétricos equivalentes tem se tornado um hábito bastante comum no estudo e determinação dos parâmetros desta tecnologia. O modelo de 1 diodo e 5 parâmetros têm sido amplamente utilizado, devido a sua simplicidade e precisão (YU *et al.*, 2017a), de onde é possível obter a Curva IV do painel em determinadas circunstâncias, o modelo elétrico para 1 diodo é apresentado na Figura 2.3 (ORIOLI, 2020).

Figura 2.3 – Circuito equivalente modelo 1 diodo, padrão para a descrição elétrica de células e módulos fotovoltaicos



Fonte: Adaptado de Boutahir (2022), Kreft (2020) Yu (2017)

Do ponto de vista ideal, a célula é representada pela fonte de corrente I_{ph} , *Light Current*, em paralelo com o diodo ideal de junção p-n, onde I_{ph} representa a corrente elétrica que é gerada na célula sob a presença de luz quando a mesma é ligada a um condutor externo. Na ausência de luz, a célula comporta-se como um diodo, não produzindo qualquer tensão ou corrente. Mas, dado ao comportamento não ideal da célula, acresce-se ao modelo a resistência em série (R_s), representando as perdas, e a resistência paralelo (R_{sh}), *shunt resistance*, que representa a existência de correntes de fuga (KUMAR; MAHESHWARI, 2022; DHIMISH; BADRAN, 2020; GNETCHEJO et al., 2019; MELLIT; TINA; KALOGIROU, 2018; YU et al., 2017; GUARRACINO et al., 2016; KIRN; BRECL; TOPIC, 2015;).

Os 5 parâmetros a determinar para o modelo apresentado na Figura 2.3, são as duas resistências, R_s e R_{sh} , o fator de idealidade do diodo n , a corrente I_{ph} e a corrente de saturação do diodo I_d . A descrição das correntes são apresentadas nas equações 3, 4 e 5.

$$I = I_{ph} - I_d - I_{sh} \quad (3)$$

$$I_d = I_{sh} \cdot \left[\exp \left(\frac{q \cdot (V_L + R_s + I)}{n \cdot K \cdot T} \right) - 1 \right] \quad (4)$$

$$I_{sh} = \frac{V_L + R_s \cdot I}{R_{sh}} \quad (5)$$

Onde, I_{ph} é a corrente total fotogerada pela célula solar, I_d representa a corrente do diodo calculada por Shockley (MERTENS, 2014), através da Equação (4), e I_{sh} é a corrente em paralelo calculado pela Equação 5, R_s e R_{sh} são respectivamente a resistência em série e a resistência em paralelo. V_L é a tensão de saída da célula, I_d é a corrente de saturação reversa do diodo. E n é o fator idealidade do diodo. Além dos termos: k é a constante de Boltzmann ($1,38064852 \times 10^{-23} \text{ J/K}$) q é a carga do elétron ($1,60217662 \times 10^{-19} \text{ C}$); e T é a temperatura absoluta em Kelvin.

A identificação de parâmetros dos modelos fotovoltaicos é geralmente convertida em um problema de otimização, no qual o objetivo é minimizar a diferença entre os dados experimentais e os dados simulados através dos parâmetros estimados (YU et al., 2017). Desta forma, a função objetivo a ser minimizada para o modelo de 1 diodo é apresentada em Equação (6).

$$f_K(V_L, I_L, X) = I_{ph} - I_d * \left[\exp \left(\frac{q * (V_L + R_s * I_L)}{n * K * T} \right) - 1 \right] - \frac{V_L + R_s * I_L}{R_{sh}} - I_L \quad (6)$$

$$X = \{I_{ph}, I_d, R_s, R_{sh}, n\}$$

Neste estudo, a raiz do erro médio quadrático ou, *Root Mean Square Error* (RMSE) definido pela Equação (7) é usada como função objetivo para quantificar a diferença geral entre os dados atuais experimentais e simulados. Esse tipo de aplicação como critério de parada dos algoritmos e avaliação de sua convergência tem sido amplamente utilizada na literatura (YU et al., 2017a). Desta forma, deve-se minimizar a função objetivo RMSE (X) pesquisando o vetor de solução x dentro do intervalo especificado.

$$RMSE(X) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N f_K(V_L, I_L, X)^2} \quad (7)$$

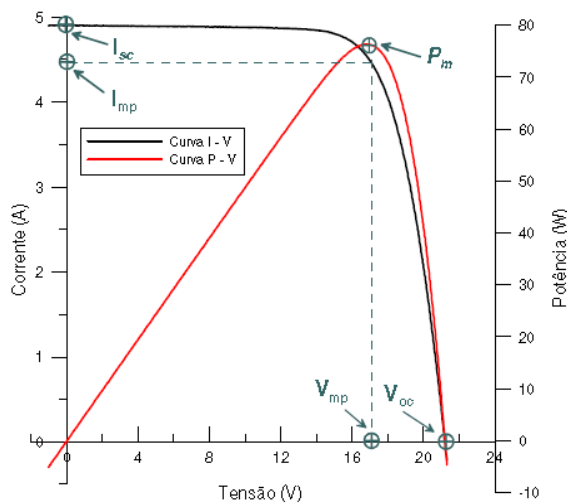
2.2.2 Curva Característica (IV) da célula fotovoltaica

O funcionamento de um módulo fotovoltaico pode ser estudado observando a curva que relaciona a tensão com a corrente à saída do mesmo. Esta curva é conhecida como a característica I-V e apresenta a mesma forma geral para qualquer painel fotovoltaico. A determinação desta curva, segundo a *International Electrotechnical Commission - 891 (IEC)* (1987), deve ser realizada dentro de condições específicas e constantes de temperatura e irradiância, denominada condição padrão de ensaio ($G = 1000 \text{ W/m}^2$, $AM = 1,5$ e $T = 25^\circ\text{C}$).

O levantamento da Curva IV (Figura 4) é uma das formas de identificação de falhas e problemas em células, módulos e sistemas fotovoltaicos. A Curva IV identifica métricas de análise que contribuem para caracterização da operação de um arranjo fotovoltaico e é mais eficaz do que outros métodos de monitoramento. Com isso, a curva IV consolida-se como um certificado de qualidade de desempenho dos geradores fotovoltaicos (LIM et al., 2015; LYU et al., 2018).

Dispositivos fotovoltaicos apresentam a mesma tecnologia, nesse sentido quando estão operando devem fornecer o mesmo padrão de Curva IV quando estão em iguais condições de geração. Assim a Curva IV pode ser um dado qualitativo de análise comparativa entre geradores fotovoltaicos (KUMAR; MAHESHWARI, 2022; CHEN et al., 2019b; KIRN; TOPIC, 2017; GASPARIN, 2009).

Figura 2.4 – Curva característica IV e curva de potência PV de um módulo fotovoltaico com destaque aos principais pontos



Fonte: Gasparin (2009)

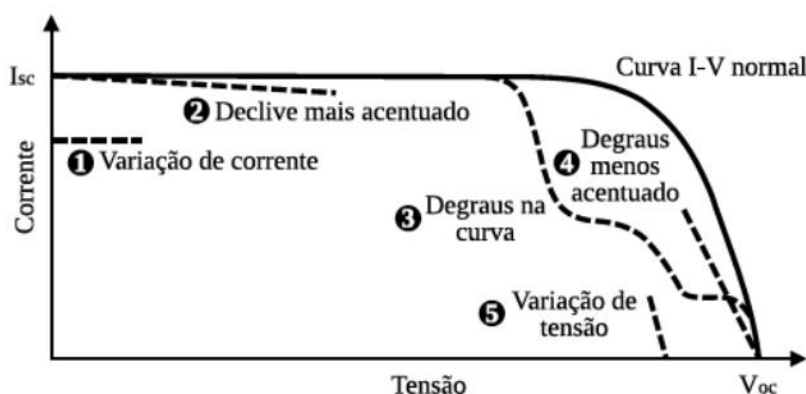
Para cada ponto na curva I-V, o produto corrente-tensão representa a potência gerada para aquela condição de operação. A Figura 2.4 apresenta a curva I-V, com seus pontos de tensão de circuito aberto (V_{oc}) e corrente curto circuito (I_{sc}). Além disso, é possível observar a curva de potência (PV) em função da tensão, com o ponto com o máximo valor de potência. O ponto na curva de potência (P_{mmp}) corresponde a valores de tensão e corrente específicos na curva de corrente, denominadas, de tensão e corrente de máxima potência (V_{mp} , I_{mp}), respectivamente.

2.2.3 Propriedades da Curva IV

A norma brasileira 16274 (2014) que trata sobre sistemas fotovoltaicos conectados à rede, apresenta os fatores que influenciam a forma da Curva IV ilustrados a partir dos desvios presentes na Figura 5. As circunstâncias que provocam os desvios na curva viabiliza análise de falhas pontualmente, e o histórico da Curva IV permite a avaliação da degradação do arranjo fotovoltaico (MARQUES, 2020).

Segundo a NBR 16274 (2014), na Figura 2.5 a forma da Curva IV é alterada quando a I_{sc} sofre variações (1), esse fato é associado a obstrução da superfície ativa da célula, sujidades e degradação. Já as variações na V_{oc} (5) são decorrentes de sombreamento uniforme em todo o arranjo fotovoltaico. O declive 2 representa a existência de correntes devido a existência de defeitos localizados na célula que provocam a recombinação do semicondutor, a essa corrente dá-se o nome de *shunt*, mais adiante representada pelas perdas ôhmicas da resistência em paralelo. De forma análoga, os degraus menos acentuados presentes na região 4, tendem a se afastar da V_{oc} e são consequências das falhas de conexões das células, cabos conectores e apresentado mais adiante pela resistência em série.

Figura 2.5 – Variações na forma da Curva IV



Fonte: Marques (2020)

As variações nas regiões 1, 2, 4 e 5 da Figura 5 provocam o achatamento da curva evidenciando a diminuição da geração de energia representada pelo P_{mmp} nos degraus da curva (3). Realmente as medidas fotovoltaicas são muito sensíveis às condições reais de funcionamento, por serem compostas de material semicondutor o comportamento das células varia muito com localização a temperatura e radiação incidente (KUMAR; MAHESHWARI, 2022).

Nessa mesma ótica, Mertens (2014) afirma que “se a curva característica IV medida de uma célula estiver disponível, então os parâmetros elétricos do circuito equivalente simplificado podem ser derivados”. No entanto, a estimativa dos parâmetros através da curva não é uma tarefa fácil porque o fator de idealidade das células solares é maior que 1. Com isso é feita a simulação do circuito, ignorando a corrente no diodo.

$$I = I_{ph} - \frac{V + I \cdot R_s}{R_{sh}} \quad (7)$$

A inclinação da curva pode ser encontrada a partir da derivação da Equação 8.

$$\frac{dI}{dV} = 0 - \frac{1}{R_{sh}} - \frac{R_s}{R_{sh}} \cdot \frac{dI}{dV} \quad (8)$$

$$R_{sh} = - \frac{dV}{dI} \Big|_{V=0} \quad (9)$$

Uma consideração semelhante é realizada no ponto da V_{oc} , aqui a tensão é maior e o diodo se torna um pouco resistente. A inclinação da curva, nesse ponto, pode-se encontrar com a derivada da equação 10.

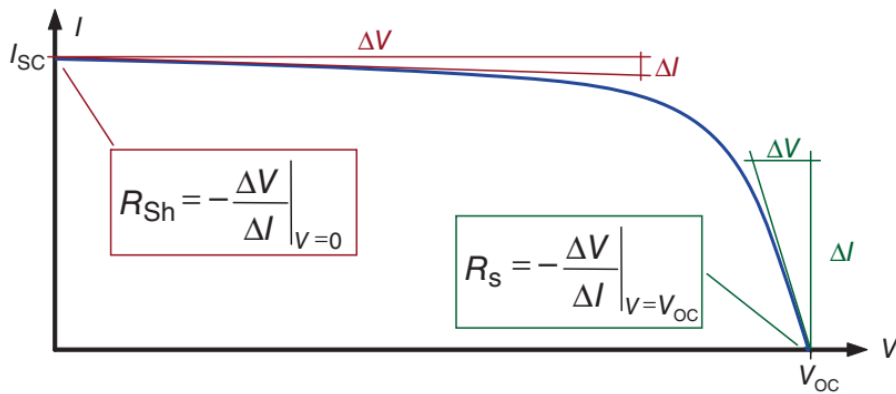
$$I = I_{ph} - I_s \cdot \left(e^{\frac{V+I.R_s}{m.V_T}} - 1 \right) \quad (10)$$

$$\frac{dV}{dI} = -R_s - \frac{m.V_T}{I_s} \cdot e^{\frac{V+I.R_s}{m.V_T}} \quad (11)$$

$$\frac{dV}{dI} \Big|_{V=V_{oc}} = R_s + \frac{m.V_T}{I_s} \cdot e^{\frac{V_{oc}}{m.V_T}} \approx R_s \quad (12)$$

De acordo com as equações previstas por Mertens (2014) a resistência paralela pode ser determinada diretamente pela inclinação da tangente no ponto da corrente de curto-circuito. Do mesmo modo, a resistência em série é determinada com a variação da curva com a tensão de circuito aberto (Figura 2.6).

Figura 2.6 – Influência da R_s e R_{sh} com a Curva IV



Fonte: Mertens (2014)

CAPÍTULO 3

Análises da Curva IV sobre diferentes condições de operação: Uma abordagem sobre a influência dos parâmetros elétricos no gerador fotovoltaico

Módulos fotovoltaicos são fabricados para alcançarem seu ponto de potência máxima, porém nem sempre isso é possível. A maioria dos parâmetros elétricos dos módulos variam de acordo com as condições de operação como temperatura, irradiância solar, umidade relativa do ar, nebulosidade e estão sujeitos a ocorrência de falhas no sistema como condução reversa, aparecimentos de pontos quentes, presença de fulga de corrente, entre outros (ADHAU et al., 2022; BOUTAHIR et al., 2022; ZHANG et al., 2020). Certamente condições atmosféricas ou problemas técnicos estão intrinsecamente relacionados com a eficiência dos módulos e o diagnóstico mais prático nesse caso, é a determinação da curva característica de corrente e tensão (IV) (BELARBI et al., 2013).

Segundo IEC-60904-1-1 (2017) para determinar a curva I-V o módulo deve ser submetido às condições-padrão de ensaio (STC, do inglês *Standard Test Conditions*). Trata-se de uma fonte de tensão variável que realiza uma varredura entre uma tensão negativa de poucos volts (em relação aos terminais do módulo) até ultrapassar a tensão de circuito aberto do módulo (quando sua corrente fica negativa). Durante esta varredura são registrados pares de dados de tensão e corrente, permitindo o traçado de uma curva característica.

3.1 OPERAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM DIFERENTES CONDIÇÕES

Bouraiou et al., (2015) investigaram o impacto das condições climáticas no desempenho de módulos fotovoltaicos considerando características específicas do clima do sul da Argélia e os efeitos de sombreamento parcial ocasionado por sujeira na superfície dos módulos ao longo de 10 anos. O estudo concluiu através da análise da Curva IV e da curva característica de potência e tensão (PV) que o parâmetro elétrico mais atingido com a degradação dos módulos é a potência máxima. De fato, em casos como esses acarretam na perda de potência, potencializam a formação de pontos quentes e podem provocar a condução reversa de células solares, transformando-as em cargas ao invés de geradores (KREFT; FILIPOWICZ; ŻOŁĄDEK, 2020; HANIFI et al., 2019; TEO et al., 2018; ALONSO GARCIA; RUIZ; CHENLO, 2006).

De Soto, Klein e Beckman (2006) buscando fornecer uma ferramenta confiável para prever a geração de eletricidade por painéis fotovoltaicos, fizeram uma comparação entre um modelo com cinco parâmetros elétricos dos quais os dados são fornecidos pelo fabricante e com valores experimentais de uma instalação fotovoltaica. Os estudos concluíram que o modelo desenvolvido se configura como uma boa ferramenta para projetos fotovoltaicos porque requer uma pequena quantidade de dados frente às várias condições de operação.

3.1.1 Sombreamento em módulos fotovoltaicos

O sombreamento em sistemas fotovoltaicos reduz a eficiência e pode provocar problemas mais graves capazes de interromper a geração de eletricidade. Nesse sentido, técnicas são desenvolvidas para avaliar e quantificar o impacto que o sombreamento parcial possui em matrizes fotovoltaicas. À luz disso, Bidram, Davoudi e Balog (2012) extraíram a potência máxima de matrizes fotovoltaicas parcialmente sombreadas a fim de aprimorar técnicas de rastreamento de máxima potência MPPT, um recurso bastante utilizado na literatura para análise de sombreamento. Ademais, realizou experimentos em diferentes configurações de matrizes fotovoltaicas, ampliando as discussões de como as interligações entre módulos fotovoltaicos se portam na condição de sombreamento.

Nessa mesma linha de pesquisa, Villa *et al.* (2012) aborda as interconexões entre os modelos e traz como resultado uma relação clara de interconexões que fornecem um melhor desempenho frente às condições de sombreamento. Buddala, Vemuru e Devabhaktuni (2013) investigam o comportamento de sistemas fotovoltaicos usando configurações paralelas na arquitetura celular e verificam que a potência máxima para um módulo solar configurado em paralelo é obtida com uma resistência de saída fixa. Sobre esse aspecto, Pareek e Dahiya (2014) discutem as interconexão de sistemas fotovoltaicos, realiza comparações entre elas e verifica que a energia gerada aumenta quando as conexões entre os módulos preveem o sombreamento a qual estará submetido.

3.1.2 Efeito avalanche

Quando um grupo de células se encontra sombreado, assiste-se a uma perda da energia produzida de duas maneiras: pela redução da energia gerada pela célula e pelo aumento das perdas nas células sombreadas. Este problema torna-se mais grave quando o sombreamento das células causa a polarização reversa, pois os módulos fotovoltaicos deixam de ser geradores de energia e passam a atuar como carga (ALONSOGARCIA; RUIZ; CHENLO, 2006).

A polarização reversa, também discutida na literatura como efeito avalanche em células solares fotovoltaicas, foi estudada por Alonsogarcia, Ruiz e Chenlo (2006) através de um procedimento desenvolvido para calcular os parâmetros elétricos de um modelo em diferentes condições de operação. Os autores encontraram um bom ajuste entre as curvas características IV obtidas experimentalmente e modela, podendo ser aplicado diferentes tipos de características reversas encontradas nas células solares fotovoltaicas, bem como aquelas dominadas de efeito avalanche e também aqueles em que a avalanche não é percebida porque são dominados pela resistência de derivação ou porque a ruptura ocorre fora de uma faixa de medição segura.

3.1.3 Variação do espectro solar

Outro ponto de análise foi desenvolvido por Kirn e Topic (2017) que considerando a estreita relação do espectro da radiação solar com o aproveitamento energético de módulos fotovoltaicos, verificou as principais variações dos espectros e sua influência na corrente de curto circuito dos módulos fotovoltaicos. Além disso, identificando não só as condições

atmosféricas estes efeitos estiveram presentes, mas as tecnologias fotovoltaicas que se mostraram mais vulneráveis à essas variações, validando assim pesquisas que afirmam que as influências das variações espectrais podem ser significativas dependendo a resposta espectral da célula solar utilizada (KINSEY et al., 2022; DIRNBERGER et al., 2015).

Estudos realizados por Ishii, Otani e Takashima (2011) verificaram que o espectro solar em grande parte influencia a eficiência dos módulos. De fato, Dirnberger *et al.* (2015) concluiu que é razoável e necessário considerar o impacto espectral específico da tecnologia fotovoltaica em procedimentos de classificação energética ou de previsão de rendimento.

3.1.4 Diagnóstico de falhas através da Curva IV

Os módulos são fabricados para extrair a máxima potência independente dos níveis de radiação que estão submetidos e testados sobre condições padrões (DHIMISH; BADRAN, 2020; PARLAK, 2014). Entretanto, na prática sistemas fotovoltaicos estão submetidos a efeitos diversos de operação não controláveis que inclusive provocam falhas significativas na operação. O caminho mais adequado é diagnosticar esses problemas para a melhoria da confiabilidade, segurança e eficiência de usinas fotovoltaicas, tendo em vista as características de saída não lineares e as condições de operação.

Pensando nisso, Chen *et al.* (2019) baseando-se em parâmetros extraídos de curvas características IV monitoradas, realizou experimentos intensivos de falhas no painel fotovoltaico de laboratório e no modelo fotovoltaico para adquirir um volume de amostras experimentais com dados de falhas. Mellit, Tina e Kalogirou (2018) apresentam os principais tipos e causas de falhas e discutiram as vantagens e limites de métodos detectores de falhas do ponto de vista da viabilidade, complexidade, custo-benefício, ampliando as discussões e direcionando pesquisas futuras.

3.1.5 Influência de pontos quentes na Curva IV

O ponto quente ocorre quando uma célula do módulo fotovoltaico opera com temperatura anormal, esta anomalia degrada os módulos e em eventos extremos podem provocar incêndio inesperado em sistemas fotovoltaicos (CHEN *et al.*, 2019). Niazi; Khan e Amir (2018) afirmam que casos graves de pontos quentes em células solares resultam em mau funcionamento dos sistemas que alguns casos podem ser irreversíveis, além disso danos no vidro de células tornam-se comuns e impactam negativamente no desempenho do sistema.

Estudos recentes realizados por Zhang *et al.* (2020) analisa através de simulação, a influência da temperatura derivada de ponto quente e distribuída em células solares de silício cristalino micro defeituosas e verificam que pontos quentes ocorre quando a potência térmica é máxima com taxa de sombreamento relativa de 10 e 20%.

Nessa mesma linha, Dhimish, Mather e Holmes (2020) desenvolveram um algoritmo para identificação de pontos quentes com precisão quase acima de 80%. Chen *et al.* (2019) apresenta as principais vantagens para a identificação de pontos quentes a partir de simulações e testes com módulos fotovoltaicos.

3.2 MODELOS DE IDENTIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS ELÉTRICOS

As curvas dos experimentos, medidas pelo traçador de curvas, são corrigidas segundo os procedimentos de correção de irradiância e temperatura estabelecidos IEC 60891. Na sequência são utilizados os modelos para extração dos parâmetros elétricos dos módulos quando estão sombreados. Posto isso, verifica-se que para estudar os fenômenos típicos de sombreamento em módulos fotovoltaicos, tais como, condução reversa e efeito avalanche, é necessário utilizar modelos matemáticos que levem em consideração a parcela de corrente reversa gerada. Nesse sentido, foram implementados no Matlab® três modelos que descrevem a célula solar considerando regiões de condução direta (geração) e reversa. O critério de seleção dos modelos descritos no Quadro 3.1 é o maior impacto científico em pesquisas dedicadas a conhecer com mais profundidade como a tecnologia fotovoltaica funciona diante de condições de sombreamento.

Posto isso, Bishop (1988) verificou que o comportamento elétrico de células solares varia de acordo com diferentes formas de sombreamento e por isso os modelos devem considerar a operação das células em diferentes quadrantes da curva IV. Quaschnig (1996) e Jung (2013) introduzem ao modelo desenvolvido por Bishop (1988) equações matemáticas de modo a aprimorar a reprodução dos efeitos do sombreamento causado em células fotovoltaicas.

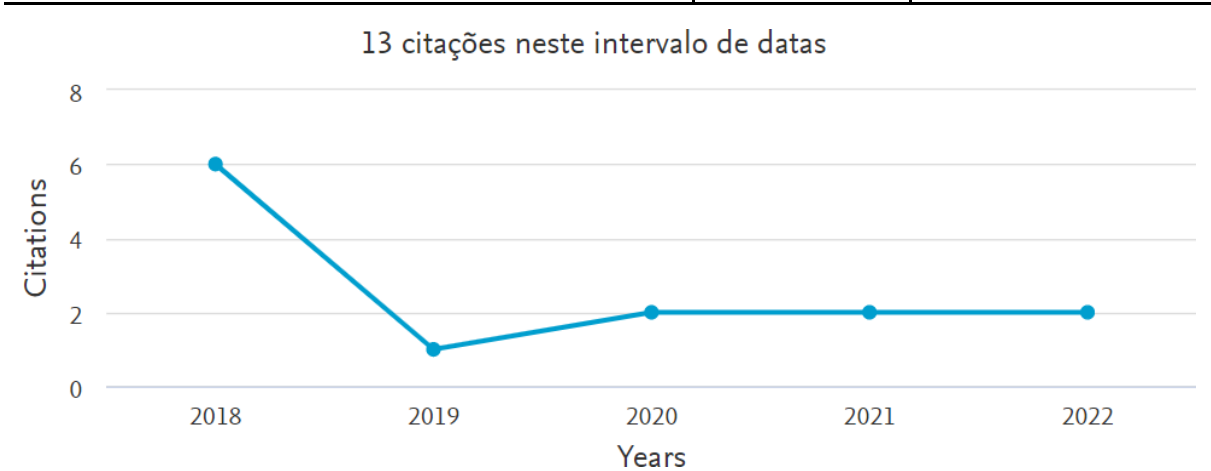
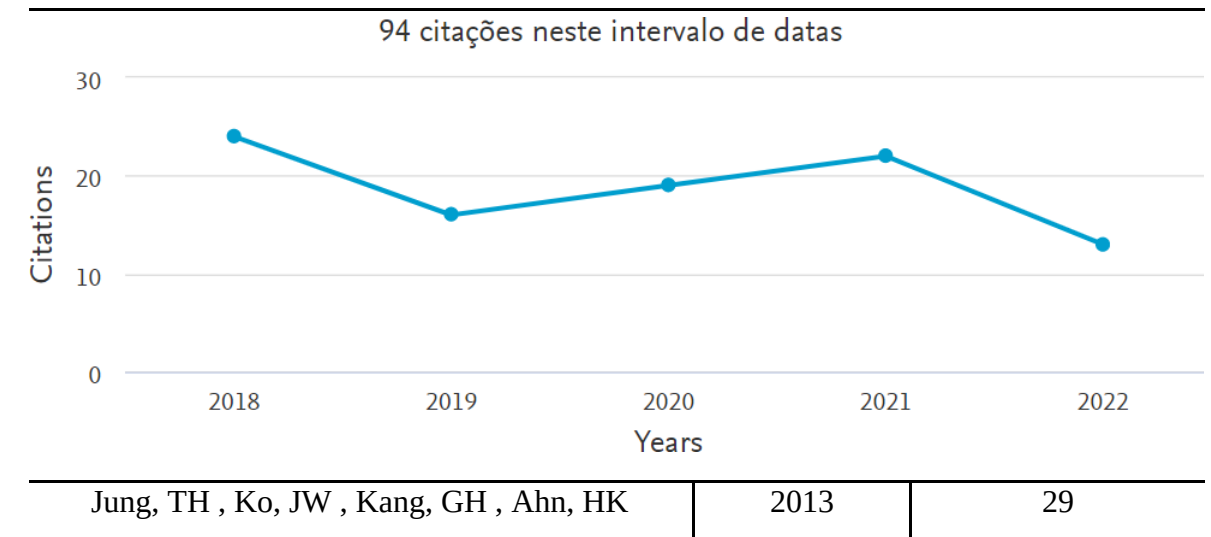
Quadro 3.1 – Modelos de obtenção dos parâmetros elétricos

MODELOS	ANO	CITAÇÕES
Bishop, JW.	1988	325

114 citações neste intervalo de datas

Year	Citations
2018	24
2019	23
2020	21
2021	24
2022	22

Quaschnig, V., Hanitsch, R.	1996	293
-----------------------------	------	-----



(Fonte: Scopus, 2022)

3.2.1 Modelo Bishop, JW (1988)

O modelo é um dos pioneiros no estudo de polarização direta e reversa de uma célula solar. A análise leva em consideração o comportamento da curva IV em três quadrantes do gráfico característico, trazendo em seu escopo um estudo mais aprofundado sobre as perdas de energias provenientes de sombreamentos em células solares. Portanto, o trabalho de Bishop (1988) consolida o conceito do uso de diodos bypass para atenuação de problemas com sombreamento, ao passo que, sinaliza a necessidade de mais estudos sobre sombreamentos a fim de construir novos métodos para minimizar o efeito de sombras em módulos fotovoltaicos (BISHOP, 1988).

Para introduzir as variações de sombreamento no funcionamento da tecnologia fotovoltaica, Bishop (1988) modelou o circuito equivalente de um diodo, analisando os parâmetros elétricos da curva IV a partir da Equação 13 abaixo.

$$J = J_{phot} - J_{sat} \left[\exp \left\{ \frac{q(V + JR_s)}{nkT} \right\} - 1 \right] - J_{shunt} \quad (13)$$

Dada a equação descrita por Bishop (1988) as correntes foram descritas da seguinte forma, J

é a corrente de saída, J_{phot} corrente fotogerada, J_{sat} corrente de saturação do diodo e J_{shunt} corrente de fuga, nesse contexto caracterizada como a corrente reversa da célula sombreada. Os demais parâmetros são os já conhecidos na literatura, tais como q valor absoluto da carga do elétron, V tensão de saída, R_s resistência em série, n fator de idealidade do diodo, k constante de Boltzmann e T temperatura absoluta.

Bishop (1988) determina J_{shunt} como uma função de tensão que controla a condução reversa da célula a partir da resistência paralelo (R_{sh}) e um fator de multiplicação não linear (a). Dessa forma, o sombreamento é descrito a partir de um termo ôhmico que provoca o efeito avalanche, o modelo matemático é descrito na Equação 14, considerando V_j tensão de junção PN, R_{sh} resistência paralelo, a fato ôhmico de multiplicação não linear, V_{br} tensão de ruptura PN e m efeito avalanche.

$$J_{shunt} = \frac{V_j}{R_{sh}} \left\{ 1 + a \left(1 - \frac{V_j}{V_{br}} \right)^{-m} \right\} \quad (14)$$

Como qualquer equação não linear, um dos recursos utilizados é a modelagem de métodos iterativos de solução para determinação das correntes e tensões. Bishop (1988) utiliza como base o modelo de um diodo e concentra-se no efeito avalanche, apresentando as consequências das variações de correntes e resistência com a mudança de níveis de irradiância. É um método preciso e pode ser adaptado para um modelo de dois diodos operando em condições ideais para analisar as características da célula solar (QUASCHNING, V.; HANITSCH, R, 1996).

3.2.2 Modelo de Quaschning e Hanitsch (1996)

No intuito de ampliar os estudos sobre o comportamento de geradores fotovoltaicos sob condições diferentes de sombreamentos, Quaschning e Hanitsch (1996) contribuíram com o estudo de Bishop (1988) desenvolvendo um modelo usual para células solares de dois diodos. Nesse caso, a Equação 13 (equação de Bishop) é estendida com uma expressão matemática que descreve a quebra da junção do diodo por conta da condução reversa da célula. A equação deste modelo é dada na Equação 15.

$$I = I_{ph} - I_{s1} \left(\exp \left(\frac{V + IR_s}{m_1 V_T} \right) - 1 \right) - I_{s2} \left(\exp \left(\frac{V + IR_s}{m_2 V_T} \right) - 1 \right) - \frac{V + IR_s}{R_p} - I - a(V + IR_s) \left(1 - \frac{V + IR_s}{V_{Br}} \right)^{-n} \quad (15)$$

Na Equação 15 a corrente de saída (I) é definida pela I_{ph} corrente fotogerada, I_{s1} corrente de saturação do diodo 1, I_{s2} corrente de saturação do diodo 2, V tensão de saída, R_s resistência em série, m_1 fator de idealidade do diodo 1, m_2 fator de idealidade do diodo 2, V_T tensão térmica, a fato ôhmico de multiplicação não linear, V_{Br} tensão de junção do diodo e n efeito avalanche.

Ao analisar curvas IV de células solares sombreadas com modelo de 2 diodos, Quaschning e Hanitsch (1996) concluíram que existem perdas drásticas de energia com operação de células sombreadas. O diodo by-pass segue como um bom recurso para reduzir os danos causados por sombreamento, entretanto ainda é necessário o conhecimento mais aprofundado sobre as consequências dos sombreamentos em sistemas fotovoltaicos, visto que

a condução reversa traz danos físicos consideráveis na entrega de potência.

3.2.3 Modelo de Jung et al. (2013)

No modelo proposto por Jung (2013) é considerado mais versátil porque tem uma abrangência maior de fatores que influenciam a condução reversa de módulos fotovoltaicos causados por sombreamento. O método foi aplicado para o modelo elétrico de um diodo levando em consideração primeiramente o número de células sombreadas e o número total de células do módulo, em segundo um fator ôhmico adicional reflete as variações da corrente reversa e em terceiro a redução de uma corrente simulada à tensão de circuito aberto, a fim de comparar os dados de medição do módulo com dados experimentais em campo. Assim, Jung (2013) propõe um modelo baseado na Equação 16.

$$\begin{aligned}
 I = I_{ph} - I_0 \left[\frac{I_{ph(shade)} - I}{I_{ph} - I} \right] & \left[\exp \left(\frac{q(V/N + IR_s)}{nkT} \right) - 1 \right] - \left(\frac{V/N + IR_s}{R_{sh}} \right) \\
 + \alpha \cdot \frac{(I_{ph} - I_{ph(shade)})}{I_{ph}} & \left[\frac{(N - M)V_{oc} - (V + NIR_s)}{M(R_s + R_{sh})} \right] \left[\frac{MV_b}{V_b - (N - M)V_{oc} + V + NIR_s} \right]^\beta \\
 + \gamma \frac{(I_{ph} - I_{ph(shade)})}{I_{ph}} & \left[\frac{(N - M)V_{oc} - (V + NIR_s)}{M(R_s + R_{sh})} \right]
 \end{aligned} \quad (16)$$

A equação proposta por Jung descreve os parâmetros elétricos onde I é a Corrente de saída, I_{ph} corrente fotogerada, I_0 corrente de saturação reversa, $I_{ph(shade)}$ fotocorrente da célula solar com sombra, V tensão de saída, N número de célula solares no módulo fotovoltaico, R_s resistência série, n fator de idealidade, k constante de Boltzmann, T temperatura absoluta, R_{sh} resistência paralelo, α constante relacionada ao efeito avalanche, M número de células solares parcialmente sombreadas, V_{oc} tensão de circuito aberto, V_b tensão de ruptura da célula solar e β constante relacionada ao efeito avalanche.

CAPÍTULO 4

Métodos e planejamento da pesquisa

Este capítulo discorre sobre os aspectos relacionados à classificação metodológica da pesquisa, aos procedimentos experimentais para a seleção de módulos e células fotovoltaicas estudados, às fontes de coletas e processamento de dados.

4.1 CLASSIFICAÇÃO METODOLÓGICA DA PESQUISA

Os aspectos metodológicos desta pesquisa estão norteados pelas classificações sugeridas por Gil (2008) e Marconi e Lakatos (2010). Quanto à natureza, as pesquisas podem ser de origem básica ou aplicada, onde a primeira tem como objetivos gerar conhecimentos úteis sem necessariamente aproveitamentos práticos e a segunda gerar conhecimento para a solução de problemas específicos envolvendo pesquisas aplicadas que envolvem verdades e interesses pontuais (Marconi e Lakatos, 2010), sobre esse aspecto, a pesquisa deste trabalho possui natureza aplicada.

A respeito da abordagem, esse trabalho se caracteriza como um problema qualitativo. A natureza qualitativa é desenvolvida a partir do ambiente natural, na coleta de dados e no pesquisador. Os principais instrumentos para o desenvolvimento da pesquisa possuem caráter descritivo. Nessa abordagem, a análise está pautada nos dados indutivos que estão intrinsecamente relacionados com os processos e os princípios de abordagens (Gil, 2008; Marconi e Lakatos, 2010).

É necessário determinar os meios técnicos de investigação para garantir a precisão e consistência dos dados e resultados analisados. Posto isso, o método específico adotado é o experimental, onde desenvolve-se essencialmente em submeter aos objetos de estudo à influência de variáveis em condições conhecidas pelo pesquisador a fim de observar os conhecimentos gerados pela influência das variáveis no objeto de estudo (Gil, 2008).

4.2 PLANEJAMENTO DA PESQUISA

O processo de investigação da pesquisa foi planejado mediante o desenvolvimento de quatro etapas, as quais se desdobram em cinco experimentos (Quadro 4.1). Com isso, cada processo está relacionado com os objetivos específicos da pesquisa. Posto isso, os experimentos foram realizados buscando analisar o comportamento da operação de módulos fotovoltaicos, mediante a mudança de níveis de irradiância, parâmetros físicos e elétricos em células fotovoltaicas.

Quadro 4.1 – Estrutura e planejamento da pesquisa

INDAGAÇÃO DA PESQUISA
Qual o impacto que diferentes tipologias de sombreamentos podem causar na operação de módulos fotovoltaicos?

ETAPAS	PROCESSO	OBJETIVO
1. Seleção de módulos fotovoltaicos	Análise de imagens de eletroluminescência	Verificar o módulo que apresenta maior e menor grau de anomalias e defeitos
2. Seleção das células fotovoltaicas	Análise da intensidade dos pixels nas células	Avaliar qualitativamente as células que podem apresentar os melhores e piores rendimentos durante a operação dos módulos fotovoltaicos
3. Realização de experimentos de campo com as células selecionadas	Tensão de ruptura Sombreamento total Sombreamento parcial Sujidade Variação do Espectro	Avaliar como células sombreadas impactam na curva característica corrente e tensão (IV) de módulos fotovoltaicos.
4. Pesquisa descritiva	Levantamento e compilação dos resultados de cada experimento	Estudar as curvas IVs dos módulos selecionados a fim de verificar e descrever a influência que diferentes tipos de sombreamento em células fotovoltaicas podem causar nos módulos.

4.2.1 Fonte de Dados

Para adotar o método específico deste trabalho foi levada em consideração as imagens de eletroluminescência de 9 (nove) módulos fotovoltaicos disponíveis no Laboratório de Engenharia e Energia (LABENG), alocado no Departamento de Engenharia Mecânica (DMEC) do Universidade Federal de Sergipe (UFS).

Os módulos são da fabricante Komares® Solar, modelo KM(P)5, policristalino, com 36 células ligadas em séries e parâmetros técnicos conforme descrito na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Parâmetros elétricos e especificações do módulo fotovoltaico

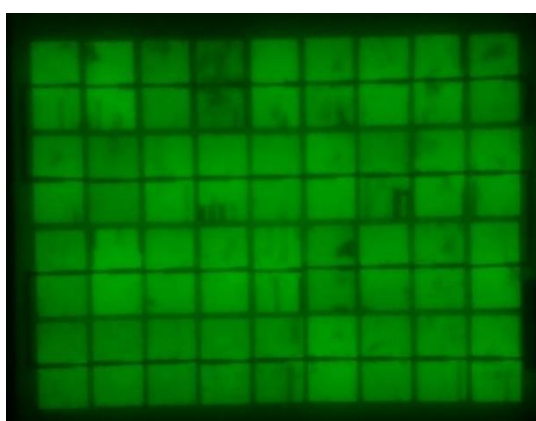
Modelo	KM(P)5	
Máxima Potência	P _{max} (W)	5 W

		(continuação)
Tolerância	%	±5%
Tensão de Máxima Potência	V _m (V)	17.74 V
Corrente de Máxima Potência	I _m (A)	2.84 A
Tensão de Circuito Aberto	V _{oc} (V)	21.56 V
Corrente de Curto Circuito	I _{sc} (A)	3.04 A
Eficiência da Célula	%	14.25
Eficiência do Módulo	%	11.81
Número de Células	Pcs	36
Tipo de Célula	Silício Policristalino	
Coeficiente de Temperatura I _{sc} (α_{rel})	%/°C	+0.05
Coeficiente de Temperatura V _{oc} (β_{rel})	%/°C	-0.35
Coeficiente de Temperatura da Potência (γ)	%/°C	-0.47

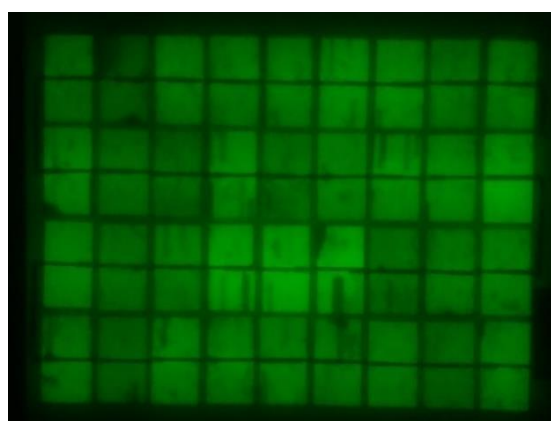
Fonte: (Komares®, 2019)

Imagens de eletroluminescência são obtidas através de uma câmera sensível ao curto infravermelho (espectro centrado em 1150 nm). Essas imagens permitem a detecção de microfissuras, metalização quebrada, inatividade de regiões e anomalias em células fotovoltaicas, sendo a intensidade dos pixels uma variável fundamental para a identificação de defeitos (FAYE et al., 2019; SKOMEDAL et al., 2020). Dessa forma, a partir das imagens dos 9 módulos, foram selecionados 2 módulos para a execução dos experimentos. O critério de escolha foi definido a partir das imagens que apresentaram menor e maior intensidade de anomalias entre os módulos da Figuras 4.1 a e b respectivamente.

Figura 4.1 – (a) Imagem do Módulo Fotovoltaico com células menos escurecidas; (b) Imagem do Módulo Fotovoltaico com células mais escurecidas.



(a)



(b)

Para fins práticos, ao longo deste trabalho os módulos da Figura 3.1 serão citados como A e B, respectivamente. Conforme verificado as imagens de eletroluminescência apresentam de forma rápida para o diagnóstico de defeitos e anomalias que podem ser intrínsecos do processo de fabricação ou pela degradação por efeitos ambientais (SKOMEDAL et al., 2020).

Assim, por inspeção visual temos nos módulos A e B discrepâncias na intensidade de pixels em suas células fotovoltaicas.

4.2.2 Seleção das células fotovoltaicas

Comumente, módulos e células fotovoltaicas usam a corrente como parâmetro para análise de desempenho. O mapeamento das imagens de módulos através da técnica de eletroluminescência permite a caracterização das células individuais e a análise qualitativa de defeitos relacionados com a geração de energia de cada célula, principalmente quando está submetida ao decaimento da fotocondutividade por efeitos adversos provocados por variações da irradiância (FUYUKI et al., 2005).

Portanto, a seleção das células ocorreu baseado no levantamento fotográfico de imagens extraídas pela técnica de eletroluminescência. Essa técnica fundamenta-se primeiramente na segmentação da imagem, ou seja, apenas as células são identificadas sem os barramentos. Na sequência as células são conectadas a uma fonte de tensão e os valores de corrente são observados, nesse contexto através do software DataArtist® é calculado a medida da intensidade dos pixels emitidas por cada célula, com isso é possível prever qualitativamente o estado físico e o desempenho de cada célula a partir da intensidade dos pixels apresentados. Esse método, configura-se como uma ótima ferramenta de análise qualitativa de células solares (KROPP; SCHUBERT; WERNER, 2018; POTTHOFF et al., 2010).

Nesse sentido, é apresentada a Tabela 4.2 com a média das intensidades dos pixels extraídos das imagens de eletroluminescência em cada célula dos módulos A e B. Nesta etapa as células foram selecionadas a partir da média de intensidade dos pixels considerando a predominância de áreas escurecidas, a previsibilidade de operação, a localização de anomalias apresentadas nas imagens. Salienta-se que as informações extraídas da Figura 4.1 e os dados na Tabela 4.2 estão sincronizados.

Tabela 4.2 – Média de Intensidades dos pixels no módulo A e no módulo B

Média da Intensidade dos pixels no Módulo A								
68,35	75,38	65,35	52,26	74,38	69,00	75,35	71,09	62,47
69,54	68,71	79,48	78,20	79,51	81,72	68,19	76,90	75,39
68,16	83,32	81,30	82,87	80,61	71,11	77,02	74,98	77,86
59,61	66,97	67,00	69,98	66,36	80,03	72,88	71,81	72,77

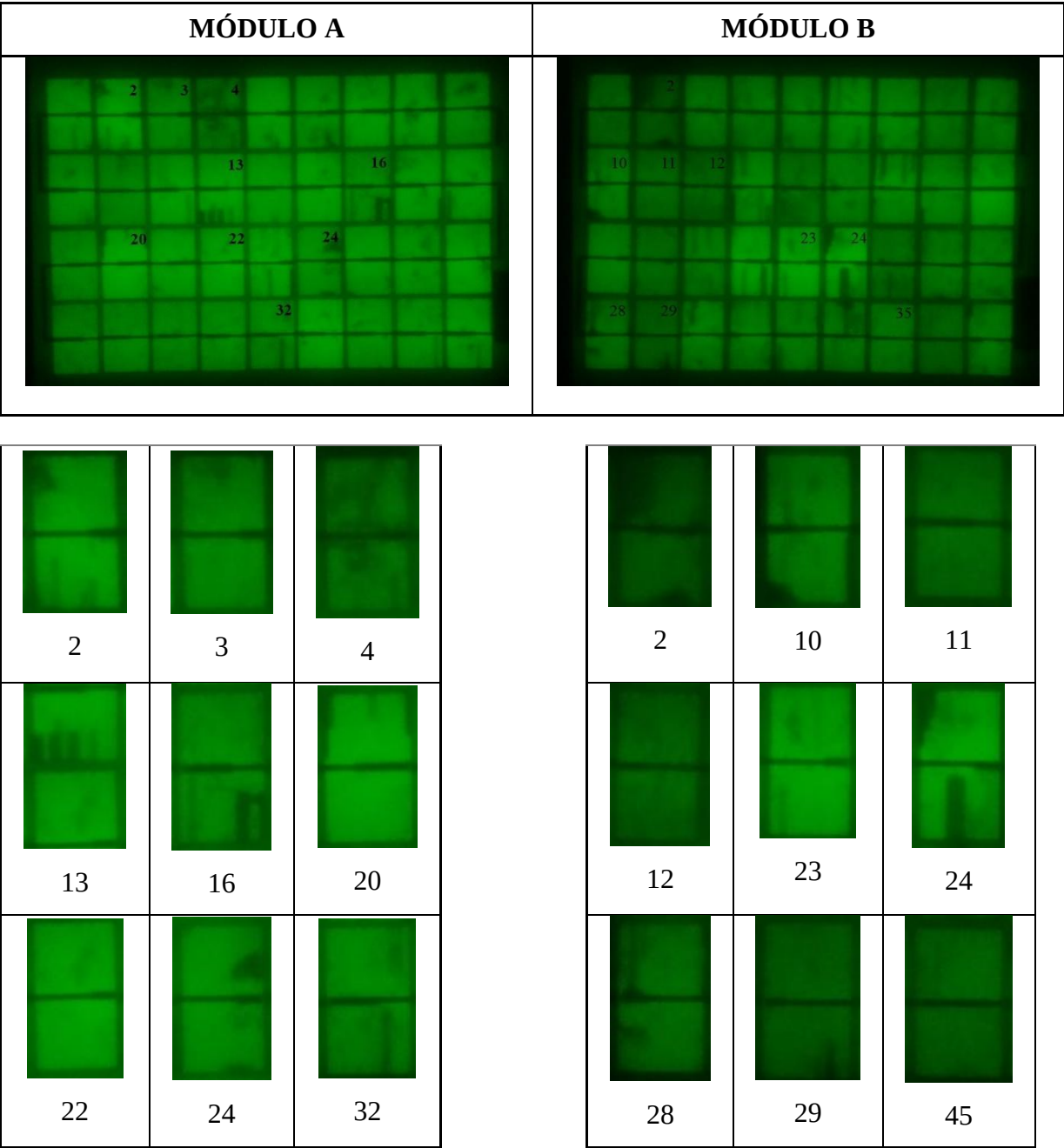
(a)

Média da Intensidade dos pixels no Módulo B								
43,53	34,06	52,70	54,20	53,48	62,79	58,66	51,21	51,47
53,19	50,81	48,33	60,33	53,01	60,48	62,33	61,45	65,61
56,64	51,06	57,34	70,90	72,45	64,61	51,56	57,05	56,63
49,41	44,47	57,53	57,09	56,98	51,34	54,90	47,59	55,60

(b)

As tabelas apresentam intensidades de pixels, destacando em amarelo a menor intensidade e em azul a maior intensidade. Com isso, percebe-se de modo geral que o módulo B apresenta uma tendência a ter mais perdas de potência do que o módulo A. A concentração de regiões escurecidas em regiões próximas aos barramentos, ou nas extremidades das células dá indícios de perdas de potencial por resistência série. Na resistência em paralelo, compreende-se que nas células com baixa intensidade de pixels em sua superfície, a corrente de saída é influenciada pela interação dos elétrons e buracos na junção PN em regiões menos ativas, aumentando assim a influência da resistência em paralelo (KROPP; SCHUBERT; WERNER, 2018). Nesse contexto, foram selecionadas 9 células em cada módulo células norteadas pelo conteúdo científico que as imagens de eletroluminescência trazem em seu escopo. Assim, as Figuras 4.2 apresenta as células selecionadas para a execução dos experimentos.

Figura 4.2 – Seleção das células no Módulo A e B



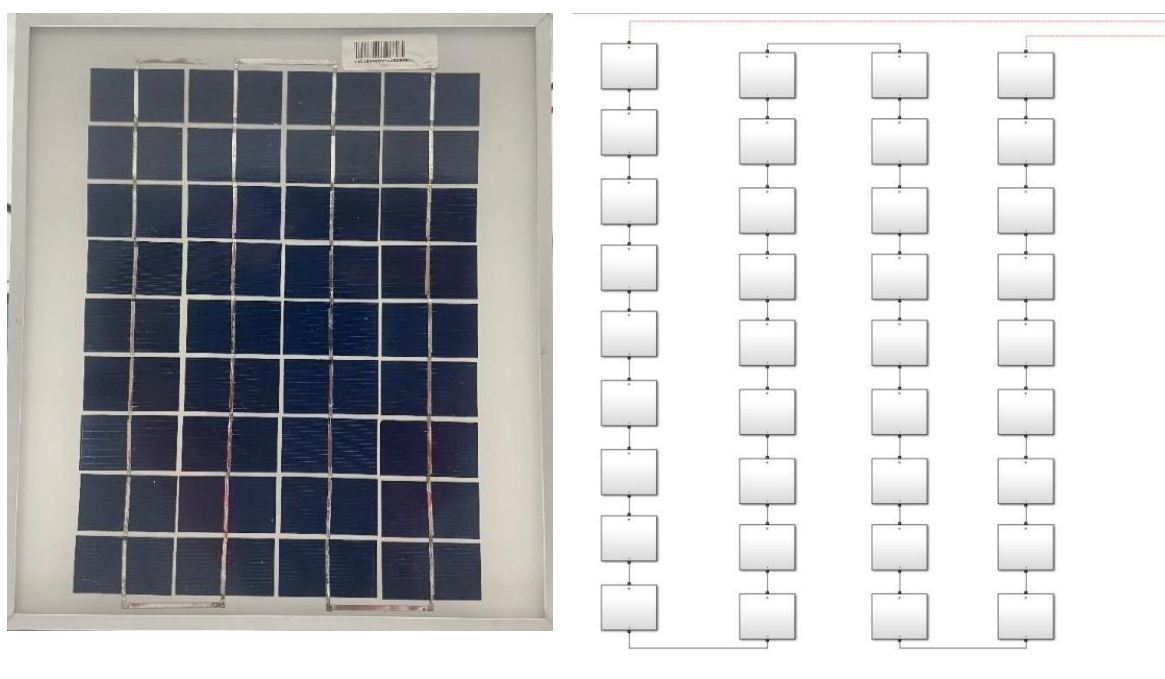
4.3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

O estudo sobre o impacto do comportamento de módulos fotovoltaicos operando com células em diferentes tipologias de sombreamento é realizado nos módulos policristalinos A e B, nas 18 células selecionadas. O ponto de máxima potência dos módulos fotovoltaicos quando os mesmos estão operando em sol pleno, entretanto isso nem sempre é possível. Sombras prejudicam o fornecimento de energia, além disso os parâmetros elétricos de saída dos módulos variam de acordo com as condições de operação como temperatura, irradiância solar, umidade relativa do ar, nebulosidade e podem ser analisadas através de experimentos de campo (ZHANG et al., 2020).

Nesse contexto, 5 experimentos foram realizados com o intuito de verificar a influência que modalidades de sombreamento em células com diferentes níveis de anomalias exercem sobre os parâmetros elétricos e a curva IV dos módulos fotovoltaicos A e B. Os experimentos com as células se desdobraram entre: sombreamento total, sombreamento parcial, sujidade, variação do espectro solar e análise da tensão na região de ruptura.

Os experimentos levaram em consideração a comparação entre as curvas características de tensão e corrente do módulo operando em condições reais e sob sombreamento. Os módulos utilizados são fabricados pela Komares®, modelo KM(P)5 e parâmetros elétricos apresentados na Tabela 4.1. Os módulos são de silício policristalino e possuem 220mm de largura, 250mm de altura e 18mm de profundidade (Figura 4.3). Como visto, o módulo possui 36 células conectadas em série das quais 9 foram selecionadas para experimentação. Esses módulos estão disponíveis no LABENGE, alocado no Departamento de Engenharia Mecânica (DEMEC) na Universidade Federal de Sergipe (UFS).

Figura 4.3 – Módulo fotovoltaico disponível para realização de pesquisas no LABENGE



Os experimentos foram realizados com irradiância variando entre 900 e 1200 W/m², temperatura entre 22 e 35°C. Para atingir essa temperatura, bolsas térmicas proporcionais ao tamanho do módulo foram utilizadas para refrigeração uniforme em toda placa solar. Esses critérios foram adotados a fim de minimizar os erros nos procedimentos de correção de irradiância e temperatura para os valores padrões de teste estabelecidos pela *International Electrotechnical Commission* (IEC): 1000 W/m², 25° C e Massa de Ar em 1,5 (IEC 60891, 2009).

4.3.1 Obtenção da curva IV

Para captação da radiação direta incidente, ajustes dos ângulos de inclinação durante as mudanças sazonais e movimentação do sol, foi utilizado um rastreador solar desenvolvido por Santos (2019), conforme imagem da Figura 4.4. Rastreadores são mecanismos eletromecânicos com capacidade de se manter orientado para o sol ao longo do dia independente da época do ano, este fato contribui de forma significativa para a melhora do desempenho na conversão de energia, tal como com a melhoria da eficiência energética (KOTTAS; BOUTALIS; KARLIS, 2006; MASIH et al., 2019).

Figura 4.4 – Rastreador solar



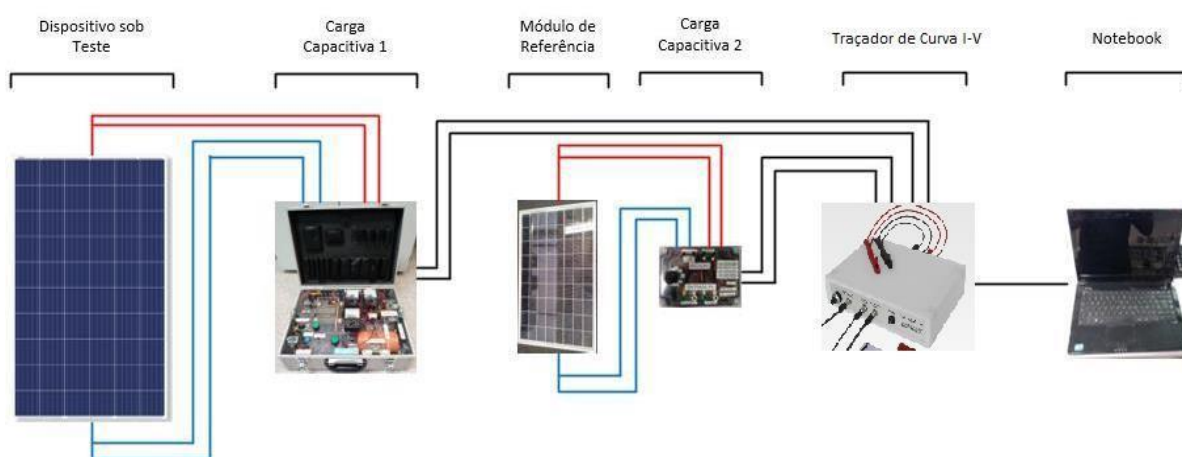
Fonte: Silveira, Santos e Riffel (2016)

As curvas característica IV do módulo fotovoltaico, foram obtidas com o traçador de curvas IV PV-KLA 4.4® do fabricante *Mencke & Tegtmeier GmbH* (Figura 4.3), portanto as medidas consideram irradiâncias próximas a 1000W/m² para que haja menor influência possível nas correções das curvas. O PV-KLA é um traçador de curvas muito versátil, didático e pode ser utilizado em ambientes internos e externos. Além disso, o traçador conta com

interface USB para controle direto do dispositivo através do software PVK oferecendo precisão e confiança nos dados em pesquisas científicas.

No estudo, os experimentos foram realizados na área externa do LABENGE, entre os períodos de agosto de 2021 e maio de 2022. Posto isso, considera-se que os experimentos trazem em seus resultados as interferências que as condições climáticas das 4 estações do ano. Segundo prognóstico climático do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2022), nesse período não é possível afirmar categoricamente que a região Nordeste passou por um verão típico, a estação mais propícia para a realização de experimentos com energia solar. O INMET afirma que a região tem apresentado chuvas acima da média, alto índice de nebulosidade, que impactam significativamente na irradiância, temperatura e massa de ar (INMET, 2022).

Figura 4.5 – Arranjo experimental para medir curvas I-V



Fonte: Brito (2018)

Conforme Figura 4.5, a obtenção da curva IV é realizada com dois módulos, o primeiro é o dispositivo sob teste, utilizado na realização do experimento, o segundo é o módulo de referência utilizado para obter valores de irradiância e temperatura de referência, conectados a cargas capacitivas, através de 4 fios (preto e vermelho), para as medições de corrente e tensão de cada módulo. Todos esses elementos fazem parte do PV-KLA 4.4, que fica conectado ao notebook para obtenção de valores de corrente e tensão durante o experimento. As medições são registradas e arquivadas no software PVK 5.11 em formato de texto (txt).

4.3.2 Descrição dos experimentos

Em geral, todos os experimentos utilizam-se de sombreamento para avaliação das células selecionadas. No experimento da variação de ruptura, não foi utilizado o traçador de curva, visto que o interesse estava nos valores de tensão fornecidos pelo módulo quando a célula estava sombreada. Os demais experimentos utilizaram-se da curva IV sombreada para analisar o comportamento dos parâmetros elétricos do módulo. Nesse sentido, para fins de compreensão, os experimentos realizados com os módulos A e B foram enumerados da seguinte forma:

- I. Variação da tensão na região de ruptura;
- II. Sombreamento Total da Célula solar
- III. Sombreamento Parcial da Célula solar (50%);
- IV. Sujidade;
- V. Variação do espectro solar;

O experimento I avaliou a tensão de ruptura das células selecionadas nas imagens de eletroluminescência. Para tanto, os módulos A e B são colocados em série com uma fonte DC em zero Volts, nessa etapa são coletados os valores de corrente de curto-circuito e tensão gerada pelo módulo. Paralelamente é verificada se a irradiância está entre 900 e 1200 W/m² através da célula de referência. Atingido as condições de teste, a célula a ser testada é sombreada, provocando a interrupção da corrente pelo módulo.

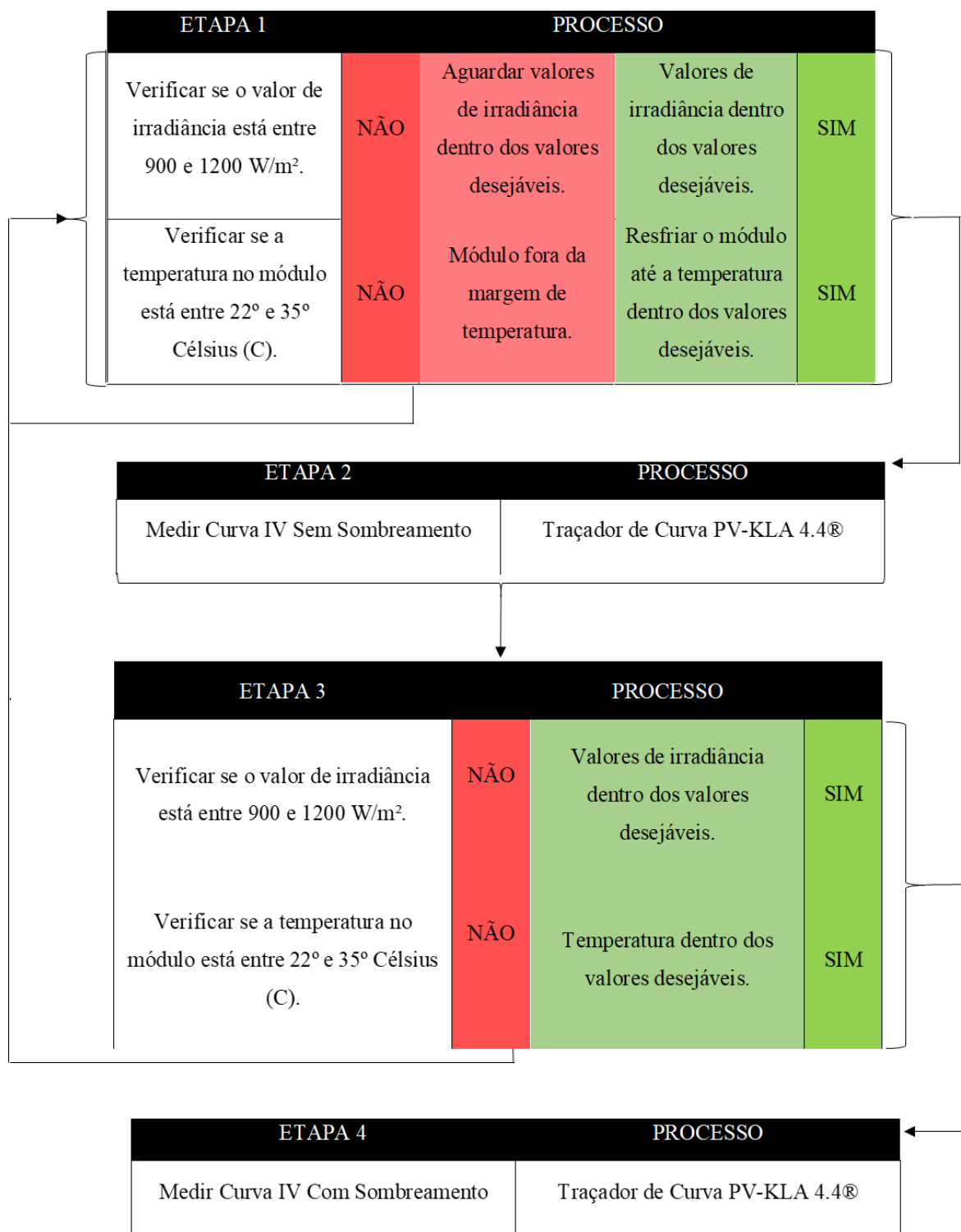
A tensão da fonte DC é elevada até que o módulo volte a conduzir e anota-se a tensão necessária para fazer a corrente atingir o valor de curto circuito que estava antes do sombreamento. Isso força a célula sombreada a conduzir reversamente. Uma breve descrição dos procedimentos experimentais é apresentada no Quadro 4.2. Os procedimentos realizados nos itens 1, 2 e 3 são quando a célula está sem sombreamento e com o módulo desconectado da fonte DC. Os itens 4 e 5 são os procedimentos para obtenção dos dados com a célula sombreada.

Quadro 4.2 – Procedimentos para o experimento I

EXPERIMENTO I	
↓	Verificar se o valor de irradiância está entre 900 e 1200 W/m ² .
	1. Módulo conectado a uma fonte DC;
	2. Medir valores de corrente de curto circuito e tensão de circuito aberto;
	3. Sombrear a célula selecionada no módulo (A ou B).
	Verificar se o valor de irradiância está mantida 900 e 1200 W/m ² , caso contrário reiniciar os procedimentos experimentais
	4. Aplicar a tensão no módulo com a fonte DC até atingir o valor corrente de curto circuito sem sombreamento na célula (medido em 2);
	5. Verificar a diferença nas medições de tensão sem e com sombreamento e fazer anotações dos dados
Tensão na região de ruptura em cada célula analisada	

Para os experimentos II, III, IV e V, que utilizam a curva IV como base de análise, os procedimentos experimentais são descritos conforme o Quadro 4.3, destaca-se ainda que em todos os experimentos 18 células são estudadas nos Módulos A e B e estão disponíveis consulta no apêndice deste trabalho.

Quadro 4.3 – Procedimento para os experimentos II, III, IV e V



Nota-se que na execução dos experimentos a irradiância e a temperaturas são grandezas constantemente monitoradas a fim de evitar interferências nos resultados, ambos auxiliados pelo módulo de referência e o sensor de temperatura, respectivamente. Para obtenção dos valores de irradiância dentro dos limites toleráveis, o processo era sempre executar os experimentos em horários mais propícios e com baixa nebulosidade, quanto à temperatura, foi

utilizado bolsas térmicas para o resfriamento uniforme do módulo de modo que fossem atingidos os valores pré-estabelecidos. O sombreamento parcial é considerando o barramento da célula, nesse sentido, a célula é sombreada na parte superior e inferior de sua superfície (50% da célula).

Para simulação das diferentes tipologias de sombreamento foram utilizados emborrachado preto os experimentos I, II e III; fita adesiva com partículas de sujeira comuns em sistemas fotovoltaicos para o experimento IV e plástico do tipo celofane nas cores vermelho, azul e verde para o experimento V. Os materiais utilizados podem ser observados na Figura 4.6. Com os procedimentos experimentais mantidos, esses materiais eram colocados sobre a superfície da célula e as medidas de tensão e corrente eram obtidas, tanto para análise do experimento I quanto para o estudo do comportamento da curva IV.

Figura 4.6 – (a) Emborrachado preto para sombreamento dos experimentos da tensão de ruptura (I), sombreamento parcial (II) e total da célula (III); (b) Durex com sujeira (IV); (c) Celofanes para variação do espectro solar (V)

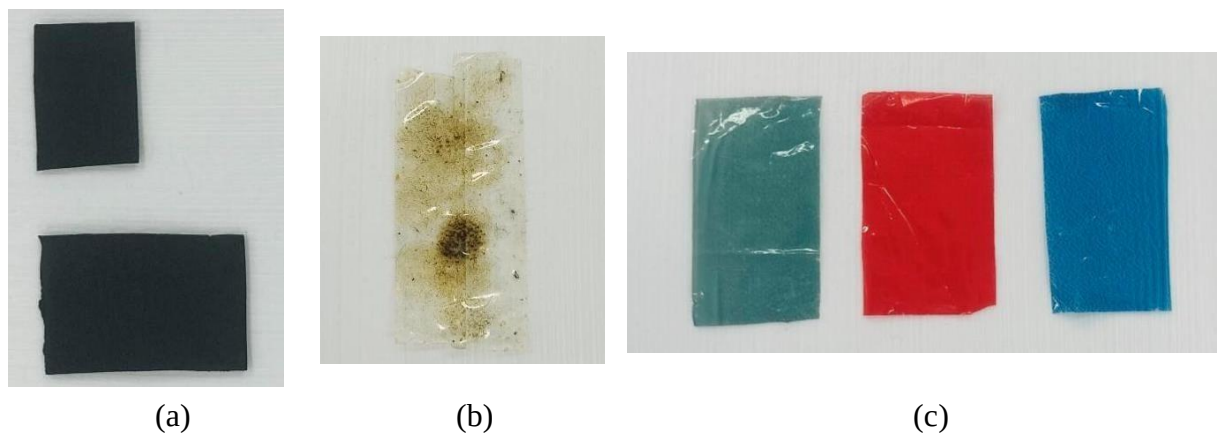
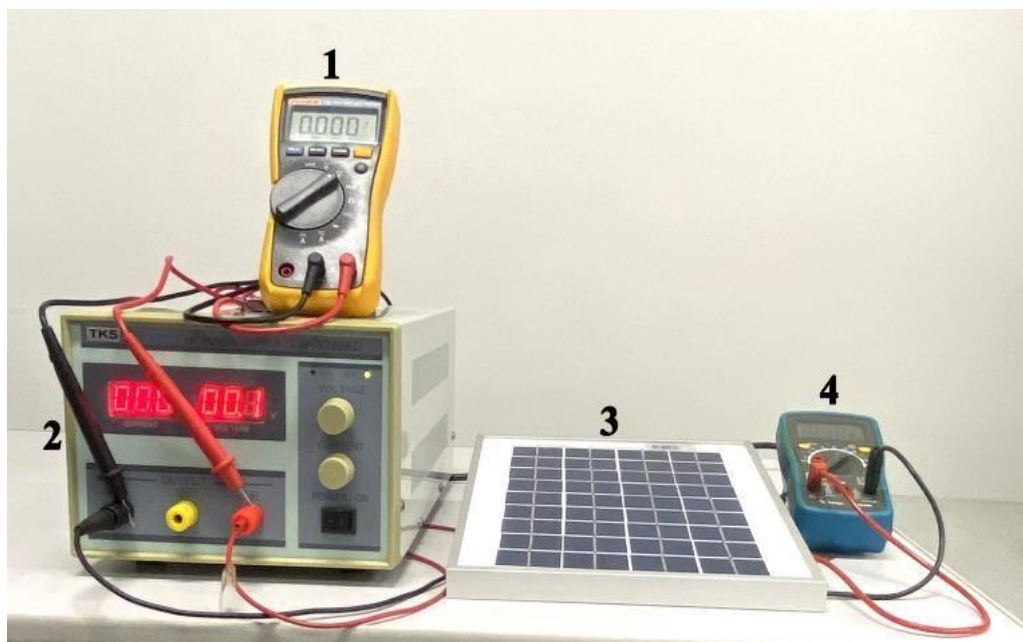


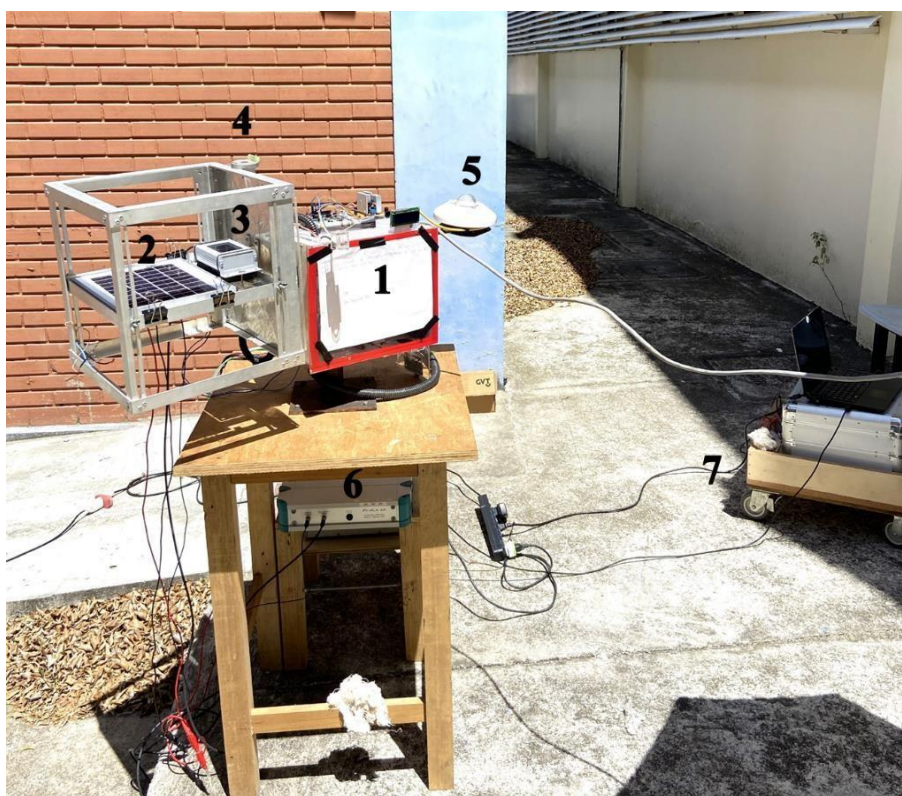
Figura 4.7 – Estrutura para realização do experimento da tensão de ruptura



A Figura 4.7 apresenta o multímetro 4 para medição de corrente fotogerada (I_{ph}), esse dado é comparado com o valor fornecido pelo fabricante, conferida a igualdade ou proximidade, é constatada que o módulo está operando com valores irradiância suficiente para a entrega máxima de potência. Na sequência, o valor de tensão é conferido com multímetro 1, com a introdução do sombreamento o valor da tensão diminui, e aí a fonte a fonte (2) começa a fornecer tensão para o módulo (3). Com isso, os valores de tensão medidos com o multímetro 1 representam o estado físico que a célula se encontra e sua predisposição em entrar em condução reversa.

A estrutura dos experimentos que utilizaram a comparação da curva característica de tensão e corrente dos módulos são descritos na Figura 4.8.

Figura 4.8 – Estrutura para realização dos experimentos II, III, IV e V



A Figura 4.8 apresenta o rastreador solar (1) que possui em sua estrutura o pireliômetro (4) e o piranômetro (5). O módulo (2) é acoplado no rastreador no mesmo plano que a célula de referência (3) do traçador de curvas (6) que está conectada ao software PVK 5.11 (7). Os procedimentos experimentais, em todos os cenários, ocorreram conforme já descrito no Quadro 4.3.

4.5 ANÁLISE DOS DADOS

Os dados experimentais foram organizados em quadros e estão disponíveis na íntegra no apêndice deste trabalho. A análise dos resultados estendeu-se pelas células, entre as 18, que apresentaram características mais relevantes considerando a intensidade dos pixels, a existência

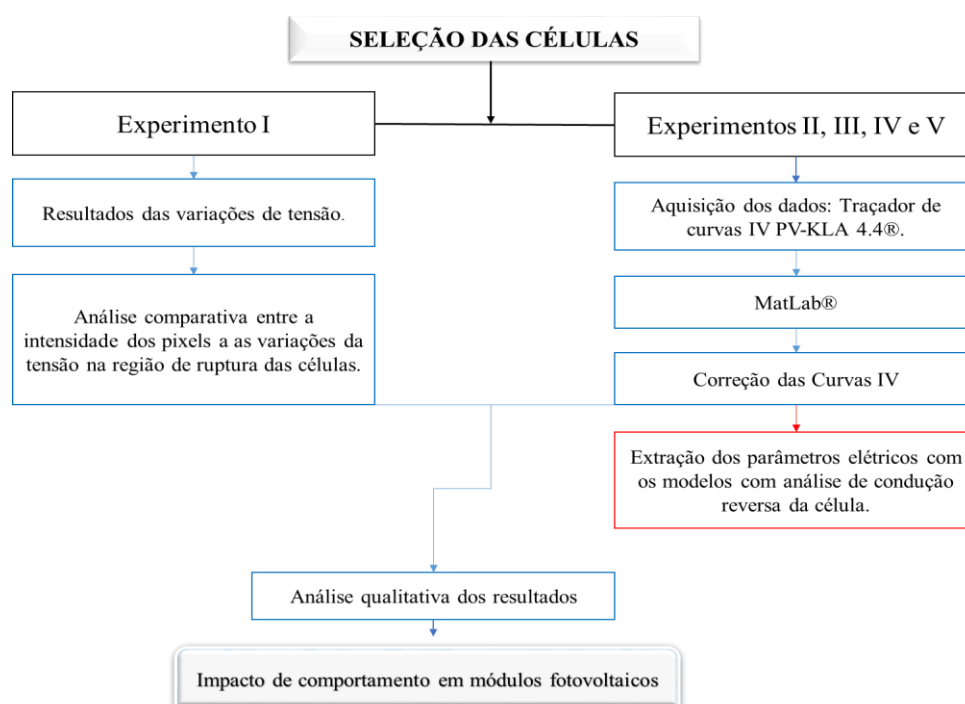
das superfícies ativas e escurecidas analisadas na imagem de eletroluminescência. Todos os experimentos abordam em essência a operação das células quando estão sombreadas, entretanto a extração dos dados é diferente do experimento I com os demais.

Dessa forma, os resultados das tensões na região de ruptura foram coletados analiticamente, e comparado com as imagens de eletroluminescência a fim de estabelecer uma relação quantitativa entre a imagem e os valores observados nas tensões. Os sombreamentos dos experimentos II, III, IV e V foram estudados inicialmente com análise comparativa entre a curva do módulo operando em sol pleno e a curva do módulo operando com a célula sombreada, assim percebendo com mais profundidade o impacto que a célula causa na entrada de potência do módulo.

Quanto à avaliação dos parâmetros elétricos, foi verificado que os modelos descritos no Capítulo 3 não forneceram valores consistentes para análise. Os valores fornecido para os parâmetros não são consistentes para as curvas IV quando as células estão sombreadas. O que ocorre, é que cada módulo possui a curva IV obedecendo as condições padrões de teste (STC) e se identifica os parâmetros elétricos, depois que as células do módulo são submetidas ao sombreamento, ou condução reversa, traça-se a curva IV e os modelos identificam novos parâmetro, entretanto sem explicações física.

Posto isso, as discussões desse trabalho desdobram-se na relação qualitativa que os parâmetros elétricos estabelecem com o comportamento do gráfico da curva característica de tensão e corrente dos módulos sombreados. De forma complementar, essas análises são confrontadas com os resultados observados no experimento I. A Figura 4.9 traz um fluxograma demonstrando a sequência de análise e elaboração das discussões dos resultados, bem como o processo limitante da pesquisa em vermelho, e em azul os processos que contribuíram com a análise dos resultados.

Figura 4.9 – Processos para análise dos resultados



CAPÍTULO 5

Sombreamento de células solares: impacto de diferentes tipologias de sombras na operação de módulos fotovoltaicos

Os resultados experimentais são extraídos do modelo de diodo único e são estudados analiticamente a partir dos parâmetros elétricos e das curvas IV corrigidas. Nesse sentido, este capítulo apresenta diferentes cenários de operação de módulos fotovoltaicos a partir de aspectos qualitativos.

5.1 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Em células fotovoltaicas conectadas em série, o desempenho do arranjo é afetado negativamente quando as células não estão uniformemente iluminadas, ou apresentam anomalias em sua estrutura. Em vista disso, os resultados foram compilados e organizados levando em consideração as características dos procedimentos experimentais e as condições de operação do módulo fotovoltaico em cada experimento. Nesta seção serão apresentados a organização dos resultados para cada experimento, no Apêndice deste trabalho estão disponíveis os resultados para cada célula estudada nos experimentos II, III, IV e V.

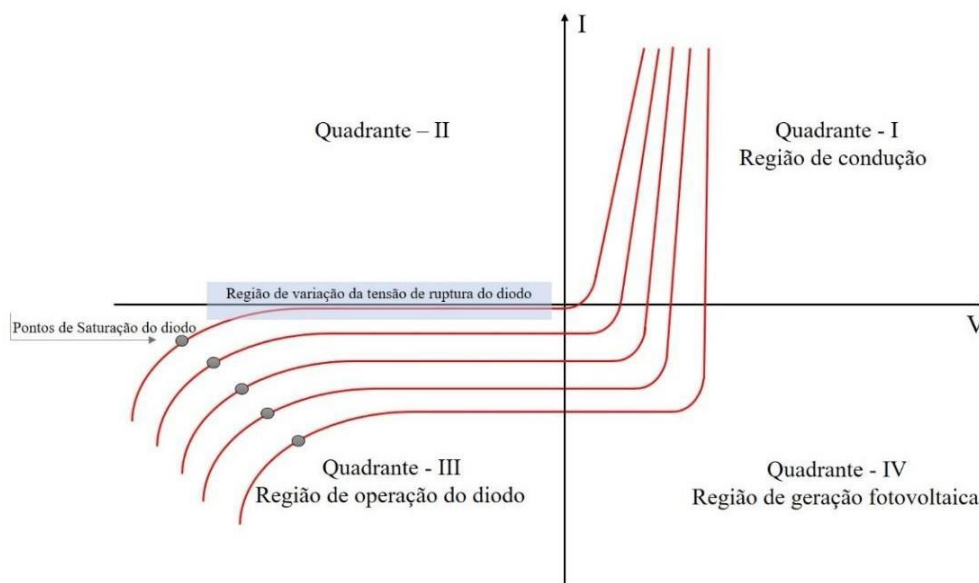
5.1.1 Experimento I – Variação da tensão de ruptura

As células colocadas sob experimentação foram analisadas norteadas pela Figura 5.1. A tensão na região de ruptura decorre da polarização reversa das células provocada pelo sombreamento. Este fenômeno foi estudado com o auxílio de uma fonte DC a fim de fornecer a demanda de tensão necessária para manter os valores da corrente de curto-circuito quando a célula é sombreada.

Segundo Mertens (2014) quando não há luminosidade a célula fotovoltaica tem seus pontos de operação conforme apresentado em conformidade com o quadrante IV. Entretanto, quando a célula é sombreada, a corrente flui na direção inversa e a célula passa a operar na região de ruptura (Quadrante III). A tensão induzida nas células para análise do efeito da corrente reversa nas células trazem em seus escopos estudos importantes sobre o desempenho e a eficiência das células, bem como a determinação da vida útil de módulos fotovoltaicos (ABDULLAH et al., 2013; FAYE et al., 2019).

Destaca-se ainda que, as células durante o experimento não atingem os pontos de saturação porque toda a string do módulo está ligada em série. Ou seja, a tensão de saída é a soma das tensões de cada célula, entretanto, quando uma célula está sombreada a variação de tensão representa a resistência que a célula possui em entrar em condução reversa, e provoca a formação de ponto quente.

Figura 5.1 – Caracterização das células solares como um diodo



O intuito é conhecer qualitativamente a operação das células no quadrante III. Os estudos de campo demonstram que células fotovoltaicas polarizadas inversamente prejudicam o fornecimento de potência máximas de módulos fotovoltaicos. Isso pode ser constatado nas Tabelas 5.1 e 5.2 que expressam através da variação da tensão de ruptura o nível de anomalias sofridas e susceptibilidade de apresentarem pontos quente por conta da polarização reversa (KIM; KREIN, 2015).

Tabela 5.1 – Variação da tensão de ruptura no módulo A

Módulo A				
Célula	Corrente (A)	Tensão Inicial (V_0)	Tensão final (V_1)	Variação da tensão na região de ruptura (ΔV)
2	0,35	0,682	11,73	10,748
3	0,37	0,686	3,411	2,725
4	0,37	0,686	9,27	8,584
13	0,35	0,678	3,665	2,987
16	0,35	0,678	4,123	3,445
20	0,35	0,679	6,304	5,625
22	0,35	0,680	3,348	2,668
24	0,35	0,678	2,647	1,969
32	0,35	0,679	5,416	4,740

Tabela 5.2 – Variação da tensão de ruptura no módulo B

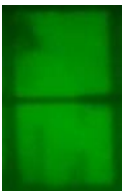
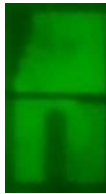
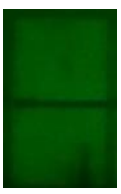
Módulo B				
Célula	Corrente (A)	Tensão Inicial (V_0)	Tensão final (V_1)	Variação da tensão na região de ruptura ($\Delta V = V_1 - V_2$)
2	0,34	0,744	3,273	2,529
10	0,32	0,649	7,100	6,454
11	0,33	0,699	7,530	6,831
12	0,33	0,025	5,273	5,248
23	0,35	0,674	14,08	13,406
24	0,36	0,727	23,12	22,393
28	0,36	0,672	5,830	5,158
29	0,36	0,674	9,310	8,636
35	0,34	0,668	4,826	4,158

As correntes apresentadas nos módulos constatarem os diferentes níveis de máxima potência entregues, visto que os mesmos operam na mesma margem de irradiância. Todavia, os fabricantes não controlam as características da ruptura reversa e dispõem no mercado células que podem ter tensão de ruptura reversa maior ou menor que a tensão de máxima potência. Outro ponto de destaque nesse contexto é a criação de pontos quentes, células sombreadas têm potenciais de dissipar quantidades substanciais de calor e formar pontos quentes (KIM; KREIN, 2015).

Nessa perspectiva, os defeitos de células fotovoltaicas podem ser analisados a partir da relação entre as imagens de eletroluminescência e os valores de tensão de ruptura, visto que a tensão fornecida para obtenção das imagens é proporcional a tensão de operação (POTTHOFF et al., 2010). Posto isso, é feito o mapeamento qualitativo das células para previsão de perdas elétricas do módulo fotovoltaico leva em consideração a variação da tensão na região de ruptura e a intensidade de pixels anomalias mecânicas existentes nas imagens.

A tensão de ruptura é a máxima tensão reversa suportada pela célula fotovoltaica, nessa perspectiva a variação da tensão nas células sombreadas apresentam um parâmetro físico significativo para iminência de efeito avalanche (ALONSO-GARCÍA; RUÍZ, 2006). Assim sendo, as variações nas tensões são decorrentes da condição mecânica apresentada pela célula como pode ser observado nas células 2, 4, 23, 24 e 29 no Quadro 5.1.

Quadro 5.1 – Células com maiores variações na região de ruptura

				
Célula 2 Módulo A	Célula 4 Módulo A	Célula 23 Módulo B	Célula 24 Módulo B	Célula 29 Módulo B
ΔV : 10,74	ΔV : 8,58	ΔV : 13,4	ΔV : 22,4	ΔV : 8,63
Intensidade dos Pixels 75,38	Intensidade dos Pixels 52,26	Intensidade dos Pixels 81,17	Intensidade dos Pixels 72,47	Intensidade dos Pixels 45,09

Vale ressaltar que as imagens de eletroluminescência são geradas a partir da recombinação de elétrons e buracos devido a aplicação de tensão. Nessa perspectiva, a intensidade de pixels, regiões escurecidas, pontos de trincas entre outros elementos apresentados na imagem, possuem caráter resistivo na operação da célula fotovoltaica (KROPP; SCHUBERT; WERNER, 2018; POTTHOFF et al., 2010).

Desse modo, as células 23 e 24 apresentaram maiores variações nas tensões de ruptura, esses valores são provenientes do estado físico de cada célula, quando estão sombreadas demandam maiores valores de tensão para compensar a perda por sombreamento. A diferença entre as células está concentrada em suas anomalias, como a célula 24 é a mais prejudicada, as regiões danosas apresentam maiores resistências e conseqüentemente demandam maiores valores de tensão (FUYUKI et al., 2005; KAJARI-SCHRÖDER et al., 2011; PLETZER et al., 2015).

Nesse contexto, a célula 2 tem relação clara com a 24, como também em outras células estudadas, por apresentarem danos físicos nas extremidades e trincas em sua estrutura. Para Pletzer (2015), esse fator também está associado a perdas de potência do módulo e formação de pontos quentes. As células 4 e 29 apresentam baixa intensidade de pixels e variações de tensões menores por conta de seus defeitos. De modo geral, as células mais prejudicadas possuem menor variação de tensão porque seus valores de tensão já estão operando na região de ruptura por conta de seus defeitos (ABDULLAH et al., 2013; LI et al., 2016).

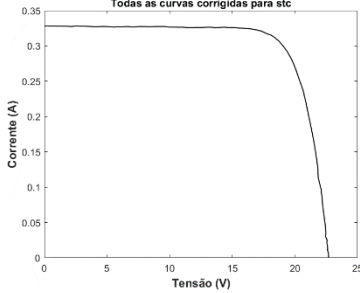
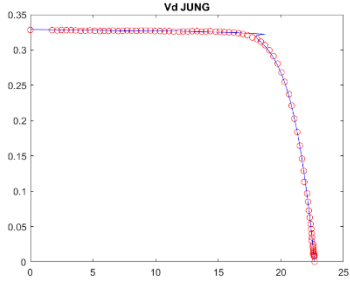
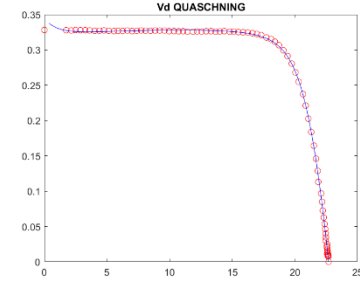
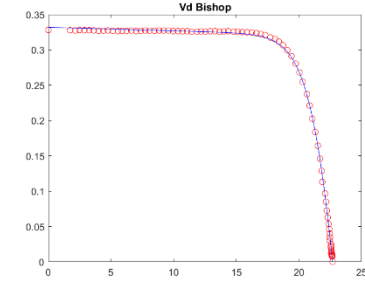
5.1.2 Experimentos II e III – Sombreamento total e parcial da célula fotovoltaica

Analisar o desempenho de células solares diante de sombreamento é uma forma estratégica de conhecer a operação de módulos fotovoltaicos, a fim de aumentar significativamente os ganhos energéticos do recurso solar (ZHANG et al., 2020). Nessa

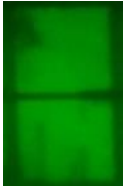
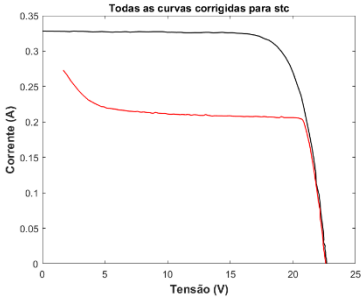
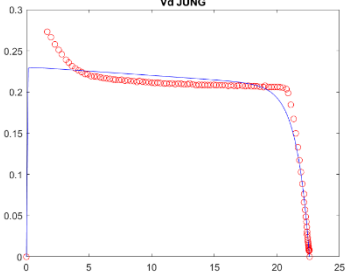
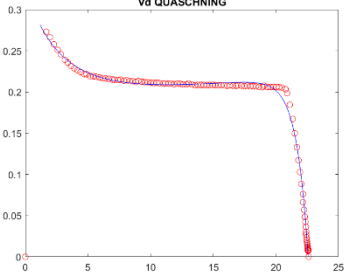
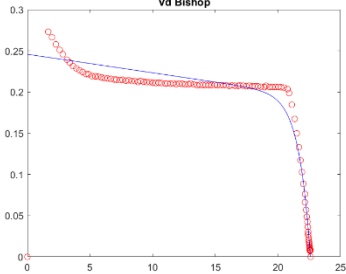
perspectiva, esses experimentos tiveram como finalidade a observação qualitativa das curvas IV dos módulos A e B quando as células selecionadas são sombreadas.

Os quadros 5.2 e 5.3 apresentam o modelo de organização dos dados. As curvas IV's dos experimentos foram medidas considerando a operação das células antes e depois de serem submetidas ao sombreamento, bem como os parâmetros elétricos do módulo fotovoltaico. A reação desigual das curvas IV's dos módulos decorre da variação da irradiância provocada nas células e do estado físico que a célula se encontra.

Quadro 5.2 – Dados da célula sem sombreamento e com sombreamento quadros (a) e (b), respectivamente.

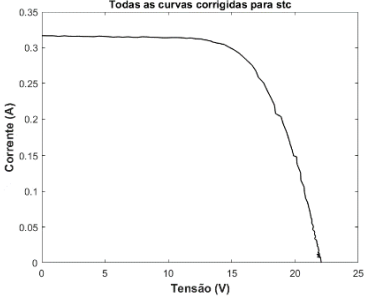
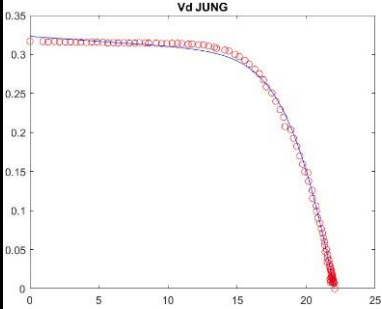
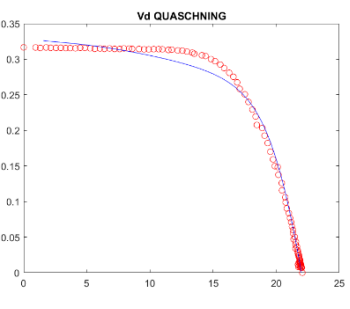
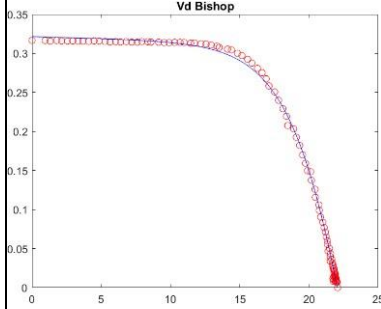
Experimento II - Módulo A - Célula 2		
Sem Sombreamento		
Célula	Curva IV	Dados da Curva IV
		$V_{mp} = 18.8177$
		$I_{mp} = 0.3017$
		$V_{oc} = 22.4880$
		$I_{sc} = 0.3243$
		$E = 1000$
		
VD_JUNG	VD_QUASCHNING	VD_BISHOP
Ishade = 0.323121 Vb = 37.895962 alfa = 0.000000 beta = 0.825107 gama = 0.000000 Iph(A) = 0.329058 I0(uA) = 0.048671 n = 1.558919 Rs(ohms) = 1.160489 Rp(ohms) = 5586.096564 RMSE = 0.002735	a = 0.100000 Vbr = -1.669038 m = 1.510664 I02(uA) = 0.325969 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.393904 I0(uA) = 0.000006 n = 1.000000 Rs(ohms) = 2.746139 Rp(ohms) = 769.372152 RMSE = 0.004103	a = 0.000099 Vbr = -2.846140 m = 2.000000 Iph(A) = 0.332377 I0(uA) = 0.001411 n = 1.274754 Rs(ohms) = 2.059981 Rp(ohms) = 1999.996145 RMSE = 0.003463

(a)

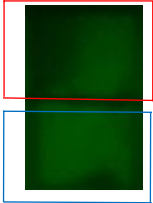
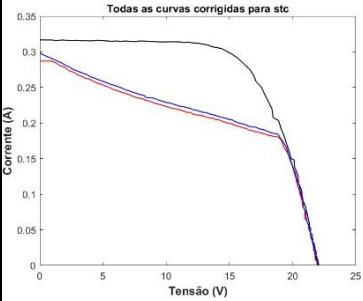
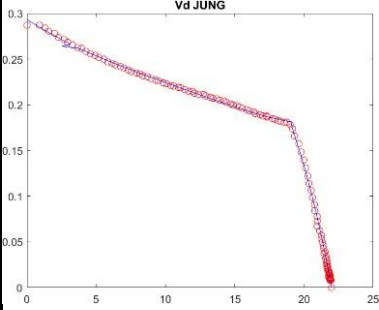
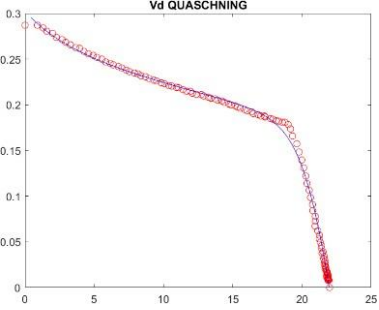
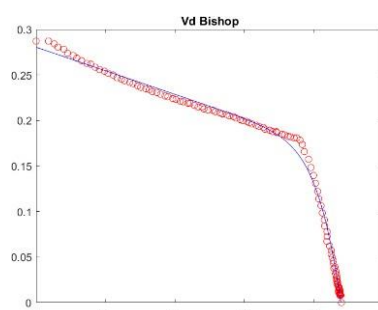
Experimento II - Módulo A - Célula 2		
Com Sombreamento Total		
Célula	Curva IV	Dados da Curva IV
		$V_{mp} = 20.7651$
		$I_{mp} = 0.2031$
		$V_{oc} = 22.4880$
		$I_{sc} = 0$
		$E = 1000$
		
VD_JUNG $I_{shade} = 0.247569$ $V_b = 21.990542$ $\alpha = 0.000008$ $\beta = 0.999726$ $\gamma = 0.009809$ $I_{ph}(A) = 0.246422$ $I_0(uA) = 0.000051$ $n = 1.105166$ $R_s(ohms) = 0.001135$ $R_p(ohms) = 564.396437$ $RMSE = 0.010838$	VD_QUASCHNING $a = 0.050331$ $V_{br} = -6.891329$ $m = 1.622827$ $I_{02}(uA) = 0.000000$ $n_2 = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.327739$ $I_0(uA) = 0.000005$ $n = 1.000000$ $R_s(ohms) = 0.061572$ $R_p(ohms) = 10000.000000$ $RMSE = 0.031495$	VD_BISHOP $a = 0.000100$ $V_{br} = -7.022215$ $m = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.245804$ $I_0(uA) = 0.000005$ $n = 1.000000$ $R_s(ohms) = 0.000000$ $R_p(ohms) = 444.411483$ $RMSE = 0.025817$

(b)

Quadro 5.3 - Dados da célula sem sombreamento parcial e com sombreamento parcial quadros (a) e (b), respectivamente.

Experimento III - Módulo B – Célula 2		
Sem Sombreamento Parcial na Célula		
Célula	Curva IV	Dados da Curva IV
		Vmp = 16.2775
		Imp = 0.2809
		Voc = 22.0696
		Isc = 0.3166
		E = 1000
		
VD_JUNG Ishade = 0.313123 Vb = 39.777017 alfa = 0.000002 beta = 0.000000 gama = 0.001169 Iph(A) = 0.316495 I0(uA) = 2.025899 n = 2.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 1168.106299 RMSE = 0.007411	VD_QUASCHNING a = 0.100000 Vbr = -2.211889 m = 2.000000 I02(uA) = 1.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.396484 I0(uA) = 0.000005 n = 1.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 189.304448 RMSE = 0.013155	VD_BISHOP a = 0.000016 Vbr = -19.252378 m = 2.000000 Iph(A) = 0.322166 I0(uA) = 23.820481 n = 2.512969 Rs(ohms) = 3.474288 Rp(ohms) = 2000.00000 RMSE = 0.006162

(a)

Experimento III - Módulo B – Célula 2		
Com Sombreamento Parcial na Célula		
Célula	Curva IV	Dados da Curva IV
		$V_{mp} = 18.7802$ $V_{mp} = 18.8855$
		$I_{mp} = 0.1809$ $I_{mp} = 0.1835$
		$V_{oc} = 21.9904$ $V_{oc} = 21.9780$
		$I_{sc} = 0.2871$ $I_{sc} = 0.2980$
		$E = 1000$ $E = 1000$
		
VD_JUNG $I_{shade} = 0.181380$ $V_b = 43.988865$ $\alpha = 0.000085$ $\beta = 3.540092$ $\gamma = 0.000112$ $I_{ph}(A) = 0.264339$ $I_0(uA) = 1.721884$ $n = 2.000000$ $R_s(ohms) = 5.000000$ $R_p(ohms) = 239.260277$ $RMSE = 0.002265$	VD_QUASCHNING $a = 0.036972$ $V_{br} = -3.063714$ $m = 1.000000$ $I_{02}(uA) = 0.301737$ $n_2 = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.344564$ $I_0(uA) = 0.000007$ $n = 1.000000$ $R_s(ohms) = 5.000000$ $R_p(ohms) = 355.293574$ $RMSE = 0.006016$	VD_BISHOP $a = 0.000032$ $V_{br} = -10.279015$ $m = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.284411$ $I_0(uA) = 0.003408$ $n = 1.339367$ $R_s(ohms) = 2.708056$ $R_p(ohms) = 190.514098$ $RMSE = 0.006483$

(b)

Segundo Amar Raj e Naik (2022) os painéis fotovoltaicos experimentam diversas transações de irradiância, desde as mais uniformes como sombras de edificações, postes e painéis adjacentes, até transações mais suaves como nuvens e partículas de poeira. De fato, no Quadro 5.2 (a) a potência entregue pelo módulo é perdida em cerca de 15,5% com o sombreamento da célula 2. Independente do padrão de sombreamento, a recepção desigual da irradiância por células solares, bem como a presença de anomalias possuem maior resistência e consequentemente demanda maiores valores de tensão quando estão submetidas a condição de sombreamento (OUFETTOUL et al., 2022).

Com efeito, na célula 2 do módulo B no Quadro 5.2 (b), a região com maior anomalia (superior/vermelho) apresenta maior perda de potência do que a região inferior e tem predisposição para formação de ponto quente. Portanto, a operação de painéis fotovoltaicos sofre influências externas e internas na geração de energia. Para Chen *et al.* (2022) e Albatayneh *et al.* (2022) as regiões ativas de geração de energia apresentam maior densidade de corrente de curto circuito e diante de trincas acarreta em falhas no reconhecimento de radiação de ondas longas.

5.1.3 Experimentos IV – Sujidade

De forma análoga aos experimentos III e IV, o quadro 5.4 traz os dados do experimento com sujidades. Em termos práticos, a sujidade provoca a dispersão de sombra e pode representar partículas de poeiras em uma área específica, excrementos de pássaros e alta concentração de sujeira. De acordo com Oufettoul *et al.* (2022) esses fatores levam a múltiplos picos significativos de potência máxima e provoca desequilíbrio no fornecimento de energia.

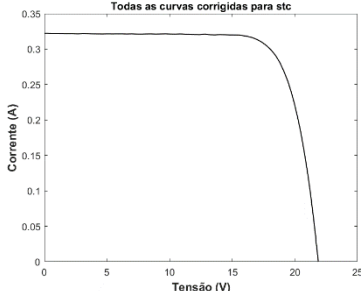
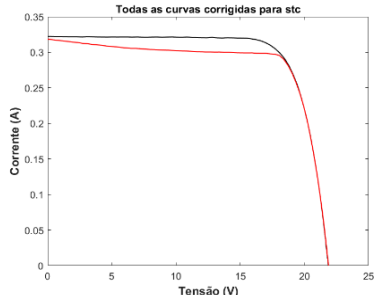
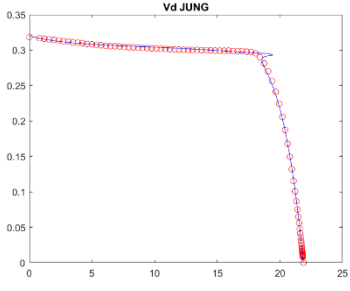
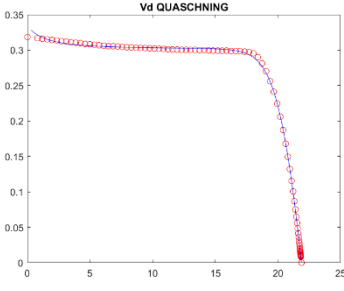
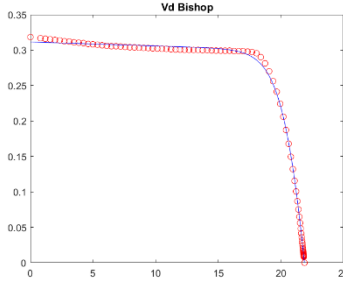
Na ótica de Amar Raj e Naik (2022) esse cenário pode ainda ser intensificado em regiões de pouca chuva e altas taxas de deposição de poeira. Esse impacto pode ser atenuado com a inclinação dos módulos fotovoltaicos, mas possuem influência negativa na operação das células não estão instalada com inclinação adequada (MASSI PAVAN; MELLIT; DE PIERI, 2011).

De acordo com o Quadro 5.4 a sujidade apresentou influência na resistência série e esse resultado se estendeu a todas as células analisadas. Realmente, a variação da corrente na curva IV é decorrente da desigualdade da distribuição da irradiância na célula e provoca no módulo alterações na resistência em série, além de ser mais um fator que contribui para existência de pontos quentes (KIMBER et al., 2006; IEC, 2009; MERTENS, 2014).

Quadro 5.4 – Dados do Experimento IV

Experimento IV - Módulo A - Célula 4		
Sem Sujidade		
Célula	Curva IV	Dados da Curva IV

(continuação)

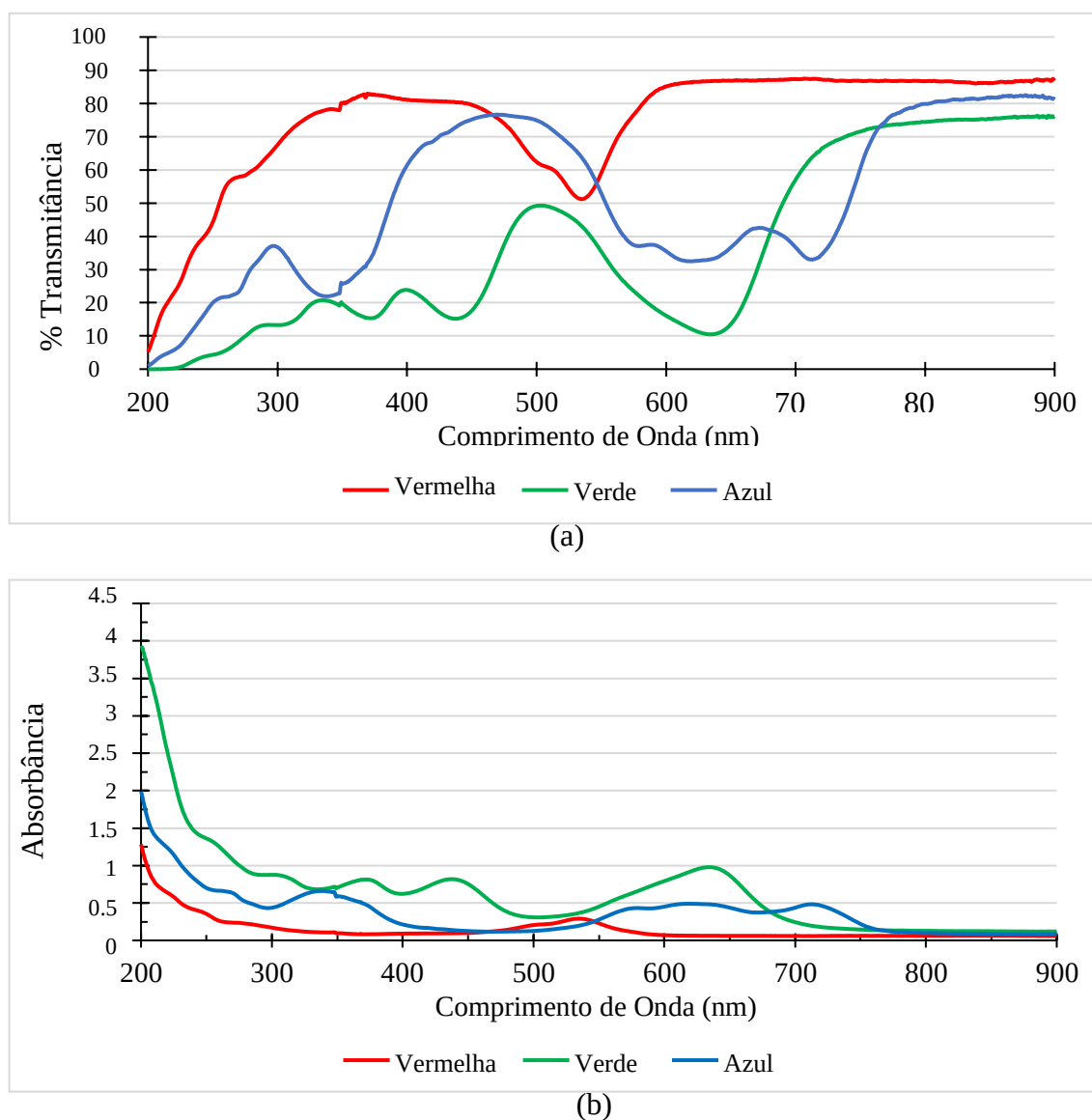
		Vmp = 17.7618 Imp = 0.3045 Voc = 21.8705 Isc = 0.3223 E =1000
VD_JUNG Ishade = 0.319344 Vb = 43.634953 alfa = 0.000000 beta = 0.167594 gama = 0.000000 Iph(A) = 0.322322 I0(uA) = 0.009389 n = 1.362341 Rs(ohms) = 1.902574 Rp(ohms) = 9355.947011 RMSE = 0.000777	VD_QUASCHNING a = 0.100000 Vbr = -1.969557 m = 1.710508 I02(uA) = 0.272035 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.386770 I0(uA) = 0.000015 n = 1.000000 Rs(ohms) = 2.976805 Rp(ohms) = 541.871584 RMSE = 0.002301	VD_BISHOP a = 0.000067 Vbr = -1.456694 m = 2.000000 Iph(A) = 0.326338 I0(uA) = 0.001064 n = 1.212007 Rs(ohms) = 2.337539 Rp(ohms) = 1999.967116 RMSE = 0.001889
Com Sujidade		
	Dados da Curva IV Vmp = 18.0512 Imp = 0.2956 Voc = 21.8838 Isc = 0.3185 E =1000	
		
VD_JUNG Ishade = 0.294314 Vb = 42.485274 alfa = 0.000001 beta = 8.271989 gama = 0.000000 Iph(A) = 0.310155 I0(uA) = 0.057159 n = 1.524245 Rs(ohms) = 1.061867 Rp(ohms) = 1660.344839 RMSE = 0.001477	VD_QUASCHNING a = 0.100000 Vbr = -1.073679 m = 1.108358 I02(uA) = 0.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.382190 I0(uA) = 0.000016 n = 1.000000 Rs(ohms) = 3.003622 Rp(ohms) = 2977.580507 RMSE = 0.002553	VD_BISHOP a = 0.000091 Vbr = -12.781411 m = 2.000000 Iph(A) = 0.312553 I0(uA) = 0.000415 n = 1.159745 Rs(ohms) = 2.142699 Rp(ohms) = 1599.917103 RMSE = 0.003142

5.1.4 Experimentos V – Variação do espectro solar

Através de um espectrofotômetro foi tomada a medida de transmitância em três cores utilizadas para simular o sombreamento. Na Figura 5.2 é apresentado o percentual de transmitância e absorbância do material na faixa de comprimento de onda que o instrumento opera, entre 200 nm e 900 nm.

Para Honsberg e Bowden (2022), a resposta espectral é limitada pelo comprimento de onda porque cada cor demanda um volume de fótons que o semiconductor pode absorver. Nessa perspectiva, a eficiência quântica fornece o número de elétrons emitidos pela célula solar em comparação com o número de fótons incidentes no dispositivo, enquanto a resposta espectral é a razão entre a corrente gerada pela célula solar e a potência incidente na célula solar.

Figura 5.2 – (a) Transmitância das cores vermelha, verde e azul; (b) Absorbância das cores vermelha, verde e azul

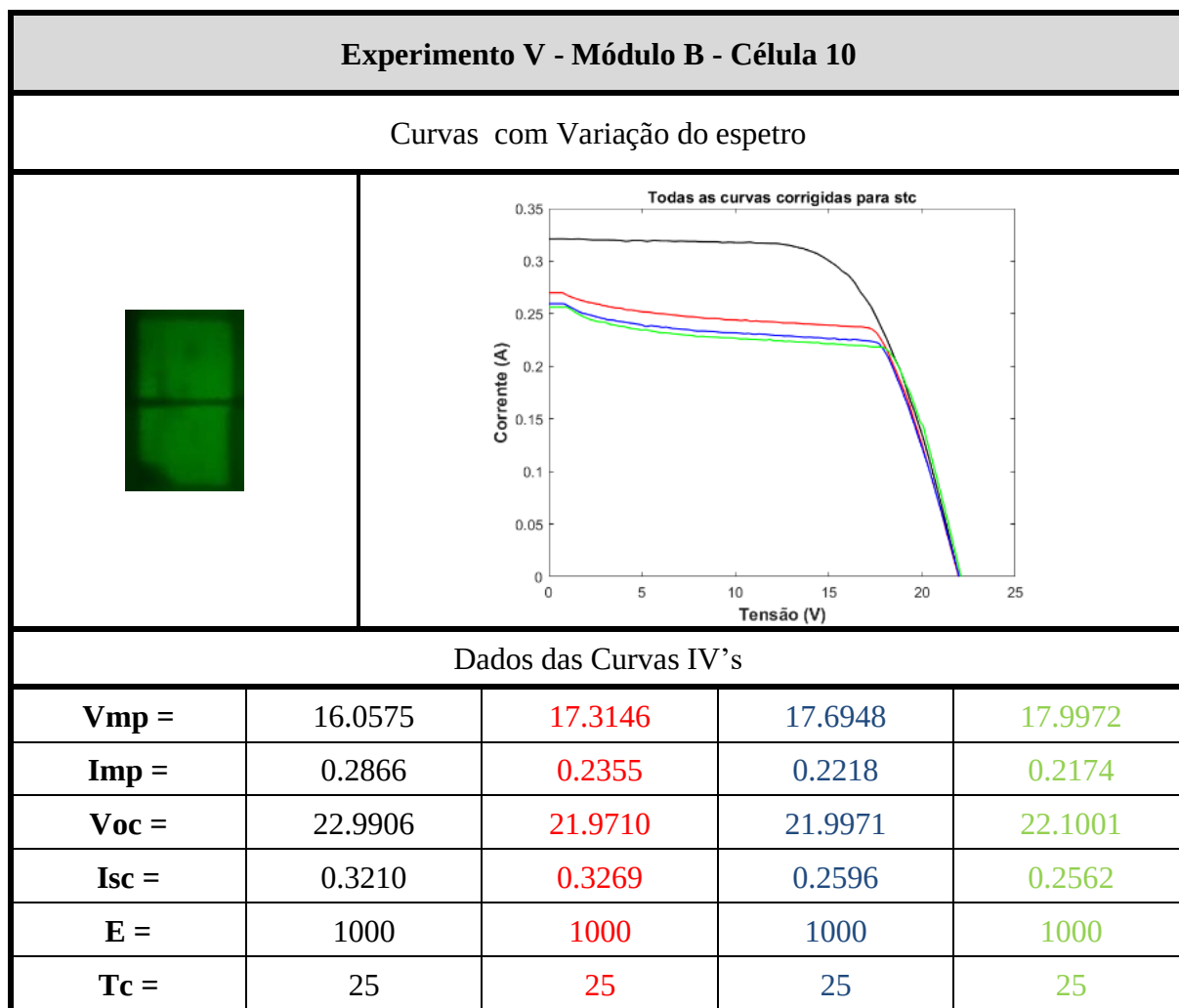


Os gráficos das Figuras 5.2 (a) e (b) correlacionam a absorbância e transmitância dos materiais, bem como a afinidade do comprimento de onda. Posto isso, foram realizados

procedimentos experimentais similares aos experimentos II, III e IV, para a analisar a influência da variação do comprimento de onda sobre as células solares selecionadas.

Além da temperatura, a irradiância, bem como seu espectro são fatores que influenciam a geração de energia proveniente do recurso solar. Em geral a referência do espectro padrão em massa de ar (AM) em 1.5, oferece para indústria do mercado fotovoltaico garantias e consistência nos dados de geração, onde a potência nominal de módulos fotovoltaicas são comumente utilizadas. Entretanto, a variação do espectro interfere no aumento de incertezas na previsibilidade de geração, fornecimento de energia, potencial de subdesempenho, além da influência em custos adicionais com o armazenamento de energia (ANITHA et al., 2022; BUENCUERPO et al., 2022; KINSEY et al., 2022).

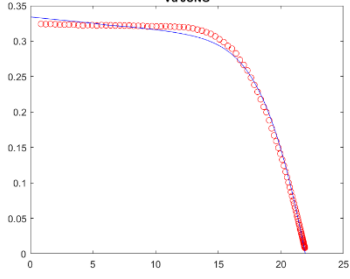
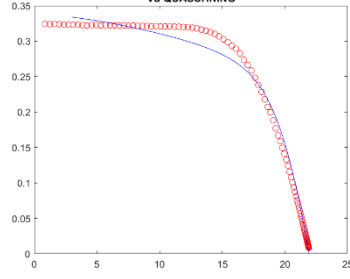
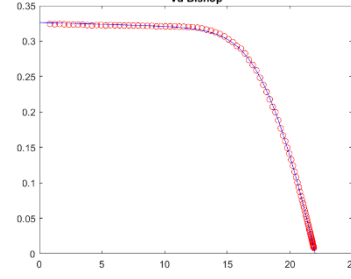
Quadro 5.5 – Curvas IV's com a variação do espectro.



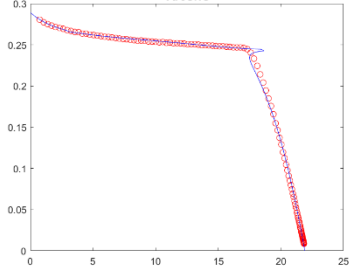
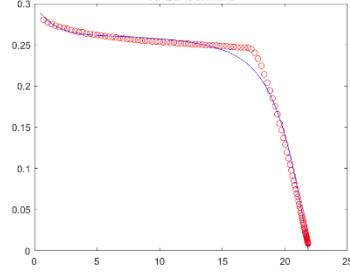
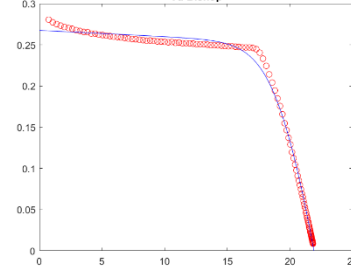
As medições em condição de sol real ficam sujeitas a diversas variações que não são controláveis, mesmo com uso do sistema de rastreamento, tais como irradiância e temperatura. Com as curvas IV corrigidas nota-se que as curvas apresentadas para os três níveis de irradiância (vermelho, azul e verde), sofreram impactos, principalmente na corrente fotogerada (I_{ph}), como pode ser visualizada no gráfico do Quadro 5.5. Na sequencia são apresentados os parâmetros elétricos extraídos pelos modelos para cada curvas plotada com a projeção das

sombras com as transmitâncias para as cores vermelha, azul e verde (Quadro 5.6 (a), (b), (c) e (d) respectivamente).

Quadro 5.6 – Parâmetros elétricos extraídos dos modelos

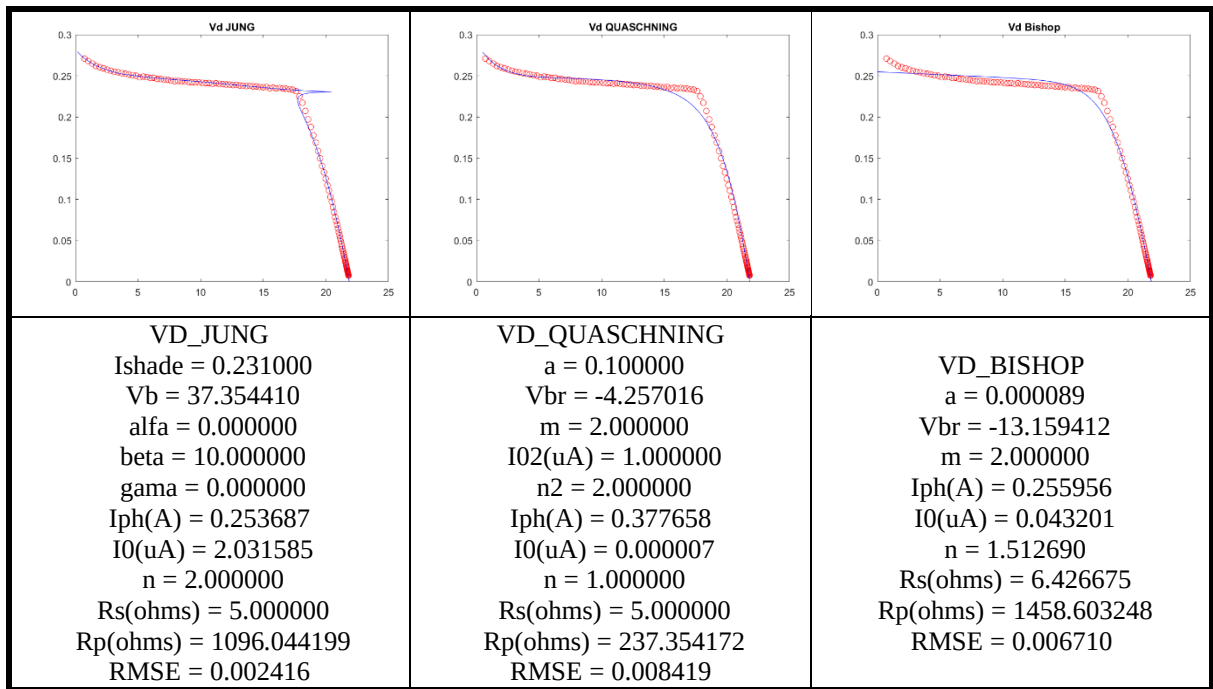
Sem Variação do Espectro		
		
VD_JUNG Ishade = 0.319900 Vb = 38.772583 alfa = 0.000000 beta = 0.000003 gama = 0.002443 Iph(A) = 0.323288 I0(uA) = 2.103325 n = 2.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 897.300002 RMSE = 0.006935	VD_QUASCHNING a = 0.100000 Vbr = -2.447440 m = 2.000000 I02(uA) = 1.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.418247 I0(uA) = 0.000006 n = 1.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 160.521348 RMSE = 0.014605	VD_BISHOP a = 0.000100 Vbr = -7.012661 m = 2.000000 Iph(A) = 0.327649 I0(uA) = 0.134998 n = 1.623983 Rs(ohms) = 8.473653 Rp(ohms) = 2000.000000 RMSE = 0.001412

(a)

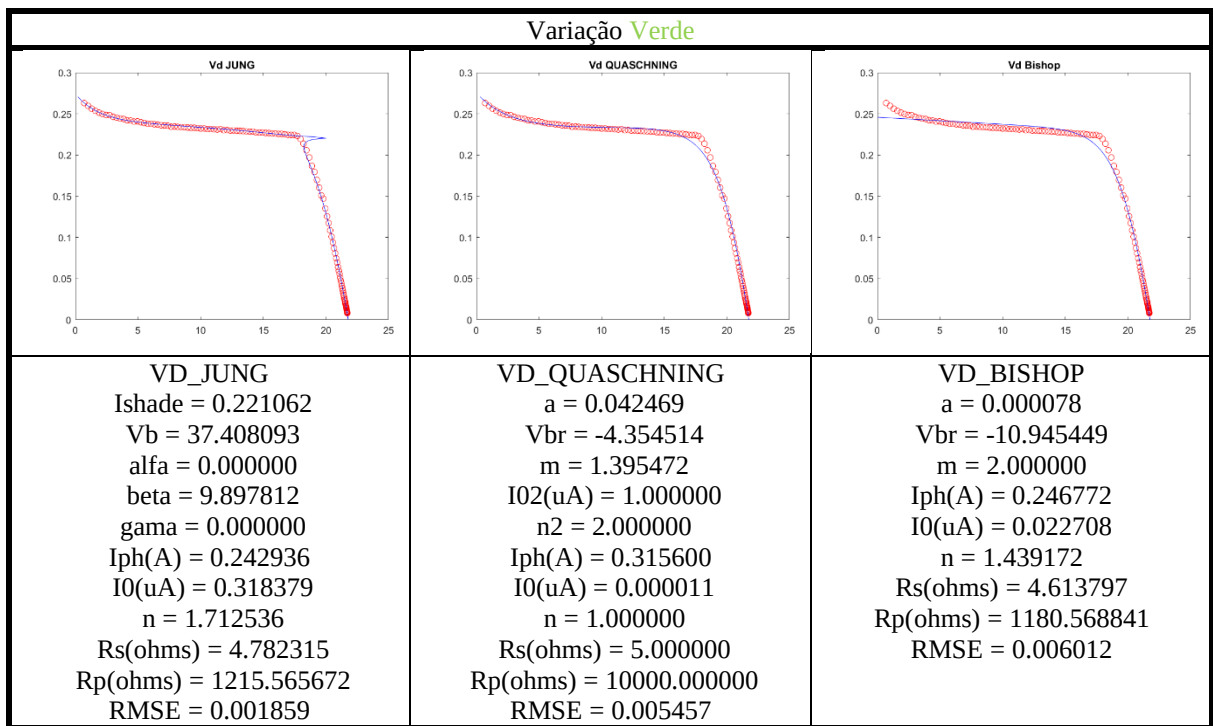
Variação Vermelha		
		
VD_JUNG Ishade = 0.243848 Vb = 39.576513 alfa = 0.000000 beta = 10.000000 gama = 0.000000 Iph(A) = 0.266186 I0(uA) = 1.980122 n = 2.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 1040.672938 RMSE = 0.002897	VD_QUASCHNING a = 0.100000 Vbr = -4.052470 m = 2.000000 I02(uA) = 1.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.385309 I0(uA) = 0.000006 n = 1.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 231.182544 RMSE = 0.009024	VD_BISHOP a = 0.000094 Vbr = -12.766171 m = 2.000000 Iph(A) = 0.268936 I0(uA) = 0.018725 n = 1.439879 Rs(ohms) = 6.972784 Rp(ohms) = 1317.759326 RMSE = 0.006485

(b)

Variação Azul



(c)



(d)

Conforme sinalizado no capítulo anterior, os parâmetros elétricos extraídos não se mantêm consistentes. A exemplo disso, observa-se os valores das resistências série e paralelo no Quadro 5.6. As células são submetidas as mesma condições de teste considerando (STC) mas os valores inviabilizam uma análise qualitativa dos resultados. Diante disso, o que a literatura afirma é que independentemente de seu estado físico, todas as células apresentaram variações consideráveis na curva IV.

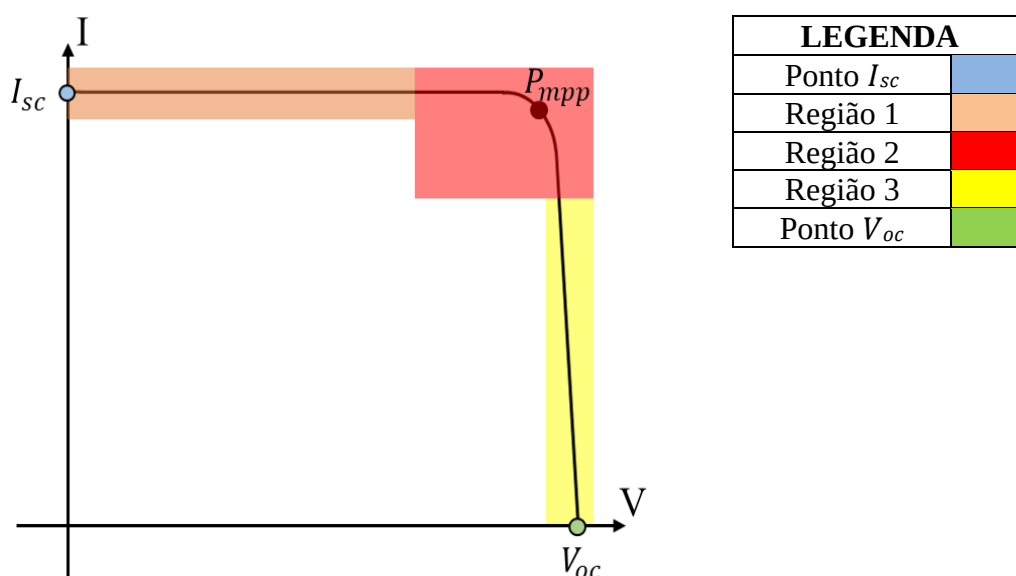
Para Mertens (2014), a influência na corrente fotogerada está relacionada a elevação da resistência série no modelo de 1 diodo e consequentemente a redução da resistência em

paralelo. Nesse caso, a tensão de circuito aberto é afetada, pois a corrente na resistência paralelo irá aumentar fazendo com que a tensão do diodo tenha seu valor reduzido. Desta forma, na condição de sombreamento, a cor vermelha e a cor verde apresentaram a menor e a maior absorvância, respectivamente, e com isso são as cores com maior influência na I_{ph} (KHAN et al., 2022).

5.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS A PARTIR DA CURVA IV

A conexão das células em módulos fotovoltaicos possibilita a operação de células nas regiões ativas onde ocorre a operação normal, e reversas onde a corrente flui em direção contrária ao sentido da fotocorrente (MERTENS, 2014). Esse fato, pode ser resultado das diversas tipologias de sombreamento, sendo muitas vezes potencializado quando as células estão conectadas em série. Diante disso, no experimento I é analisado as tensões na região de ruptura das células e nos demais experimentos são analisados a curva característica IV descrita na Figura 5.3, considerando os parâmetros elétricos associados ao comportamento da curva típica IV.

Figura 5.3 – Pontos e regiões de análise da Curva Característica IV típica



A curva característica de uma célula solar (Figura 5.3) é correspondente ao princípio de funcionamento de fotodiodo, porém o sistema de setas é alterado e a geração de energia é estudada no quarto quadrante visto na Figura 5.1. Quando as células são curto circuitadas a tensão é nula e a corrente de curto circuito (I_{sc}) é igual a I_{ph} , a variação da corrente neste ponto indica o aumento da resistência série (R_s). Em contrapartida, quando não há I_{ph} , a tensão é chamada de tensão de circuito aberto (V_{oc}), a variação da tensão nesse ponto provoca o aumento da resistência paralelo (R_{sh}). Nesse sentido, a R_s e a R_{sh} são fatores significativos que influenciam a geração de energia no Ponto de Máxima Potência (P_{mpp}) (IEC 60891, 2009; MERTENS, 2014).

Ainda sobre a Figura 5.3, são destacadas 3 regiões para análise das curvas. De acordo com as Equações 8 e 11 descrita por Mertens (2014), a variações da curva típica IV nas regiões 1 e 3, determinam a influência das resistências R_{sh} e R_s , respectivamente. De fato, a R_{sh} está

relacionada com a área da célula solar iluminada, o número de fótons, o espectro da luz incidente e sobretudo a temperatura de operação. Já a R_s muda linearmente com a temperatura. Consequentemente, o aumento da temperatura provoca o variações na região 3 da curva IV, sinalizando perdas ôhmicas entre os contatos frontais da células e a interface metálica do semiconductor (IEC 60891, 2009; MERTENS 2014; HUMADA et al., 2016; RANGEL-KUOPPA, 2022; ZHANG et al., 2022; CHEN et al., 2022; KUMAR; MAHESHWARI, 2022; HONSBURG; BOWDEN, 2022).

Com efeito, a variação das resistências provocam o achatamento da curva IV que representa a diminuição da geração da MPP, na região 2. É fato que células fotovoltaicas são sensíveis a mudanças de irradiância e assim como outros semicondutores, são passivas a influência da temperatura em sua operação. Desse modo a temperatura é o parâmetro de operação de maior influência na Região 2 e apresenta para os demais parâmetros forte dependência, tal como para a corrente no diodo (I_d) (CHOW et al., 2009; GUARRACINO et al., 2016; HU et al., 2022).

À vista disso, os pontos e as regiões de análise da curva IV foram identificados para correlacionar com os parâmetros dos módulos fotovoltaicos quando as células estavam submetidas às condições de operação dos experimentos no Quadro 5.5. Os parâmetros analisados são: R_s , R_{sh} , I_{ph} , I_D e a V_{oc} .

Destaca-se ainda que, o Fator de Idealidade (n) é mantido com o valor 1 para as correções da curva IV conforme a IEC 60891 (2009) e na implementação dos modelos para análise dos experimentos, o fator de idealidade é mantido entre 1 e 2 como recomendado na literatura (BISHOP, 1988; HANITSCHT, 1996; JUNG et al., 2013).

5.2.1 Relação da Curva IV com os parâmetros elétricos do módulo quando as células estão em condições de operação dos experimentos

O Quadro 5.7 (a) e (b) relaciona as células (coluna vertical) com os parâmetros elétricos que mais interferem nos pontos e regiões descritas na Figura 5.3. O ponto de conexão dos experimentos analisados com a curva a curva IV com o experimento I (variação da tensão de ruptura), é a I_D . A corrente no diodo é um dos parâmetros que mais evidenciam o comportamento da operação de células solares quantitativamente. Na perspectiva qualitativa, a intensidade da luz causa variação nos parâmetros de forma geral, mas é a I_D que altera a região de operação, levando a célula solar a condução reversa diante de sombreamentos (ERSÖZ et al., 2017; KUMAR, 2021).

Portanto, a análise da I_D não é intuitiva como nos demais parâmetros elétricos, mas pode ser previsível através dos valores das tensões medidas no experimento I. Nesse sentido, alterações nos valores R_s e R_{sh} trazem consequências I_D que certamente impactam negativamente o P_{mpp} e por isso é um parâmetro associado à região 3 em todos os experimentos.

Quadro 5.7 – Relação dos parâmetros elétricos com a curvas IV em condições específicas de operação no Módulo A (a) e Módulo B (b)

EXPERIMENTOS MÓDULO A																													
CÉLULAS	II							III							IV							V							
	Parâmetros							Parâmetros							Parâmetros							Parâmetros							
	Regiões					Pontos		Regiões					Pontos		Regiões					Pontos		Regiões					Pontos		
	I _{ph}	I _D	R _s	R _{sh}	V _{oc}	R _s	R _{sh}	I _{ph}	I _D	R _s	R _{sh}	V _{oc}	R _s	R _{sh}	I _{ph}	I _D	R _s	R _{sh}	V _{oc}	R _s	R _{sh}	I _{ph}	I _D	R _s	R _{sh}	V _{oc}	R _s	R _s	
2																													
3																													
4																													
13																													
16																													
20																													
22																													
24																													
32																													

(a)

EXPERIMENTOS MÓDULO B																													
CÉLULAS	II							III							IV							V							
	Parâmetros							Parâmetros							Parâmetros							Parâmetros							
	Regiões					Pontos		Regiões					Pontos		Regiões					Pontos		Regiões					Pontos		
	I _{ph}	I _D	R _s	R _{sh}	V _{oc}	R _s	R _{sh}	I _{ph}	I _D	R _s	R _{sh}	V _{oc}	R _s	R _{sh}	I _{ph}	I _D	R _s	R _{sh}	V _{oc}	R _s	R _{sh}	I _{ph}	I _D	R _s	R _{sh}	V _{oc}	R _s	R _{sh}	
2																													
10																													
11																													
12																													
23																													
24																													
28																													
29																													
35																													

(b)

Como exemplo, escolhendo a célula 11 do módulo B identifica-se no experimento IV (Sujidade) a Curva IV sofre desvios por influência de perdas resistivas. A variação da corrente fotogerada evidencia a influência da R_s , de fato a Curva IV apresenta o achatamento da curva na região 3. Quanto a R_{sh} a variação na região 1 é decorrente da necessidade de recombinação dos portadores por efeito da sujidade.

De modo geral, como previsto nas imagens de eletroluminescência dos módulos A e B (Figura 4.2), apontavam o módulo A com melhor desempenho à vista do módulo B, esse fato é constatado no Experimento I com a avaliação da variação da tensão de ruptura das células. Sabe-se que sombreamentos em células fotovoltaicas estão associados a diversos irregularidades no fornecimento de energia que são consequência de criação de pontos quentes, desgastes na estrutura do semicondutor (tecnologia fotovoltaica) e diminuição do rendimento (GOMES; SANTOS; CALHAU, 2022).

5.2.2 Análise e discussões dos experimentos na Região 1 da Curva IV e no Ponto I_{ph}

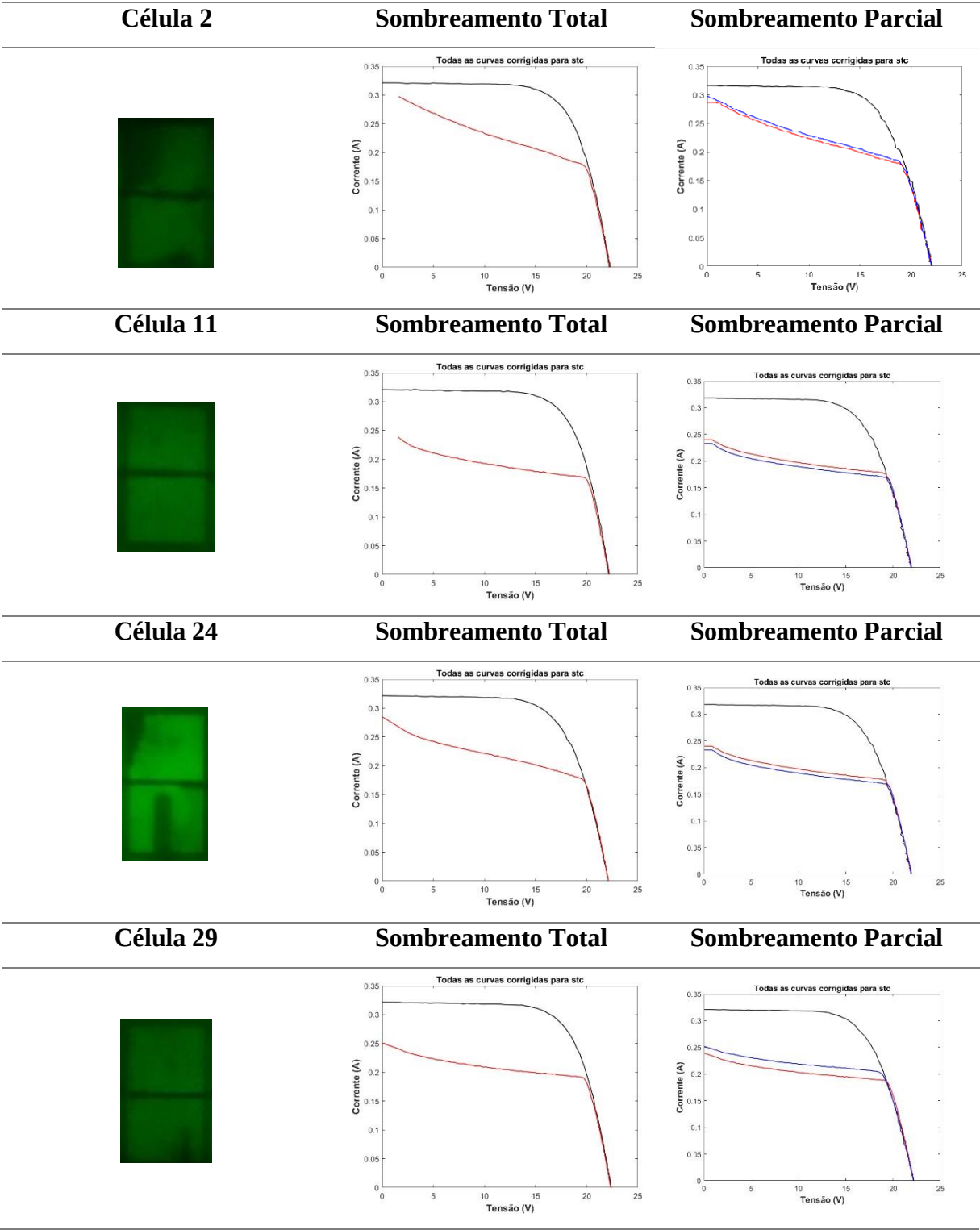
Os experimentos com abordagem de sombreamento total e parcial nas células tiveram resultados bastantes semelhantes, de fato, mudanças de irradiação e condições parcialmente sombreadas tem como consequência na diminuição na I_{ph} e consequentemente na R_{sh} . Esses fatores também são associados a recombinação dos portadores intrínsecos do semicondutor na junção P-N (VANKADARA; CHATTERJEE; BALACHANDRAN, 2022).

As células do Módulo A apresentaram melhor desempenho, quando comparado ao Módulo B, tanto nas imagens de eletroluminescência (Figura 4.2), quanto nos experimentos II e III apresentados no Quadro 5.6. Nesse sentido, todas as curvas das células sombreadas têm diminuição na I_{ph} e proporcionalmente variações na I_{sc} (KUMAR; MAHESHWARI, 2022; RANGEL-KUOPPA, 2022).

As células do Módulo B trazem constatações mais específicas para os experimentos com sombreamento total e parcial. Em geral as regiões mais escurecidas e anomalias nas extremidades, provocam declínios na curva típica IV na Região 1 da Figura 5.3 (IEC 60891, 2009; MERTENS 2014; CHEN et al., 2022). Posto isso, a Figura 5.4 apresenta as células 2, 11, 24 e 29 e as suas respectivas curvas no módulo B, quando estão sombreadas total e parcialmente. A curva em azul representa a operação do módulo quando a parte superior da célula está sombreada e a curva vermelha para o sombreamento na parte inferior.

Nas células 2 e 11, não são obtidos os valores exatos da I_{sc} mas pode ser observada uma tendência para as correntes de curto circuito, esse fato decorre de algum erro do algoritmo na correção da curva e ocorre em outras células nos módulos para os experimentos II e III. Todavia, esse erro não inviabiliza a visualização do efeito causado pelo sombreamento na curva na Região 1. Em tese, as regiões escurecidas apresentam menor capacidade de absorção de fótons para condução do semicondutor, com efeito do sombreamento esse fenômeno é aumentando assim a inclinação da curva que representa a variação na R_{sh} (MERTENS 2014; HU et al., 2022; HUMADA et al., 2016).

Figura 5.4 – Eletroluminescência das células do Módulo B e Curva IV para os experimentos II e III



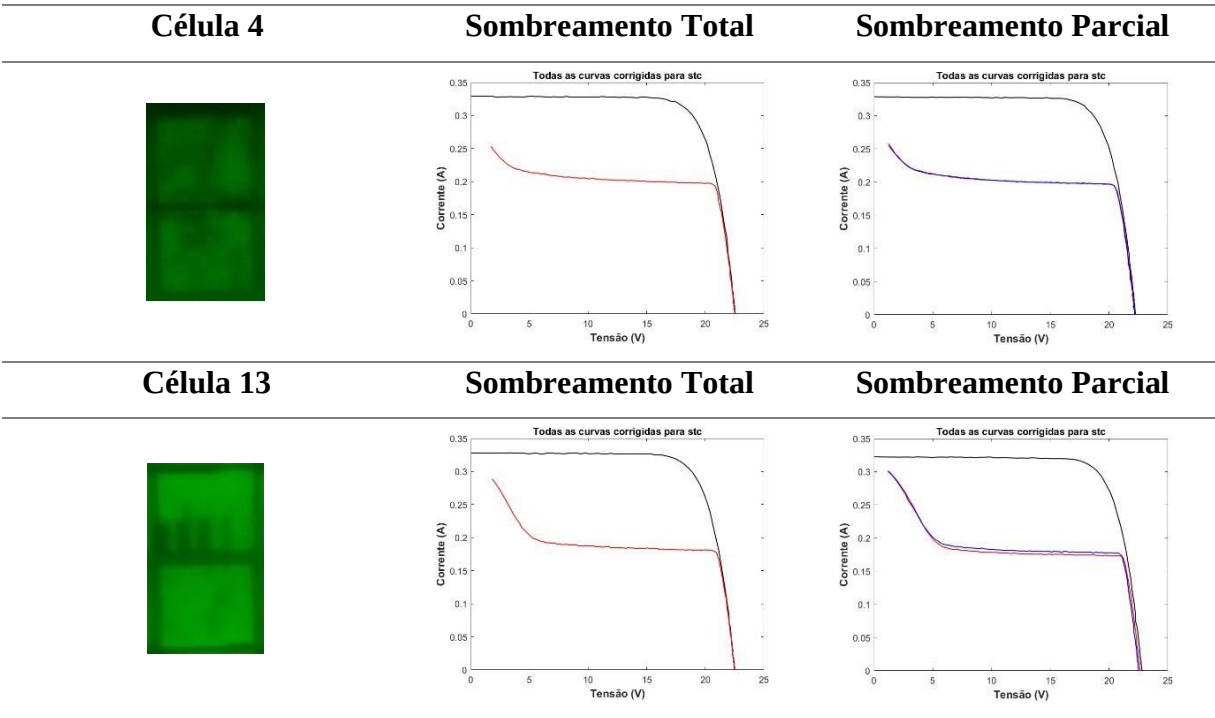
Decerto, as células 2 e 24 destacam-se nesse cenário por apresentarem a menor e a

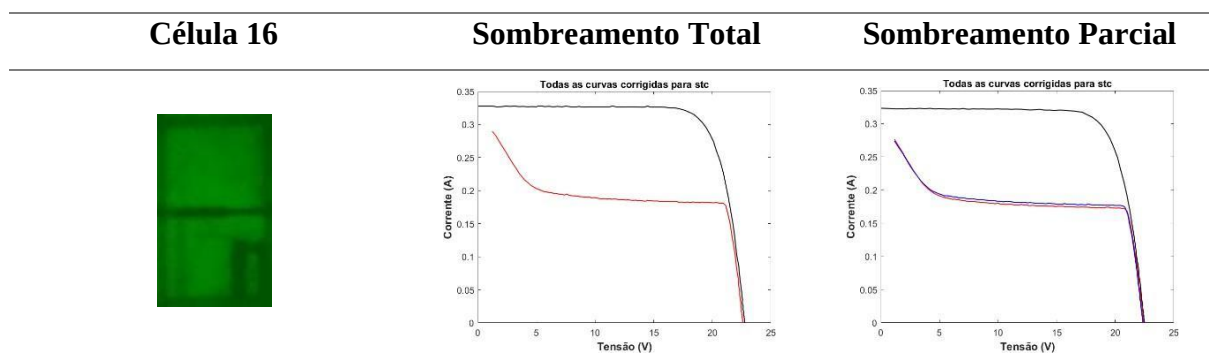
maior variação da tensão na região de ruptura (Experimento I). A célula 2 possui menos regiões ativas e naturalmente maior resistividade. Já a célula 24, apesar de apresentar superfície mais ativa, a anomalia vertical na região inferior e na região esquerda superior, trazem perdas por R_s e R_{sh} , equiparando-se às demais células estudadas (ADHAU et al., 2022).

O sombreamento parcial (Experimento III) demonstram que a operação dos módulos é mais impactada negativamente pela presença de anomalias em suas superfícies e/ou extremidades do que por células que apresentam predominância de regiões inativas (PRASANTH RAM et al., 2022). Nesse aspecto, a Figura 5.5 apresenta as células 13 e 16 do Módulo A com possíveis microfissuras em regiões próximas da interconexão do módulo, e consequentemente possuem maior redução na potência de saída, quando comparado com a célula 4.

Na ótica de Katayama *et al.* (2019) na maioria dos casos as microfissuras podem causar caminhos de corrente convergente com uma área específica ou um curto-circuito. Esse fato pode ser comprovado com as variações da tensão na região de ruptura, a célula 4 apresentou variações maiores do que as células 13 e 16 (Experimento I).

Figura 5.5 – Eletroluminescência das células do Módulo A e Curva IV para os experimentos II e III

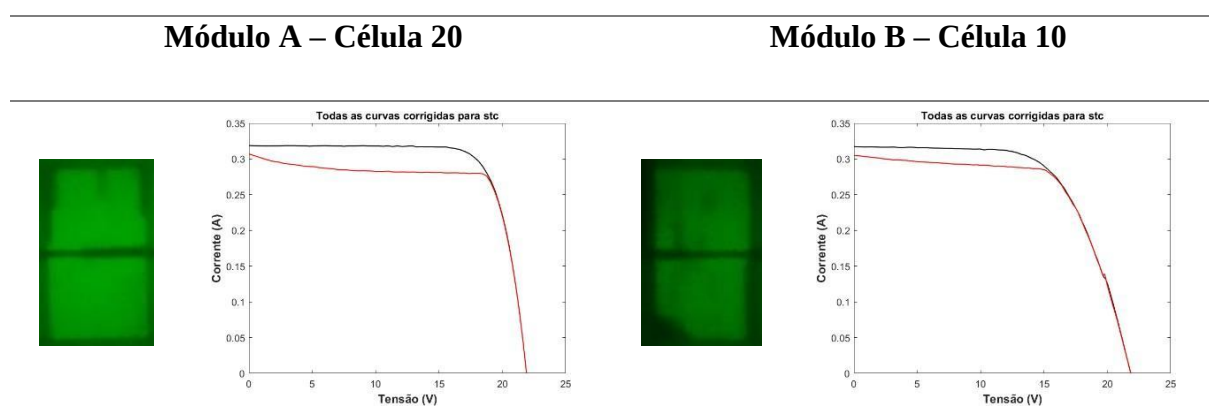




Segundo Dhimish e Hu (2022) células com trincas provocam a redução na potência entregue pelos módulos fotovoltaicos, além disso anomalias diversas desenvolvem o aumento localizado da temperatura e formação de pontos quentes. Por certo, a correlação das trincas com a operação das células com sujidades provoca a alteração da transmitância e com isso a redução da irradiação solar percebida pela célula (POULADIAN-KARI et al., 2022a).

À luz dessas considerações, a célula 20 do Módulo A e a célula 10 do módulo B, apresentam características semelhantes. As células podem causar formação de pontos quentes devido às trincas em suas extremidades e são mais suscetíveis a condução reversa conforme vista no Quadro 5.1 no Experimento I. Nesse caso, a Figura 5.6 revela com o experimento da sujidade as perdas ôhmicas derivadas das trincas (R_s) e a redução de capacidade de geração por conta da película de porosidade posta na superfícies das células (R_{sh}).

Figura 5.6 – Curvas IV das células 20 do módulo A e 10 do módulo B do Experimento da sujidade.

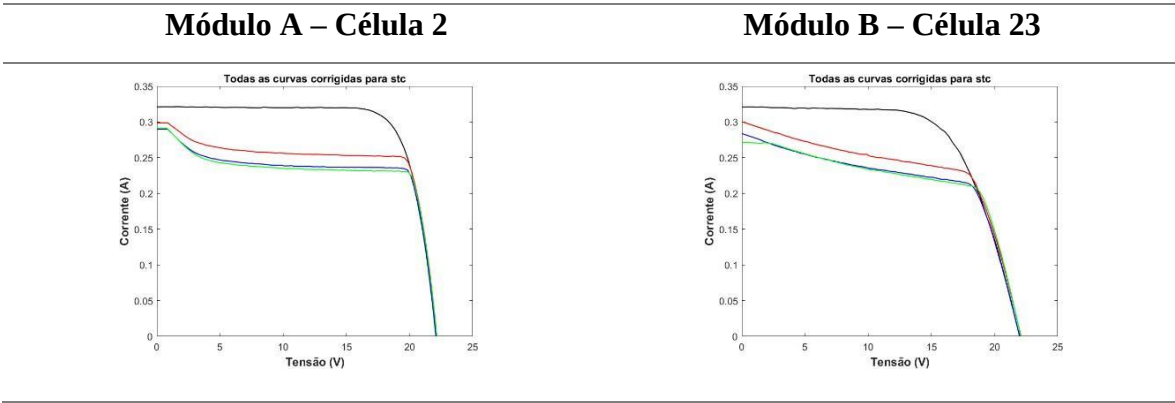


Quando partículas de poeira, areia, folhagens são acumuladas na superfície de células fotovoltaicas a luz solar é obstruída e os fótons são impedidos de serem absorvidos ou refletidos (POULADIAN-KARI et al., 2022b). Contudo, os prejuízos que sistemas fotovoltaicos sofrem por causa de diversos tipos de sombreamento, seja de efeito físico ou natural, sugerem estudar a influência que o espectro da luz do solar impacta na geração de energia para a minimização

dos efeitos do sombreamento (ALLW; DUHIS; AL-GHANIMI, 2022; PRASANTH RAM et al., 2022).

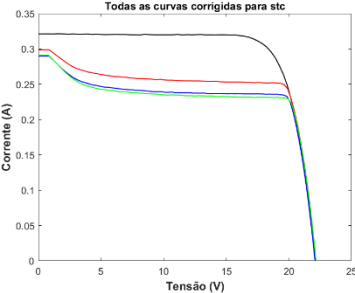
Nessa perspectiva o experimento da variação da luz solar (Experimento V) constatou perda da energia gerada pelos módulos, proporcional ao sombreamento nas células causado pelos espectros das cores vermelha, azul e verde. Com isso, nota-se na Figura 5.7 que a curva de referência a céu aberto é prejudicada na Região 1 pela diminuição da I_{ph} e variação da R_{sh} .

Figura 5.7 – Cuvas IV com sombreamento submetido a diferentes transmitâncias



Sob outra perspectiva, o Experimento V demonstrou que não há interferência considerável entre o estado físico da célula e a geração de energia com a variação do espectro. Na Figura 5.8 é observado três células do módulo A que apresentaram a maior (célula 2) e as menores variações (células 3 e 24) de tensão na região de ruptura, respectivamente (experimento I). Percebe-se que a entrega da máxima potência é prejudicada especificamente pela diminuição da corrente (I_{mpp}) indiferente a probabilidade da existência de regiões inativas na célula 3 e das trincas da célula 24, quando comparadas com a célula 2.

Figura 5.8 – Dados do Experimento V do Módulo A

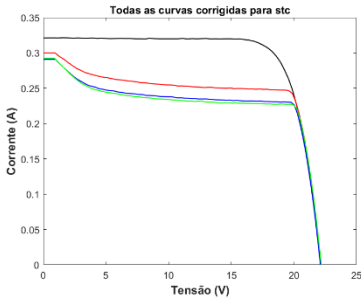
Células	Curvas IV's	Dados das Curvas IV's
2		P_{mpp} (W)
		P_{mpp} sem Sombra 5,5
		P_{mpp} cor Vermelha 4,7
		P_{mpp} cor Azul 4,5

	P_{mpp} cor Verde	4,4
--	---------------------	-----

Variação da tensão na região de ruptura (ΔV) = 10,7 V

	P_{mpp} (W)	
	P_{mpp} sem Sombra	5,5
	P_{mpp} cor Vermelha	4,7
	P_{mpp} cor Azul	4,5
	P_{mpp} cor Verde	4,4

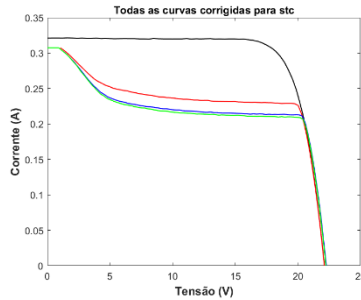
3



Variação da tensão na região de ruptura (ΔV) = 2,7 V

	P_{mpp} (W)	
	P_{mpp} sem Sombra	5,5
	P_{mpp} cor Vermelha	4,4
	P_{mpp} cor Azul	4,2
	P_{mpp} cor Verde	4,0

24



Variação da tensão na região de ruptura (ΔV) = 1,9 V

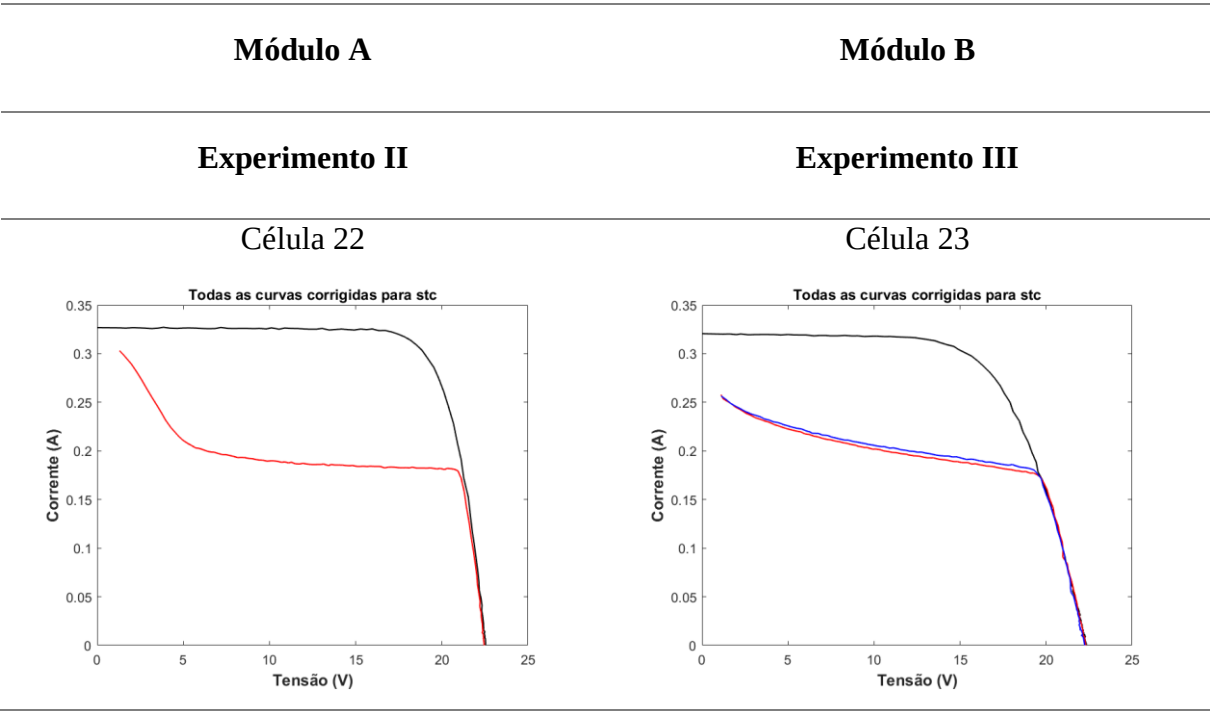
A Figura 5.8 também constata que existem anomalias tanto na célula 2, como na 24, entretanto as células apresentam valores distintos de tensão na região de ruptura, esse fato é decorrente da natureza física da anomalia. As regiões escurecidas podem representar indícios

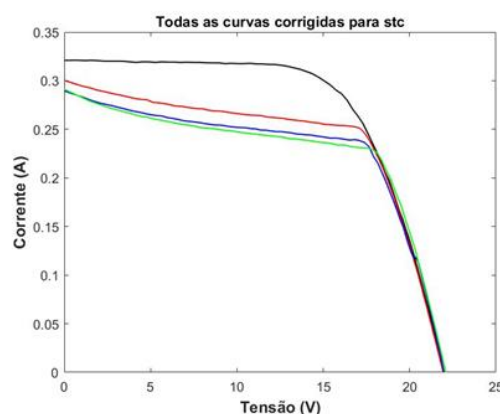
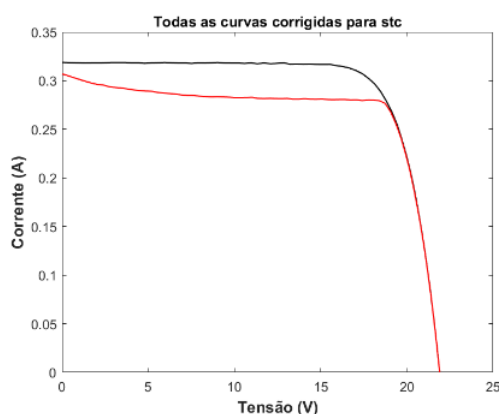
de trincas, problemas na interconexão das células ou até regiões inativas que podem facilitar ou dificultar a condução reversa da célula. Todavia, a variação espectral não potencializa a ocorrência de falhas técnicas na geração de energia, mas demonstra que a fluxo de fótons absorvidos pela superfície da célula depende da emissão da densidade de potência em um determinado comprimento de onda (ALLW; DUHIS; AL-GHANIMI, 2022; HONSBERG; BOWDEN, 2022; DIRNBERGER et al., 2015; LIU; QIU, 2015).

5.2.3 Análise e discussões dos experimentos na região 2 da Curva IV e no ponto P_{mpp}

A extração ideal do ponto de máxima potência de módulos fotovoltaicos tem sido a principal demanda de pesquisas e do mercado em geral, para o melhor aproveitamento da energia proveniente do sol. Entretanto, essa não é uma tarefa fácil, a operação de células solares em sol pleno é condicionada a variações da I_{ph} que ocasionam perdas ôhmicas nos contatos e interface dos condutores (R_s e R_{sh}). Conforme Quadro 5.7 e Figura 5.9, esse efeito são validados nos experimentos II, III, IV e V, e corroboram com os trabalhos de Allw, Duhis e Al-Ghanimi, (2022), Farayola, Sun e Ali (2022) e Greulich *et al.* (2022).

Figura 5.9 – Efeitos do sombreamento nas células solares na curva típica IV



Experimento IV**Experimento V****Célula 20****Célula 28**

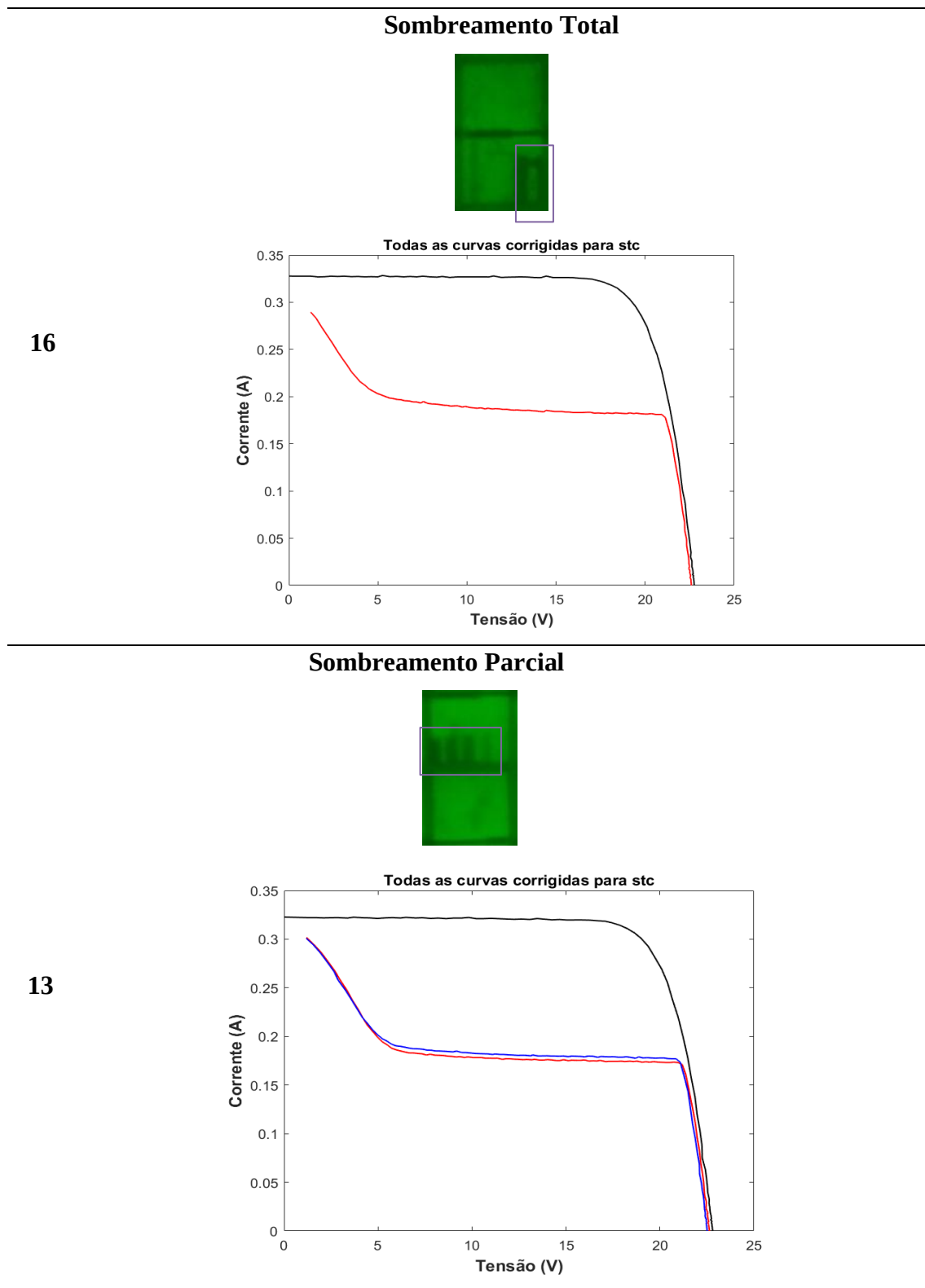
São apresentadas na Figura 5.9 as células que possuem os melhores pontos de máximas potência quando não estão sombreadas entre os módulos estudados. Nos quatro cenários analisados, há uma perda de potência que varia em média de 0,96% à 65,56%, no experimento da sujidade (IV) e sombreamento total (II), respectivamente. De fato, o sombreamento induz a polarização reversa do diodo o que provoca o aumento de temperatura nas células sombreadas, com efeito a diminuição da I_{ph} variação nas resistência e reproduz o achatamento da curva típica IV, provocando de perda de potência representado na Região 2 da curva IV (AHMED et al., 2015; XENOPHONTOS; BAZZI, 2018).

5.2.4 Análise e discussões dos experimentos na região 3 da Curva IV e no ponto V_{oc}

Em geral, todos os experimentos apresentaram pouca influência nos parâmetros elétricos da Região 3 da curva IV. As células mais relevantes nesse cenário foram as 13 e 16 do Módulo A nos experimentos de sombreamento total e parcial, e algumas células do Módulo B no experimento da variação do espectro.

Dessa maneira a Figura 5.10 apresentam que as células 13 e 16 tiveram impacto na inclinação da curva IV na Região 3, porque apresentam trincas em suas extremidades, problemas como esses são tipicamente classificados como perdas ôhmicas por contatos frontais das células, representadas pela R_s (CHOW et al., 2009; DIRNBERGER et al., 2015; XENOPHONTOS; BAZZI, 2018).

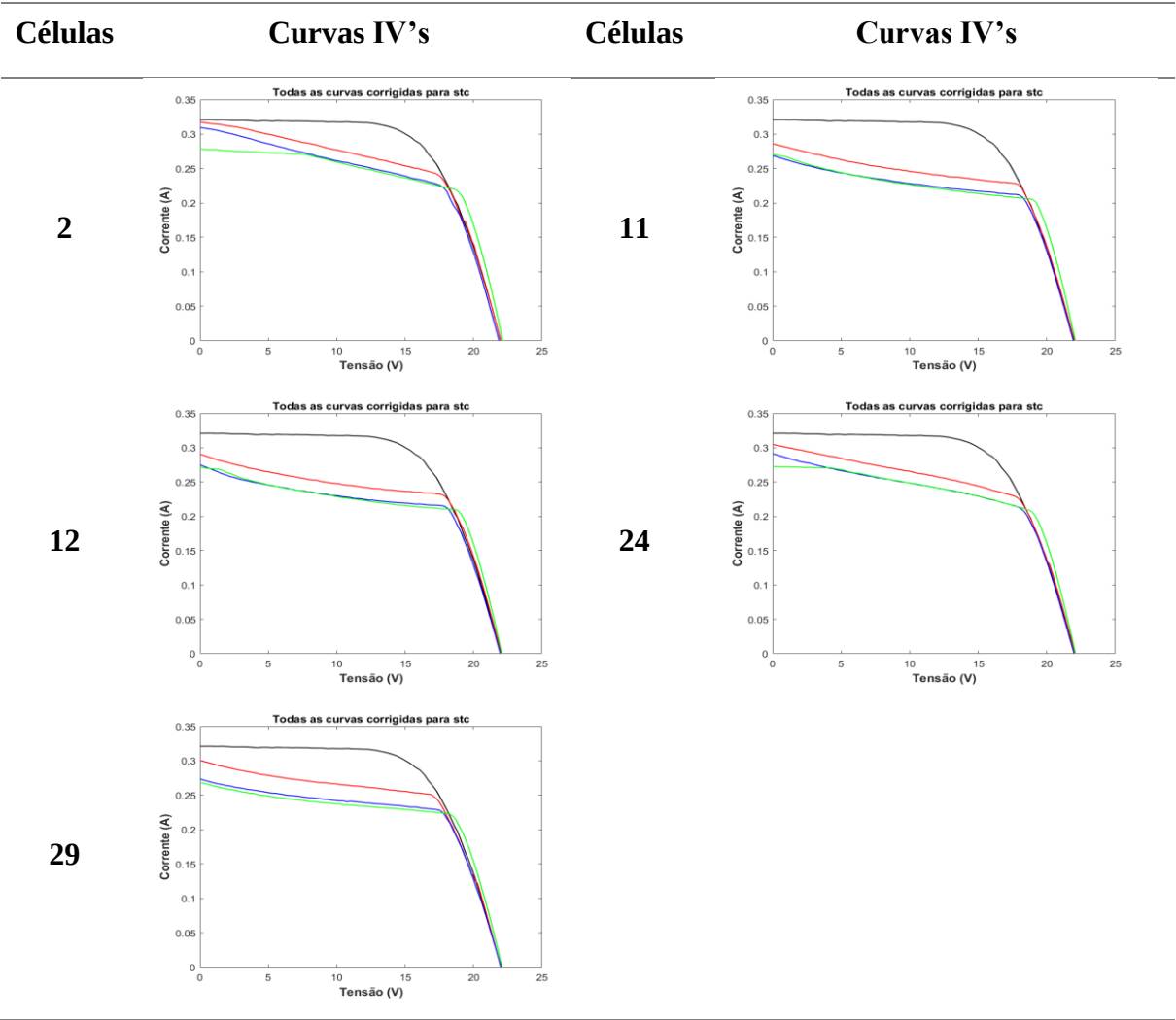
Figura 5.10 – Sombreamento Total e Parcial das células 13 e 16 do Módulo A



Com efeito, a curva IV vermelha no sombreamento parcial, representa a operação da célula quando a parte inferior está sombreada, nesse caso o desempenho da curva azul é mais eficaz. Sem dúvidas, essas implicações sobre a curva IV são decorrentes das anomalias destacadas em cada célula e contribui para evidenciar que essas regiões são derivadas de danos físicos, fato que não pode ser considerado apenas com a observação da imagem de eletroluminescência.

Outra análise com interferência da curva IV na região 3 pode ser descrita no experimento V com as células do módulo B. Como visto, no item anterior sabe-se que o estado físico da superfície das células possui pouca interferência na geração de energia do módulo, principalmente quando as células operam com mudanças no comprimento de onda da irradiância. Com isso, a variação vista nas curvas na Região 1 é proporcional a densidade de potência do comprimento de onda que chega na célula. Entretanto, 5 células do módulo B apresentaram perdas de potência por influência da R_s quando a célula está sombreada dentro do espectro da cor verde (Figura 5.11).

Figura 5.11 – Curvas IV's com variação espectral das células 2, 11, 12, 24 e 29 do Módulo B



Com a análise da Figura 5.11, observa-se na corrente fotogerada (I_{ph}), a influência da variação espectral sobre os pontos da R_s . No entanto, ao observar o comportamento da curva IV, percebe-se que a cor verde apresenta maior influência na resistência série na região 3. Esse fato sucede da diminuição da corrente fotogerada em consequência do filtro espectral que o sombreamento verde provoca na absorção de fótons. Como consequência a R_s diminui em função do comprimento de onda do fóton, ou da irradiância espectral (HONSBURG; BOWDEN, 2022; DIRNBERGER et al., 2015; MERTENS, 2014).

5.3 ANÁLISE DOS MODELOS BISHOP (1988), QUASCHNING (1996) E JUNG (2013)

A configuração de interligação das células são encapsuladas em módulos, medições diretas de tensão e corrente são geralmente inviáveis. Nesse sentido, a descrição abrangente dos efeitos que prejudicam a entrega da máxima potência da célula requer a determinação de medições em condições de operação que trazem incompatibilidades para os parâmetros elétricos do módulo (XENOPHONTOS; BAZZI, 2018).

Portanto, modelos são desenvolvidos para descrever a operação de circuitos que representam o funcionamento da tecnologia fotovoltaica. Nessa perspectiva, foram implementados os modelos de Bishop (1988), Quaschnig (1996) e Jung *et al.* (2013) que descrevem o comportamento da curva IV quando células estão operando em condições de sombreamento e com isso pressupõe a existência de células operando reversamente.

O modelo de Bishop (1988) modela o sistema elétrico das células fotovoltaicas a partir de suas interligações. O modelo calcula a curva IV considerando a operação da célula em seus pontos de máxima potência e de condução reversa, dessa forma é possível prever a operação de módulos fotovoltaicos sombreados e a formação de pontos quentes. Os valores dos parâmetros elétricos são calculados e fornecidos considerando as variações induzidas pelo processo de desempenho das células.

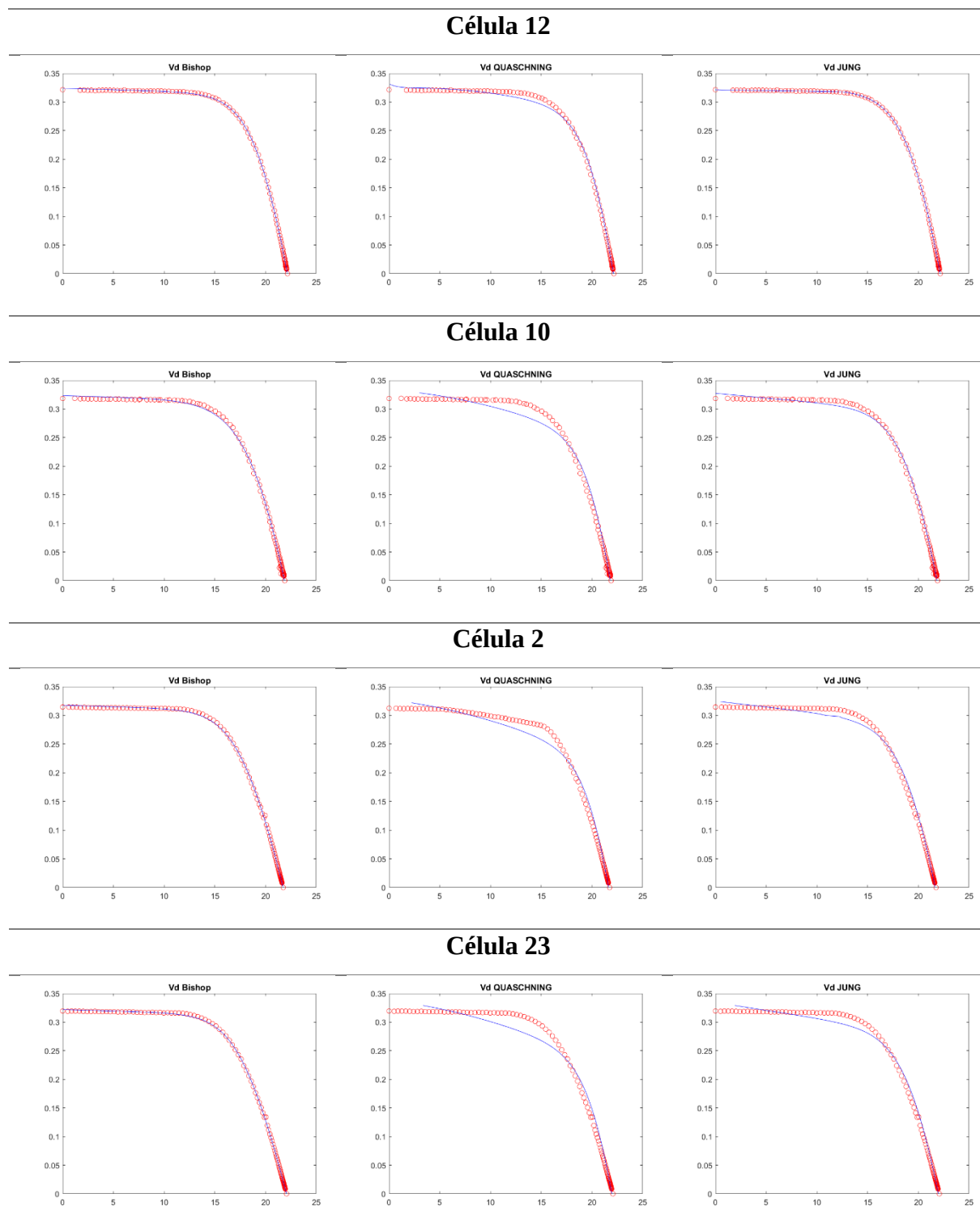
Quaschnig (1996) apresenta o funcionamento do circuito fotovoltaico realizando uma análise comparativa com 36 células interconectadas operando em condições reais de sol e com 75% das células sombreadas. Trata-se de um modelo que aprimora as equações desenvolvidas no trabalho de Bishop (1988), através de métodos numéricos para determinação das tensões e correntes, são também utilizados algoritmos para solução de sistemas de equações capazes de descrever com mais eficiência a Curva IV e os parâmetros elétricos do módulo.

O trabalho mais recente que modela a operação de células fotovoltaicas em série sombreadas é o modelo de Jung *et al.* (2013). Nesse modelo matemático as características de saída do módulo são previstas considerando uma parcela do módulo polarizado reversamente. Para esse fim, foram aplicadas equações para descrever o efeito avalanche, a corrente originada da condução reversa e uma fonte de tensão capaz de reduzir a diferença de corrente próximo da tensão de circuito aberto.

Contudo, a aplicação dos modelos nos experimentos II, III, IV e V demonstraram-se inconsistentes para análise dos parâmetros elétricos de saída dos módulos quando as células selecionadas estavam em condições específicas de sombreamento. De modo geral, os dados dos

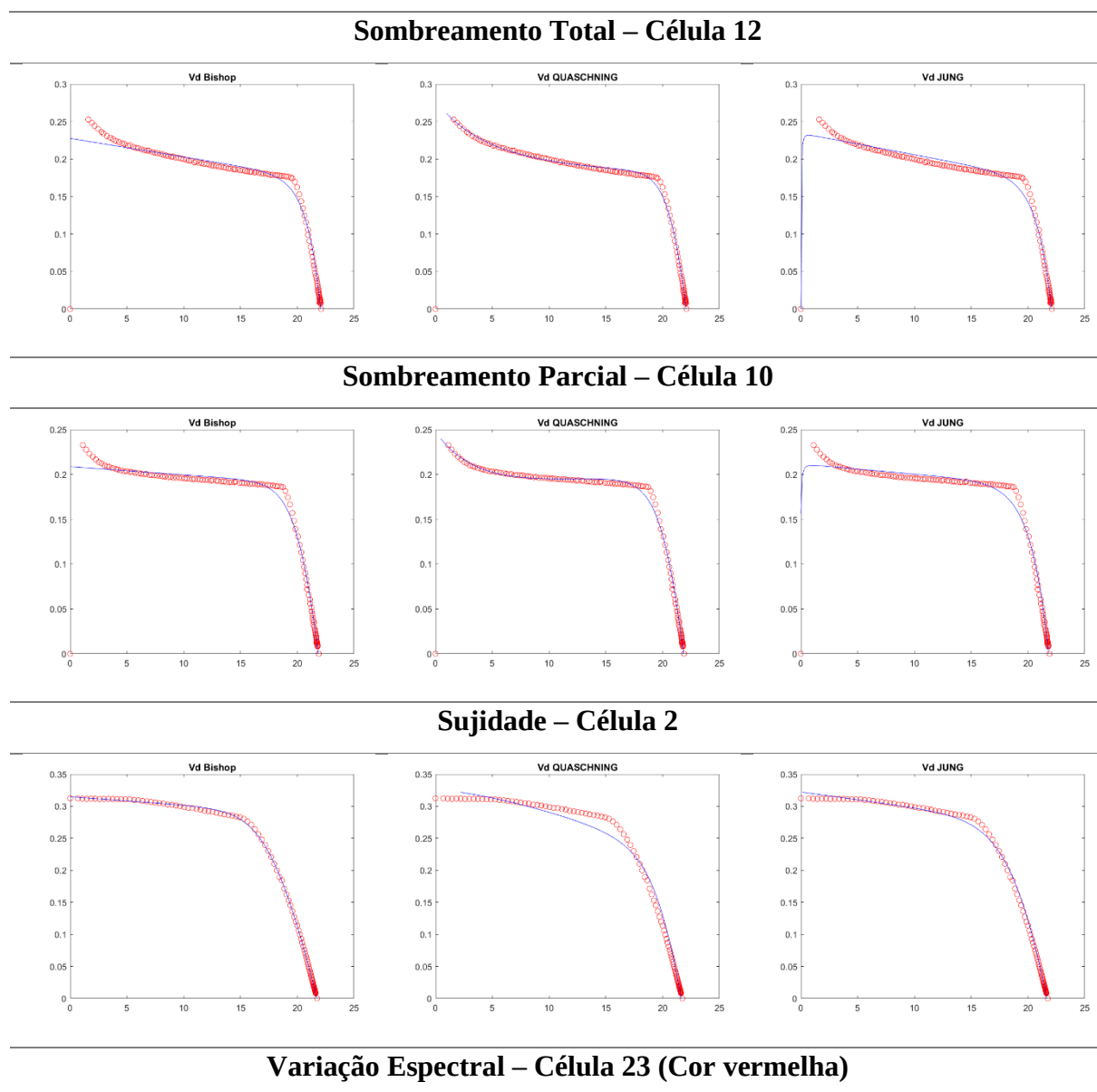
modelos foram inconsistentes não só na extração dos parâmetros elétricos quando as células estavam operando em condições de sombreamento, mas também com as condições físicas de cada módulo. À vista disso, os modelos foram mais imprecisos no Módulo B, em todos os cenários o modelo proposto por Quaschnig (1996) demonstrou-se ineficaz mesmo quando o módulo não estava sombreado (Figura 5.12).

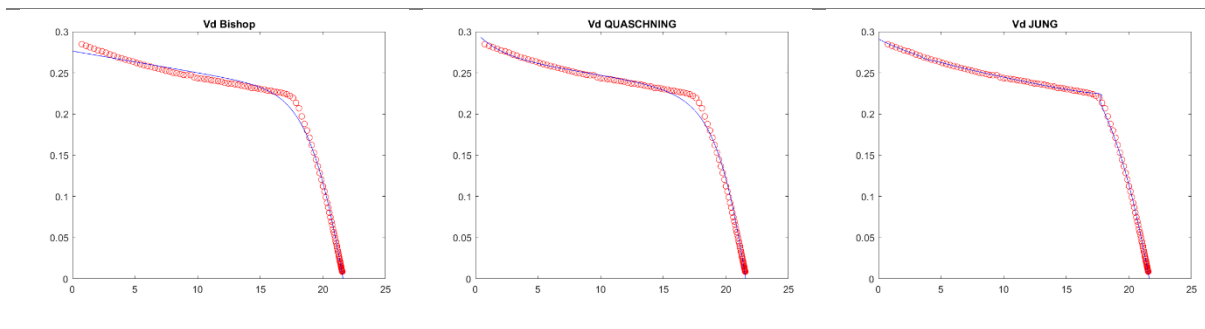
Figura 5.12 – Modelos aplicados para células do Módulo B sem sombreamento



Na Figura 5.12 a curva em azul é a medida em sol real, e a curva em vermelho são pontos de tensão e corrente extraídos dos modelos analisados. Sucede-se que, mesmo sem sombreamento, os modelos de Quaschnig (1996) e Jung *et al.* (2013) já apresentam forte inconsistência nas curvas quando comparado com o modelo proposto por Bishop (1988). Entretanto, esse fator é agravado quando as células estão sombreadas, conforme Figura 5.13, nesse sentido os modelos não cumprem com êxito a intenção de fornecer os parâmetros elétricos de saída dos Módulo A e B sombreados.

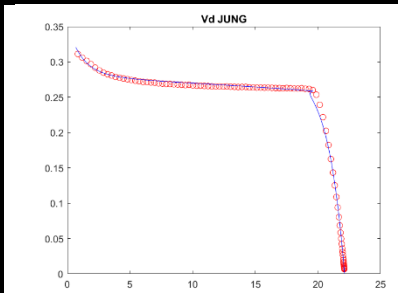
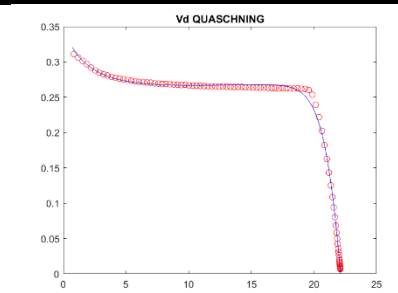
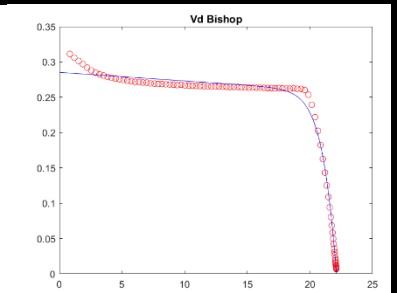
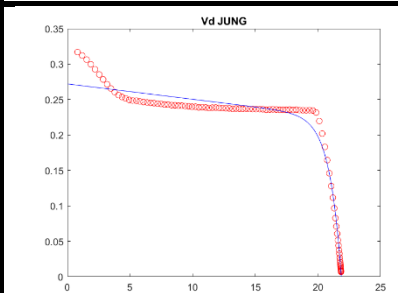
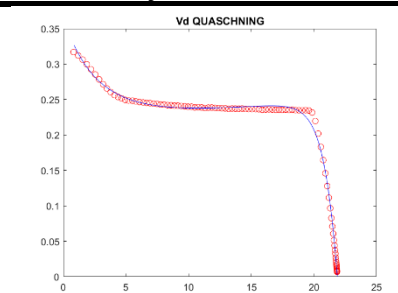
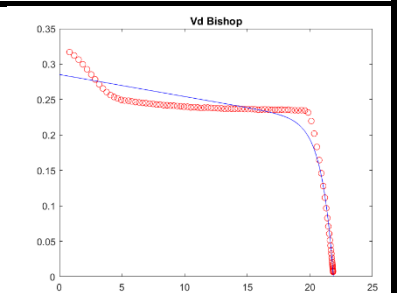
Figura 5.13 - Modelos aplicados para células do Módulo B com sombreamento





A célula 2 e a 23 nos modelos de Bishop e Jung, respectivamente, trata-se de uma coincidência entre as curvas, pois como pode ser visto no Apêndice deste trabalho, os parâmetros elétricos são inconsistentes. Nessa perspectiva, o Quadro 5.8 traz os dados da célula 13 no módulo A durante o experimento V. Verifica-se que do ponto de vista qualitativo, os parâmetros de saída não fornecem contexto consistência física, mas valores matemáticos das equações modeladas.

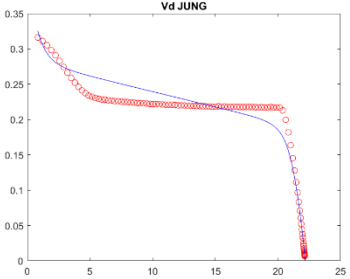
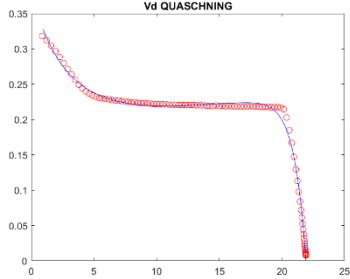
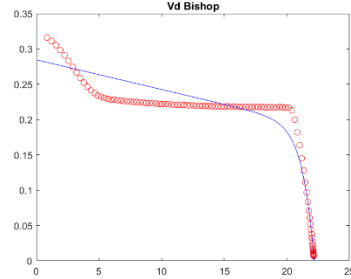
Quadro 5.8 – Parâmetros elétricos extraídos dos modelos

Módulo A – Célula 13		
Sem Variação		
		
VD_JUNG Ishade = 0.259496 Vb = 32.814414 alfa = 0.000000 beta = 9.844758 gama = 0.000000 Iph(A) = 0.280170 I0(uA) = 0.002324 n = 1.281173 Rs(ohms) = 0.444252 Rp(ohms) = 983.023366 RMSE = 0.002676	VD_QUASCHNING a = 0.070360 Vbr = -2.969116 m = 1.286092 I02(uA) = 0.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.373560 I0(uA) = 0.000012 n = 1.000000 Rs(ohms) = 1.336845 Rp(ohms) = 10000.000000 RMSE = 0.004179	VD_BISHOP a = 0.000100 Vbr = -10.414722 m = 2.000000 Iph(A) = 0.285534 I0(uA) = 0.000012 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.893736 Rp(ohms) = 823.187705 RMSE = 0.007497
Variação Vermelha		
		

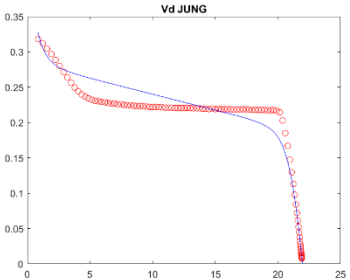
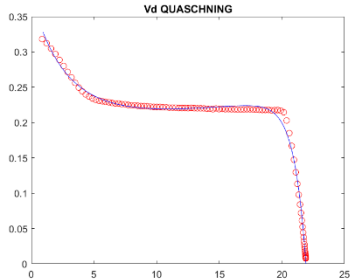
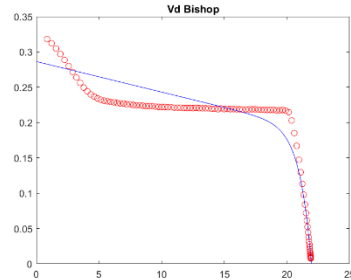
VD_JUNG Ishade = 0.232712 Vb = 28.037044 alfa = 0.000000 beta = 9.876255 gama = 0.000000 Iph(A) = 0.285300 I0(uA) = 0.000511 n = 1.162978 Rs(ohms) = 0.774695 Rp(ohms) = 304.253757 RMSE = 0.009959	VD_QUASCHNING a = 0.064458 Vbr = -6.184203 m = 1.577789 I02(uA) = 0.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.380400 I0(uA) = 0.000019 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.662617 Rp(ohms) = 10000.000000 RMSE = 0.004769	VD_BISHOP a = 0.000100 Vbr = -8.990903 m = 2.000000 Iph(A) = 0.285300 I0(uA) = 0.000016 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.000000 Rp(ohms) = 321.801435 RMSE = 0.013430
---	---	--

(continuação)

Variação Azul

		
VD_JUNG Ishade = 0.214500 Vb = 27.081530 alfa = 0.000000 beta = 9.462715 gama = 0.000000 Iph(A) = 0.284580 I0(uA) = 0.000072 n = 1.091776 Rs(ohms) = 1.377451 Rp(ohms) = 229.271043 RMSE = 0.014809	VD_QUASCHNING a = 0.063091 Vbr = -8.510072 m = 1.770053 I02(uA) = 0.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.379440 I0(uA) = 0.000009 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.287800 Rp(ohms) = 10000.000000 RMSE = 0.005116	VD_BISHOP a = 0.000100 Vbr = -8.884595 m = 2.000000 Iph(A) = 0.284580 I0(uA) = 0.000007 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.000000 Rp(ohms) = 237.873163 RMSE = 0.018046

Variação Verde

		
VD_JUNG Ishade = 0.214997 Vb = 26.045673 alfa = 0.000000 beta = 9.231634 gama = 0.000000 Iph(A) = 0.286382 I0(uA) = 0.000300 n = 1.140399	VD_QUASCHNING a = 0.069409 Vbr = -7.150358 m = 1.668124 I02(uA) = 0.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.381840 I0(uA) = 0.000016 n = 1.000000	VD_BISHOP a = 0.000100 Vbr = -8.613981 m = 2.000000 Iph(A) = 0.286380 I0(uA) = 0.000013 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.000000 Rp(ohms) = 231.193066

Rs(ohms) = 1.012874 Rp(ohms) = 221.149519 RMSE = 0.015481	Rs(ohms) = 0.083668 Rp(ohms) = 10000.000000 RMSE = 0.005014	RMSE = 0.018744
---	---	-----------------

O Quadro 5.8 apresenta os resultados quantitativos extraídos dos modelos para os experimentos. Como observado, os valores das resistências, correntes e tensões, trazem em seu escopo quantidades matemáticas sem significados físicos. De fato, a incertezas nos parâmetros elétricos é maior à medida que a variação espectral diminui a absorção de fótons, isso pode ser observado na análise comparativa entre as cores vermelha e verde. Portanto, os modelos Bishop (1988), Quaschnig (1996) e Jung *et al.* (2013), apesar de possuírem relevância científica na extração de parâmetros elétricos de módulos fotovoltaicos operando em condições de sombreamento, demandam revisão em sua estrutura.

CAPÍTULO 6

Conclusão e considerações finais

Este estudo objetivou investigar o impacto de diferentes tipologias de sombras na operação em células fotovoltaicas a partir da análise da Curva Característica IV de módulos fotovoltaicos. Para esse fim, foram selecionadas células a partir da intensidade de pixels apresentadas em imagens de eletroluminescência. Nesse sentido, foram medidos valores de tensão e corrente na saída do módulo em condições reais e com Curvas IV's corrigidas segundo STC, a fim de verificar a capacidade de operação em condução reversa da célula e o impacto sofrido por sombreamento total e parcial, sujidades e mudanças no espectro solar.

Em condições reais de operação, muitos desses fatores não são controláveis, mas são passíveis de simulação ou experimentação. O estudo sobre os mesmos traz avanços em soluções que podem melhorar a eficiência de células e sua interconexão em módulos fotovoltaicos. Nessa perspectiva, esse trabalho trouxe a caracterização precisa da curva de tensão e corrente quando células estão operando em regimes que provocam defeitos no funcionamento de sistemas solares.

No âmbito das características físicas das células, o estado da superfície, bem como as interconexões das células nos módulos influenciam a condição de funcionamento, que pode ocorrer em regiões ativas com polarização direta ou reversa. De fato, os estudos comprovaram que as tipologias utilizadas para simular diferentes formas de sombreamento, potencializam a perda de potência gerada em consequência do funcionamento da célula em condições incomuns que trazem em seu escopo variações nos parâmetros elétricos dos módulos.

Posto isso, a corrente gerada pela célula é um dos parâmetros elétricos mais sensíveis aos efeitos adversos na operação fotovoltaica, sobretudo quando as células passam por alterações de temperatura, consequente de sombreamentos, sujidade e variação espectral. Desse modo, os estudos comprovam que a I_D no comportamento ideal da Curva IV.

Nessa perspectiva, a intensidade de luz solar traz em seu escopo o aumento da temperatura no módulo e em condições de sombreamento esse fator é potencializado. Em geral, a temperatura é uma variável intrínseca no funcionamento do gerador e associada a problemas em células solares que provocam o declínio na curva típica IV. Na maior parte dos experimentos, as regiões escurecidas nas células apresentam menor capacidade de absorção de fótons para condução do semicondutor.

Entretanto, com o experimento da variação espectral é verificado que o estado físico norteado pelos valores da tensão na região de saturação, não sofre influência da densidade de potência do comprimento de onda. De fato, o fluxo de fótons da irradiância são absorvidos em sua faixa de comprimento de onda (vermelho, azul e verde), não comprometendo o funcionamento do gerador, tal como a ocorrência de falhas técnicas de curto ou longo prazo. Nesse contexto, observou-se que o espectro de cor verde apresentou maior influência na resistência série. Vale destacar que, o espectro na cor verde possui os menores valores para menor transmitância, menor absorção de fótons e consequentemente I_{ph} .

Em geral, os experimentos apresentaram uma perda de potência que varia entre 0,96% à 65,56% em todos os cenários. Os resultados demonstraram dados de células sombreadas em diferentes perspectivas e trouxeram um panorama geral da operação de células em condições reais de operação. Dessa forma, foi evidenciado que as implicações sobre a curva IV não são influenciadas apenas pelas condições de operação dos experimentos, mas também através da constatação de danos físicos em regiões ativas da célula, fato que não poderia ser considerado apenas com a observação analítica da imagem de eletroluminescência.

Do ponto de vista quantitativo, esse trabalho demonstrou que os modelos propostos por Bishop (1988), Quaschnig (1996) e Jung *et al.* (2013) não foram eficientes na extração dos parâmetros elétricos de saída do módulo quando estão submetidos a condução reversa. Apesar de serem os modelos mais citados na literatura, para os experimentos realizados sob sol pleno, os modelos forneceram respostas matemáticas às equações, porém sem consistência na representação físicas dos parâmetros elétricos.

Os resultados e discussões apresentados neste trabalho ampliam as possibilidades de pesquisas e estudos sobre os efeitos adversos de operação de módulos fotovoltaicos, sobretudo sombreamentos e temas adjacentes. Posto isso, como todos os experimentos foram realizados em condições reais de operação com diferentes perspectivas do mesmo fenômeno. Com isso, esse estudo pode nortear simulações a fim de realizar estudos, para constatação de incertezas em casos específicos da operação de dispositivos fotovoltaicos.

Além disso pode-se ser realizado o aprofundamento do estudo por meio de uma análise quantitativa sobre os parâmetros elétricos, para tanto é necessário o desenvolvimento de modelos matemáticos que descrevam com consistência a operação de células fotovoltaicas em condução reversa. Ou ainda, a melhoria dos modelos desenvolvidos por Bishop (1988), Quaschnig (1996) e Jung *et al.* (2013) para evidênciação das incertezas, aprimoramento dos resultados e apreciação dos parâmetros elétricos que são mantidos mesmo quando dispositivos fotovoltaicos estão sobre efeito de sombreamentos.

REFERÊNCIAS

ABNT-NBR-16274. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados À Rede – Requisitos Mínimos Para Documentação, Ensaios De Comissionamento, Inspeção E Avaliação De Desempenho**. Brasília, 2014.

ABDULLAH, K. A. et al. Study of the Effects Related to the Electric Reverse Stress Currents on the Mono-Si Solar Cell Electrical Parameters. **Energy Procedia**, v. 36, p. 104–113, 2013.

ADHAU, S. P. et al. **Study and Analysis of Solar Photo Voltaic Modules with Real Time Experimentation on Solar Simulator/Solar Emulator**. 2022 International Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies (ICECET). **Anais...** Em: 2022 INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRICAL, COMPUTER AND ENERGY TECHNOLOGIES (ICECET). Prague, Czech Republic: IEEE, 20 jul. 2022. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/9872753/>>. Acesso em: 5 nov. 2022.

AHMED, A. N. R. et al. **A complete modeling and analysis of solar system (cell/module/array) based on MATLAB**. 2015 International Conference on Electrical & Electronic Engineering (ICEEE). **Anais...** Em: 2015 INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRICAL & ELECTRONIC ENGINEERING (ICEEE). Rajshahi, Bangladesh: IEEE, nov. 2015. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7428242/>>. Acesso em: 24 out. 2022.

ALBATAYNEH, A. et al. Rooftop photovoltaic system as a shading device for uninsulated buildings. **Energy Reports**, v. 8, p. 4223–4232, nov. 2022.

ALLW, A. S.; DUHIS, A. H.; AL-GHANIMI, A. An efficient of estimation the load profile analysis of photo voltaic system with different shading of local city. **International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)**, v. 13, n. 4, p. 2405, 1 dez. 2022.

ALONSO-GARCÍA, M. C.; RUÍZ, J. M. Analysis and modelling the reverse characteristic of photovoltaic cells. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 90, n. 7–8, p. 1105–1120, maio 2006.

ALONSOGARCIA, M.; RUIZ, J.; CHENLO, F. Experimental study of mismatch and shading effects in the – characteristic of a photovoltaic module. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 90, n. 3, p. 329–340, 15 fev. 2006.

AMAR RAJ, R. D.; NAIK, K. A. A Novel Solar Photovoltaic Array Reconfiguration Technique Using Two-Dimensional Generalized Arnold's Cat Map. **Journal of Solar Energy Engineering**, v. 144, n. 6, p. 061001, 1 dez. 2022.

- ANITHA, B. et al. Charge carrier dynamics and photovoltaic properties of near-infrared absorbing squaraine incorporated solution-processed additive-free PTB7:PCBM based ternary solar cells. **Journal of Physics D: Applied Physics**, v. 55, n. 12, p. 125301, 24 mar. 2022.
- BELARBI, M. et al. A new algorithm of parameter estimation of a photovoltaic solar panel. p. 10, (2013).
- BELHACHAT, F.; LARBES, C. Modeling, analysis and comparison of solar photovoltaic array configurations under partial shading conditions. **Solar Energy**, v. 120, p. 399–418, out. 2015.
- BHATNAGAR, P.; NEMA, R. K. Maximum power point tracking control techniques: State-of-the-art in photovoltaic applications. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 23, p. 224–241, jul. 2013.
- BIDRAM, A.; DAVOUDI, A.; BALOG, R. S. Control and Circuit Techniques to Mitigate Partial Shading Effects in Photovoltaic Arrays. **IEEE Journal of Photovoltaics**, v. 2, n. 4, p. 532–546, out. 2012.
- BISHOP, J. W. Computer simulation of the effects of electrical mismatches in photovoltaic cell interconnection circuits. **Solar Cells**, v. 25, n. 1, p. 73–89, out. 1988.
- BOURAIYOU, A. et al. Analysis and evaluation of the impact of climatic conditions on the photovoltaic modules performance in the desert environment. **Energy Conversion and Management**, v. 106, p. 1345–1355, dez. 2015.
- BOUTAHIR, M. K. et al. Effect of Feature Selection on the Prediction of Direct Normal Irradiance. **Big Data Mining and Analytics**, v. 5, n. 4, p. 309–317, dez. 2022.
- BRITO, T. R. et al. "Análise Da Curva I-V De Módulos Multicristalinos A Sol Real". VII Congresso Brasileiro de Energia Solar, p. 8, 2018.
- BUDDALA, S. S.; VEMURU, S.; DEVABHAKTUNI, V. **Small signal modeling of diode in a parallel module subjected to partial shading**. IEEE International Conference on Electro-Information Technology , EIT 2013. **Anais...**Rapid City, SD, USA: IEEE, maio 2013. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6632680/>>. Acesso em: 11 fev. 2020
- BUENCUERPO, J. et al. Efficient light-trapping in ultrathin GaAs solar cells using quasi-random photonic crystals. **Nano Energy**, v. 96, p. 107080, jun. 2022.
- CHEN, H. et al. Data-Driven Detection of Hot Spots in Photovoltaic Energy Systems. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems**, v. 49, n. 8, p. 1731–1738, ago. 2019a.

CHEN, Q. et al. Effects of Flexible Conjugation-Break Spacers of Non-Conjugated Polymer Acceptors on Photovoltaic and Mechanical Properties of All-Polymer Solar Cells. **Nano-Micro Letters**, v. 14, n. 1, p. 164, dez. 2022.

CHEN, Z. et al. Deep residual network based fault detection and diagnosis of photovoltaic arrays using current-voltage curves and ambient conditions. **Energy Conversion and Management**, v. 198, p. 111793, out. 2019b.

CHOW, T. T. et al. Energy and exergy analysis of photovoltaic-thermal collector with and without glass cover. **Applied Energy**, v. 86, n. 3, p. 310–316, mar. 2009.

DE SOTO, W.; KLEIN, S. A.; BECKMAN, W. A. Improvement and validation of a model for photovoltaic array performance. **Solar Energy**, v. 80, n. 1, p. 78–88, jan. 2006.

DHIMISH, M.; BADRAN, G. Current limiter circuit to avoid photovoltaic mismatch conditions including hot-spots and shading. **Renewable Energy**, v. 145, p. 2201–2216, jan. 2020.

DHIMISH, M.; HU, Y. Rapid testing on the effect of cracks on solar cells output power performance and thermal operation. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 12168, dez. 2022.

DIRNBERGER, D. et al. On the impact of solar spectral irradiance on the yield of different PV technologies. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 132, p. 431–442, jan. 2015.

ERSÖZ, G. et al. Investigation of photo-induced effect on electrical properties of Au/PPy/n-Si (MPS) type schottky barrier diodes. **Journal of Materials Science: Materials in Electronics**, v. 28, n. 9, p. 6413–6420, maio 2017.

FARAYOLA, A. M.; SUN, Y.; ALI, A. Global maximum power point tracking and cell parameter extraction in Photovoltaic systems using improved firefly algorithm. **Energy Reports**, p. 25, 2022.

FAYE, I. et al. Experimental study of observed defects in mini-modules based on crystalline silicon solar cell under damp heat and thermal cycle testing. **Solar Energy**, v. 191, p. 161–166, out. 2019.

FUYUKI, T. et al. Photographic surveying of minority carrier diffusion length in polycrystalline silicon solar cells by electroluminescence. **Applied Physics Letters**, v. 86, n. 26, p. 262108, 27 jun. 2005.

GASPARIN, F. P. **DESENVOLVIMENTO DE UM TRAÇADOR DE CURVAS CARACTERÍSTICAS DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS**. Dissertação—Porto Alegre - RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.

Gil, A. C. (2008). *Método e técnicas de pesquisa social* (6 ed.). São Paulo, SP: Atlas.

GNETCHEJO, P. J. et al. Important notes on parameter estimation of solar photovoltaic cell. **Energy Conversion and Management**, v. 197, p. 111870, out. 2019.

GOMES, M. G.; SANTOS, A. J.; CALHAU, M. Experimental study on the impact of double tilted Venetian blinds on indoor daylight conditions. **Building and Environment**, v. 225, p. 109675, nov. 2022.

GREULICH, J. M. et al. Contactless measurement of current-voltage characteristics for silicon solar cells. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 248, p. 111931, dez. 2022.

GUARRACINO, I. et al. Dynamic coupled thermal-and-electrical modelling of sheet-and-tube hybrid photovoltaic/thermal (PVT) collectors. **Applied Thermal Engineering**, v. 101, p. 778–795, maio 2016.

HANITSCHT, R. Numerical simulation of current-voltage characteristics of photovoltaic systems with shaded solar cells. **Solar Energy**. Pergamon, v. 56, n. 6, p. 8, (1996).

HALLIDAY, D., RESNICK, R., WALKER, J., trad. de Biasi, Ronaldo Sérgio. Fundamentos de Física. vol.4. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

HONSBURG, C; BOWDEN, S. **PV Education**. Arizona, Estados Unidos: Arizona State University, 2022. E-book. Disponível em: <https://www.pveducation.org/>. Acesso: 20 nov. 2022.

HU, M. et al. Quantitative characterization of the effect of inclination angle on flat-plate radiative cooling performance in buildings. **Journal of Building Engineering**, v. 59, p. 105124, nov. 2022.

HUMADA, A. M. et al. Solar cell parameters extraction based on single and double-diode models: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 56, p. 494–509, abr. 2016.

IEC-60891. "IEC 60891, Photovoltaic devices – Procedures for temperature and irradiance corrections to measured I-V characteristics". 2009.

IEC-60904-1-1. "IEC 60904-1-1: Photovoltaic devices - Part 1-1: Measurement of current-voltage characteristics of multi-junction photovoltaic (PV) devices International Standard," 2017.

ISHII, T.; OTANI, K.; TAKASHIMA, T. Effects of solar spectrum and module temperature on outdoor performance of photovoltaic modules in round-robin measurements in Japan.

- Progress in Photovoltaics: Research and Applications**, v. 19, n. 2, p. 141–148, mar. 2011.
- JUNG, T. H. et al. Output characteristics of PV module considering partially reverse biased conditions. **Solar Energy**, v. 92, p. 214–220, jun. 2013.
- KAJARI-SCHRÖDER, S. et al. Spatial and orientational distribution of cracks in crystalline photovoltaic modules generated by mechanical load tests. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 95, n. 11, p. 3054–3059, nov. 2011.
- KATAYAMA, N. et al. Degradation and fault diagnosis of photovoltaic cells using impedance spectroscopy. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 194, p. 130–136, jun. 2019.
- KHAN, A. A. et al. **Splitting and Concentration of Solar Spectrum using Compound Holographic Optical Element for Nanowire and Nanopillar Solar Cells**. 2022 Second International Conference on Power, Control and Computing Technologies (ICPC2T). **Anais...** Em: 2022 SECOND INTERNATIONAL CONFERENCE ON POWER, CONTROL AND COMPUTING TECHNOLOGIES (ICPC2T). Raipur, India: IEEE, 1 mar. 2022. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/9776815/>>. Acesso em: 27 set. 2022.
- KIM, K. A.; KREIN, P. T. Reexamination of Photovoltaic Hot Spotting to Show Inadequacy of the Bypass Diode. **IEEE Journal of Photovoltaics**, v. 5, n. 5, p. 1435–1441, set. 2015.
- KIMBER, A. et al. **The Effect of Soiling on Large Grid-Connected Photovoltaic Systems in California and the Southwest Region of the United States**. 2006 IEEE 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conference. **Anais...** Em: 2006 IEEE 4TH WORLD CONFERENCE ON PHOTOVOLTAIC ENERGY CONFERENCE. Waikoloa, HI: IEEE, 2006. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/4060159/>>. Acesso em: 14 set. 2022.
- KINSEY, G. S. et al. Impact of measured spectrum variation on solar photovoltaic efficiencies worldwide. **Renewable Energy**, v. 196, p. 995–1016, ago. 2022.
- KIRN, B.; BRECL, K.; TOPIC, M. A new PV module performance model based on separation of diffuse and direct light. **Solar Energy**, v. 113, p. 212–220, mar. 2015.]
- KIRN, B.; TOPIC, M. Diffuse and direct light solar spectra modeling in PV module performance rating. **Solar Energy**, v. 150, p. 310–316, jul. 2017.
- KOMARES®. **[Datasheet] KM(P) 5.pdf**Komares® Solar, , 2019.
- KOTTAS, T. L.; BOUTALIS, Y. S.; KARLIS, A. D. New Maximum Power Point Tracker for PV Arrays Using Fuzzy Controller in Close Cooperation With Fuzzy Cognitive Networks. **IEEE Transactions on Energy Conversion**, v. 21, n. 3, p. 793–803, set. 2006.

KREBS, F. C. Fabrication and processing of polymer solar cells: A review of printing and coating techniques. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 93, n. 4, p. 394–412, abr. 2009.

KREFT, W.; FILIPOWICZ, M.; ŻOŁĄDEK, M. Reduction of electrical power loss in a photovoltaic chain in conditions of partial shading. **Optik**, v. 202, p. 163559, fev. 2020.

KROPP, T.; SCHUBERT, M.; WERNER, J. Quantitative Prediction of Power Loss for Damaged Photovoltaic Modules Using Electroluminescence. **Energies**, v. 11, n. 5, p. 1172, 7 maio 2018.

KUMAR, A. Numerical modelling of ion-migration caused hysteresis in perovskite solar cells. **Optical and Quantum Electronics**, v. 53, n. 4, p. 166, abr. 2021.

KUMAR, D. et al. A simplified simulation model of silicon photovoltaic modules for performance evaluation at different operating conditions. **Optik**, v. 204, p. 164228, fev. 2020.

KUMAR, V.; MAHESHWARI, P. Advanced analytics on IV curves and electroluminescence images of photovoltaic modules using machine learning algorithms. **Progress in Photovoltaics: Research and Applications**, v. 30, n. 8, p. 880–888, ago. 2022.

LEVINSON, R.; BERDAHL, P.; AKBARI, H. Solar spectral optical properties of pigments—Part I: model for deriving scattering and absorption coefficients from transmittance and reflectance measurements. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 89, n. 4, p. 319–349, dez. 2005.

LI, Y. et al. A novel correlative model of failure mechanisms for evaluating MEMS devices reliability. **Microelectronics Reliability**, v. 64, p. 669–675, set. 2016.

LIM, L. H. I. et al. A linear method to extract diode model parameters of solar panels from a single I–V curve. **Renewable Energy**, v. 76, p. 135–142, abr. 2015.

LIU, X.; QIU, J. Recent advances in energy transfer in bulk and nanoscale luminescent materials: from spectroscopy to applications. **Chemical Society Reviews**, v. 44, n. 23, p. 8714–8746, 2015.

LYU, X. et al. Advanced frequency support strategy of photovoltaic system considering changing working conditions. **IET Generation, Transmission & Distribution**, v. 12, n. 2, p. 363–370, jan. 2018.

MA, T. et al. Using phase change materials in photovoltaic systems for thermal regulation and electrical efficiency improvement: A review and outlook. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 43, p. 1273–1284, mar. 2015.

MARCONI, M. DE A., & LAKATOS, E. M. (2010). *Fundamentos de metodologia científica* (7 ed.). São Paulo, SP : Atlas.

MARQUES, H. S. S. *Influência da Temperatura e Irradiância nos Parâmetros Elétricos de Módulos Fotovoltaicos*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe, 2020.

MASIH, A. et al. **Application of Dual Axis Solar Tracking System in Qurghonteppa, Tajikistan**. 2019 IEEE 7th International Conference on Smart Energy Grid Engineering (SEGE). *Anais...*Oshawa, ON, Canada: IEEE, ago. 2019. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8859937/>>. Acesso em: 6 dez. 2019.

MASSI PAVAN, A.; MELLIT, A.; DE PIERI, D. The effect of soiling on energy production for large-scale photovoltaic plants. **Solar Energy**, v. 85, n. 5, p. 1128–1136, maio 2011.

MELLIT, A.; TINA, G. M.; KALOGIROU, S. A. Fault detection and diagnosis methods for photovoltaic systems: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 91, p. 1–17, ago. 2018.

MERTENS, K. **Photovoltaics: fundamentals, technology and practice**. Chichester: Wiley, 2014.

NIAZI, K.; KHAN, H. A.; AMIR, F. Hot-spot reduction and shade loss minimization in crystalline-silicon solar panels. **Journal of Renewable and Sustainable Energy**, v. 10, n. 3, p. 033506, maio 2018.

NONATO, V. S. B. Informativo Meteorológico N°40/2022. **INMET**, Brasília, Distrito Federal, 10 de ago. 2022. Disponível em: < <https://portal.inmet.gov.br/noticias/informativo-meteorol%C3%B3gico-n-40-2022>>. Acesso: 1 ago. 2022.

ORIOLI, A. An accurate one-diode model suited to represent the current-voltage characteristics of crystalline and thin-film photovoltaic modules. **Renewable Energy**, v. 145, p. 725–743, jan. 2020.

OTTA, L. A. Parcela do tesouro nos empréstimos do BNDES cresce 566 % em oito anos. *O Estado de S. Paulo*, São Paulo, ano 131, n. 42656, 1 ago. 2010. Economia & Negócios, p. B1.

OUFETTOUL, H. et al. Improved TCT topology for shaded photovoltaic arrays. **Energy Reports**, v. 8, p. 5943–5956, nov. 2022.

PAREEK, S.; DAHIYA, R. Output Power Maximization of Partially Shaded 4*4 PV Field by Altering its Topology. **Energy Procedia**, v. 54, p. 116–126, 2014.

PARLAK, K. Ş. PV array reconfiguration method under partial shading conditions. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, v. 63, p. 713–721, dez. 2014.

PLETZER, T. M. et al. Influence of cracks on the local current-voltage parameters of silicon solar cells: Influence of cracks in silicon solar cells. **Progress in Photovoltaics: Research and Applications**, v. 23, n. 4, p. 428–436, abr. 2015.

POTTHOFF, T. et al. Detection of the voltage distribution in photovoltaic modules by electroluminescence imaging: Voltage distribution in pv modules by el imaging. **Progress in Photovoltaics: Research and Applications**, v. 18, n. 2, p. 100–106, mar. 2010.

POULADIAN-KARI, A. et al. A novel solution for addressing the problem of soiling and improving performance of PV solar systems. **Solar Energy**, v. 241, p. 315–326, jul. 2022.

POULADIAN-KARI, A. et al. A novel solution for addressing the problem of soiling and improving performance of PV solar systems. **Solar Energy**, v. 241, p. 315–326, jul. 2022a.

POULADIAN-KARI, A. et al. A novel solution for addressing the problem of soiling and improving performance of PV solar systems. **Solar Energy**, v. 241, p. 315–326, jul. 2022b.

PRASANTH RAM, J. et al. A simple, reliable and adaptive approach to estimate photovoltaic parameters using spotted hyena optimization: A framework intelligent to predict photovoltaic parameters for any meteorological change. **Solar Energy**, v. 236, p. 480–498, abr. 2022.

RAMABADRAN, R.; MATHUR, B. Effect of Shading on Series and Parallel Connected Solar PV Modules. **Modern Applied Science**, v. 3, n. 10, p. p32, 18 set. 2009.

RAMAPRABHA, R. et al. **New Configuration of Solar Photo Voltaic Array to Address Partial Shaded Conditions**. 2010 3rd International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology. **Anais...Goa: IEEE**, nov. 2010. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/5698344/>>. Acesso em: 11 fev. 2020

RAMAPRABHA, R.; MATHUR, B. L. A Comprehensive Review and Analysis of Solar Photovoltaic Array Configurations under Partial Shaded Conditions. **International Journal of Photoenergy**, v. 2012, p. 1–16, 2012.

RANGEL-KUOPPA, V.-T. Obtention of solar cell parameters, through convergence of iterative cycles. Part 2: Application to experimental current-voltage measurements. **Heliyon**, v. 8, n. 9, p. e10548, set. 2022.

SILVEIRA, G. A.; SANTOS, J. O. R.; RIFFEL, D. B. Desenvolvimento de seguidor solar de dois eixos com suporte para células fotovoltaicas, Aracaju, Sergipe. *In: Simpósio Energia Solar como Ferramenta de Competitividade*. p. 6, (2016).

SILVESTRE, S.; BORONAT, A.; CHOUDER, A. Study of bypass diodes configuration on PV modules. **Applied Energy**, v. 86, n. 9, p. 1632–1640, set. 2009.

SKOMEDAL, Å. F. et al. How much power is lost in a hot-spot? A case study quantifying the effect of thermal anomalies in two utility scale PV power plants. **Solar Energy**, v. 211, p. 1255–1262, nov. 2020.

VANKADARA, S. K.; CHATTERJEE, S.; BALACHANDRAN, P. K. An accurate analytical modeling of solar photovoltaic system considering R_s and R_{sh} under partial shaded condition. **International Journal of System Assurance Engineering and Management**, v. 13, n. 5, p. 2472–2481, out. 2022.

VILLA, L. F. L. et al. Maximizing the Power Output of Partially Shaded Photovoltaic Plants Through Optimization of the Interconnections Among Its Modules. **IEEE Journal of Photovoltaics**, v. 2, n. 2, p. 154–163, abr. 2012.

WANG, Y.-J.; HSU, P.-C. An investigation on partial shading of PV modules with different connection configurations of PV cells. **Energy**, v. 36, n. 5, p. 3069–3078, maio 2011.

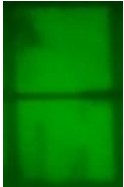
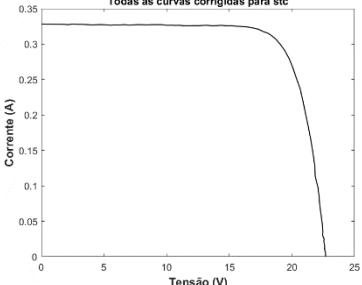
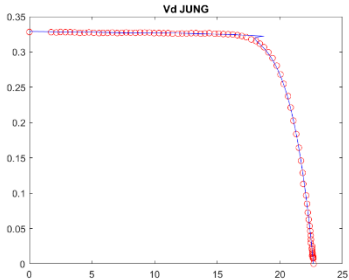
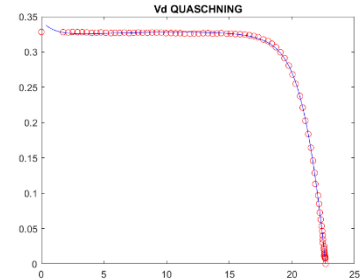
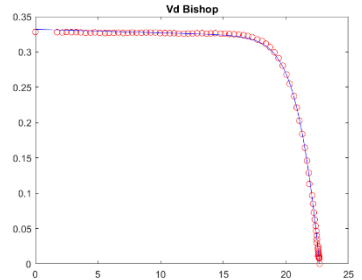
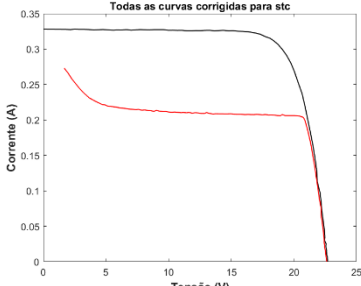
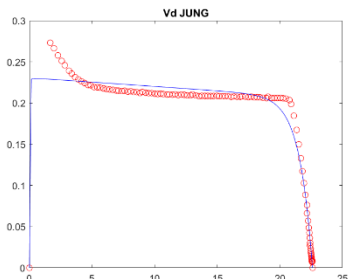
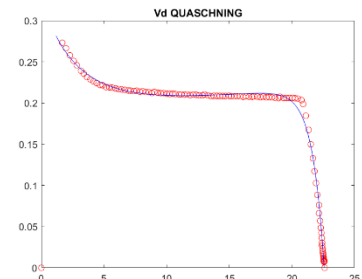
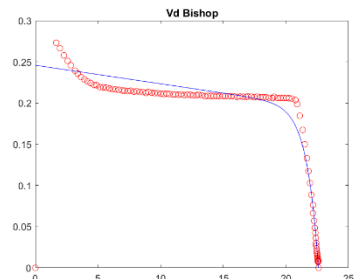
XENOPHONTOS, A.; BAZZI, A. M. Model-Based Maximum Power Curves of Solar Photovoltaic Panels Under Partial Shading Conditions. **IEEE Journal of Photovoltaics**, v. 8, n. 1, p. 233–238, jan. 2018.

YU, K. et al. Parameters identification of photovoltaic models using an improved JAYA optimization algorithm. **Energy Conversion and Management**, v. 150, p. 742–753, out. 2017.

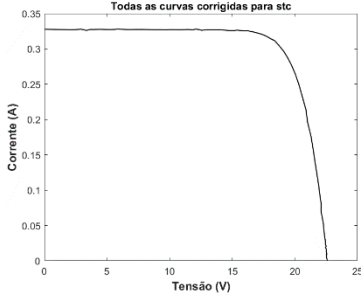
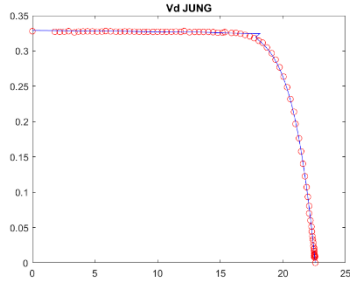
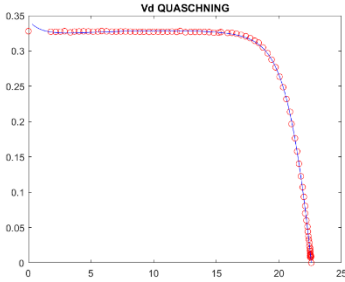
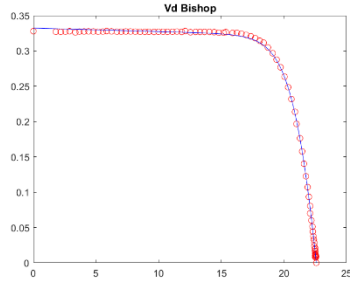
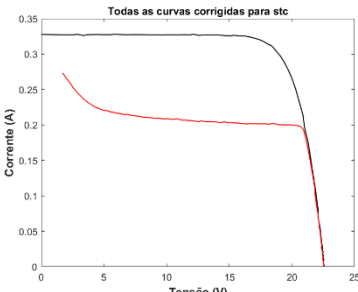
ZHANG, J. et al. Efficiency enhancement of $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S}, \text{Se})_4$ solar cells by addition a CuSe intermediate layer between $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S}, \text{Se})_4$ and Mo electrode. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 911, p. 165056, ago. 2022.

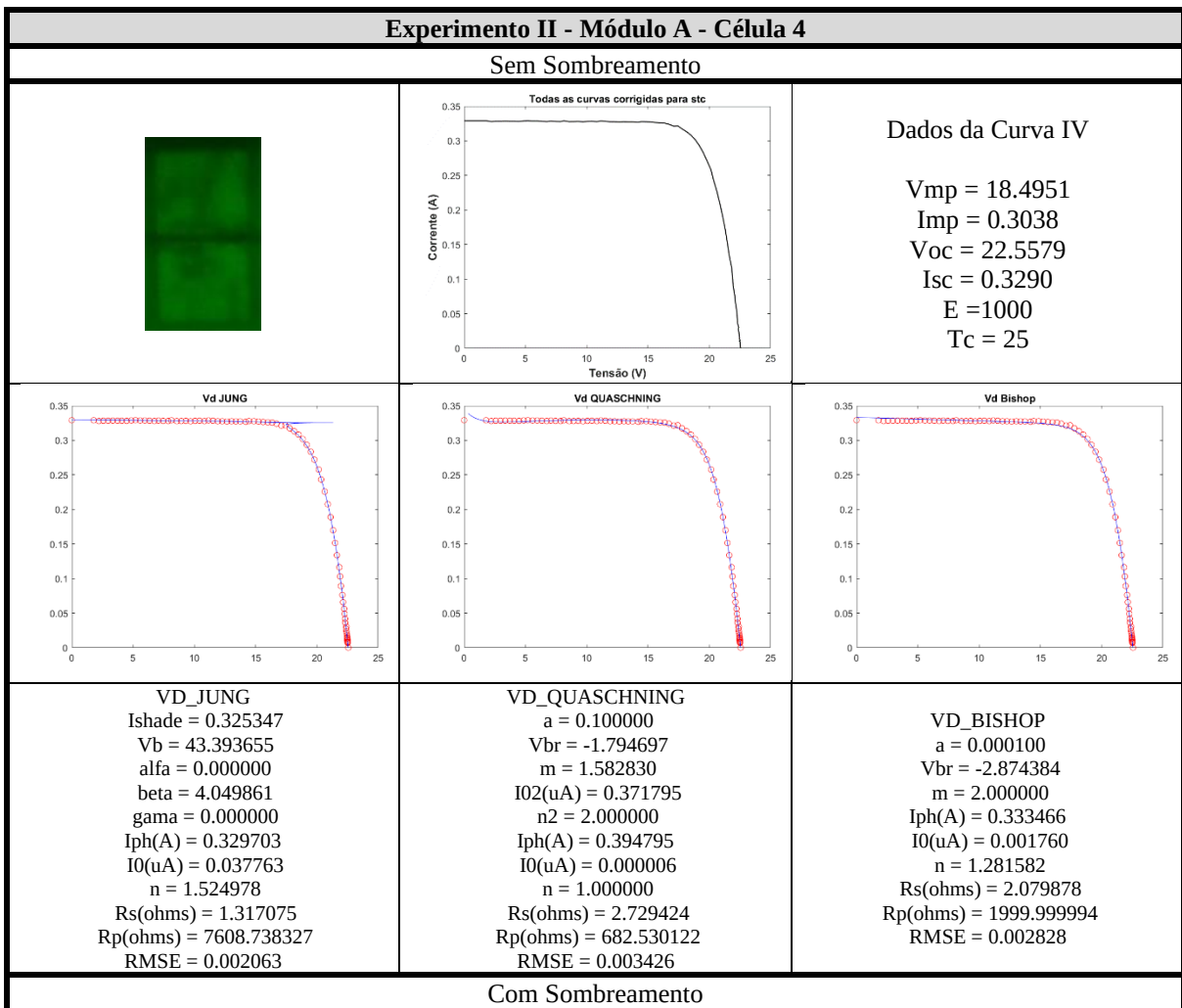
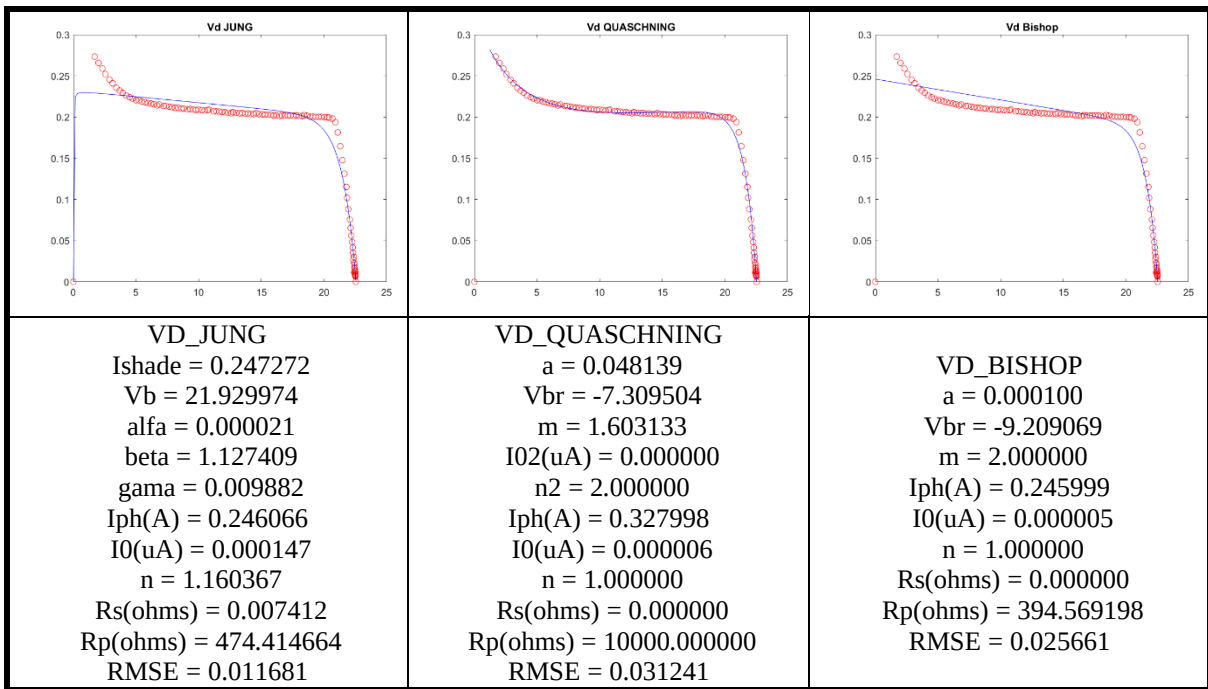
Apêndice A

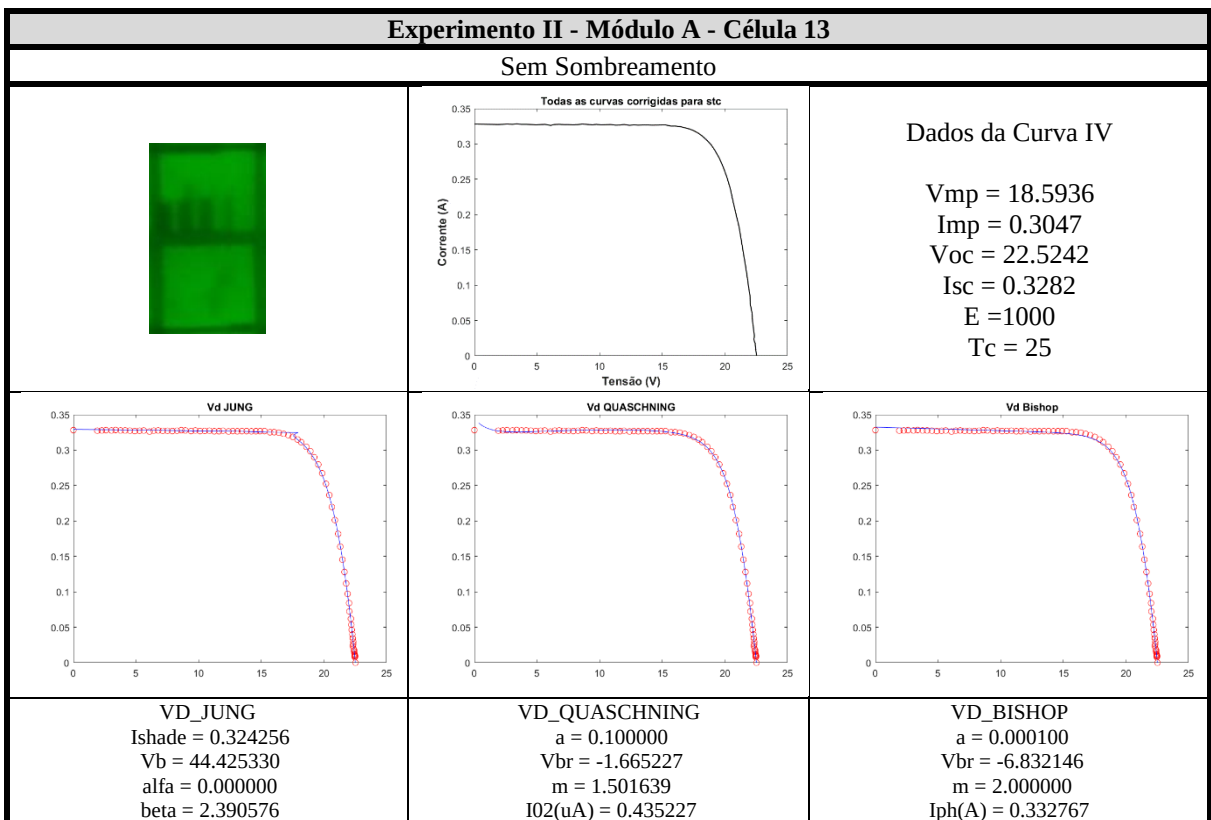
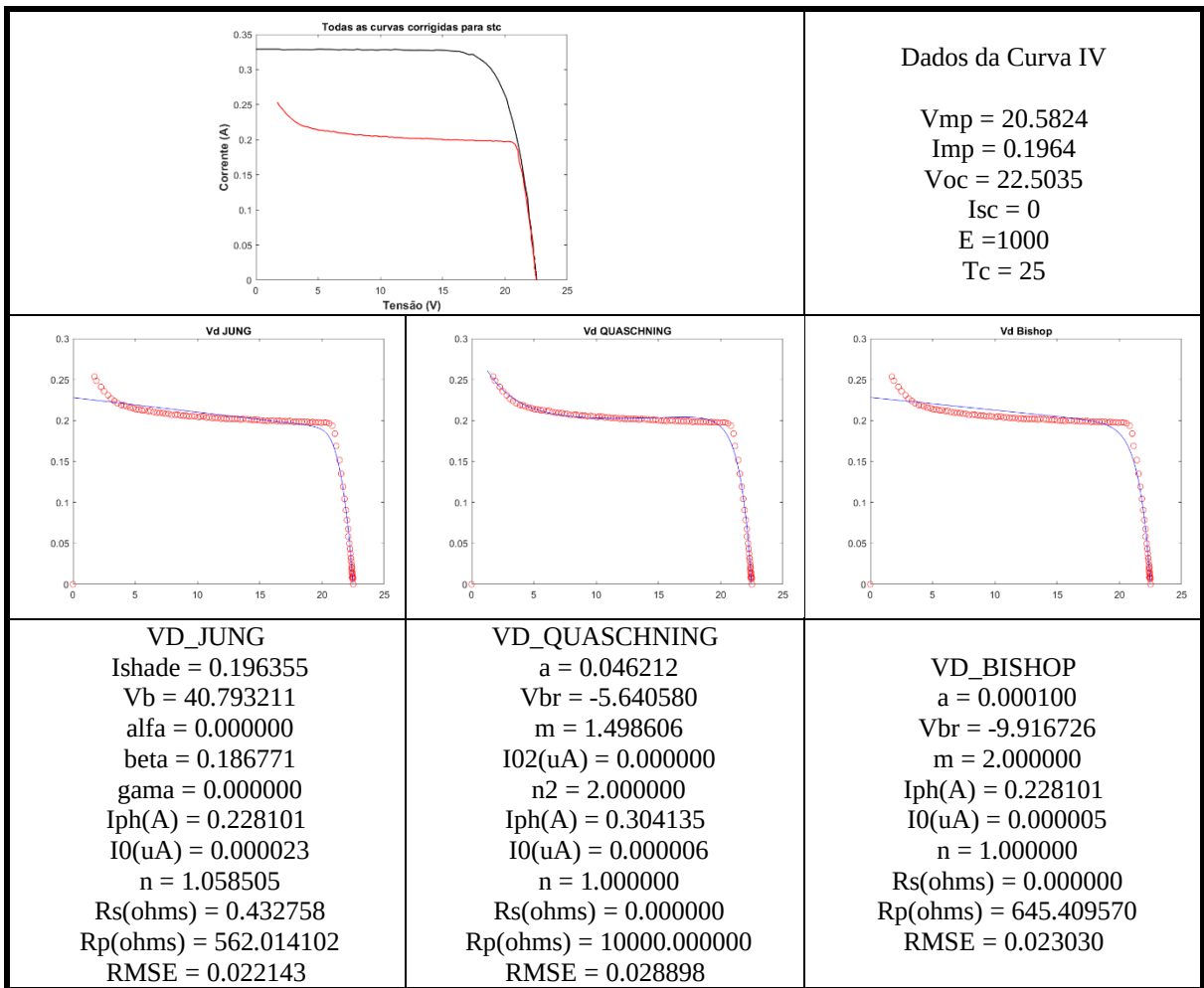
Resultados experimentais do Módulo A e do Módulo B

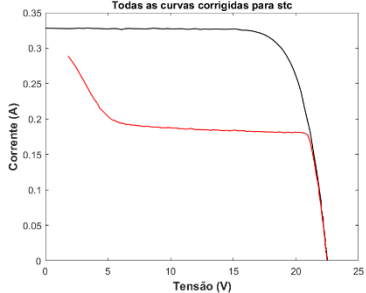
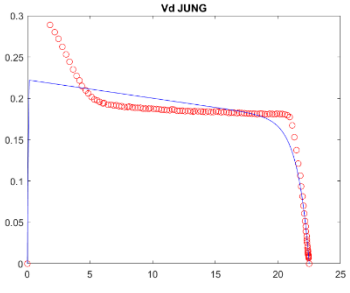
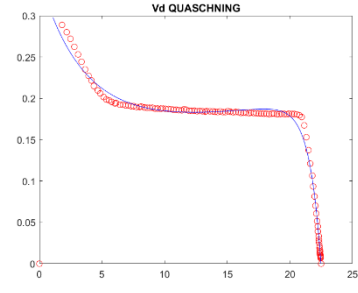
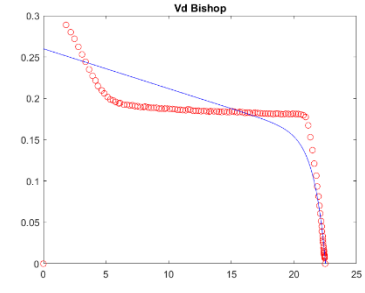
Experimento II - Módulo A - Célula 2		
Sem Sombreamento		
	 Todas as curvas corrigidas para stc	Dados da Curva IV $V_{mp} = 18.8177$ $I_{mp} = 0.3017$ $V_{oc} = 22.4880$ $I_{sc} = 0.3243$ $E = 1000$ $T_c = 25$
 VD_JUNG	 VD_QUASCHNING	 VD Bishop
$I_{shade} = 0.323121$ $V_b = 37.895962$ $\alpha = 0.000000$ $\beta = 0.825107$ $\gamma = 0.000000$ $I_{ph}(A) = 0.329058$ $I_0(uA) = 0.048671$ $n = 1.558919$ $R_s(ohms) = 1.160489$ $R_p(ohms) = 5586.096564$ $RMSE = 0.002735$	$a = 0.100000$ $V_{br} = -1.669038$ $m = 1.510664$ $I_{02}(uA) = 0.325969$ $n_2 = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.393904$ $I_0(uA) = 0.000006$ $n = 1.000000$ $R_s(ohms) = 2.746139$ $R_p(ohms) = 769.372152$ $RMSE = 0.004103$	VD_BISHOP $a = 0.000099$ $V_{br} = -2.846140$ $m = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.332377$ $I_0(uA) = 0.001411$ $n = 1.274754$ $R_s(ohms) = 2.059981$ $R_p(ohms) = 1999.996145$ $RMSE = 0.003463$
Com Sombreamento		
 Todas as curvas corrigidas para stc	Dados da Curva IV $V_{mp} = 20.7651$ $I_{mp} = 0.2031$ $V_{oc} = 22.4880$ $I_{sc} = 0$ $E = 1000$ $T_c = 25$	
 VD_JUNG	 VD_QUASCHNING	 VD Bishop
VD_JUNG $I_{shade} = 0.247569$	$VD_QUASCHNING$ $a = 0.050331$	VD_BISHOP $a = 0.000100$

$V_b = 21.990542$ $\alpha = 0.000008$ $\beta = 0.999726$ $\gamma = 0.009809$ $I_{ph}(A) = 0.246422$ $I_0(uA) = 0.000051$ $n = 1.105166$ $R_s(ohms) = 0.001135$ $R_p(ohms) = 564.396437$ $RMSE = 0.010838$	$V_{br} = -6.891329$ $m = 1.622827$ $I_{02}(uA) = 0.000000$ $n_2 = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.327739$ $I_0(uA) = 0.000005$ $n = 1.000000$ $R_s(ohms) = 0.061572$ $R_p(ohms) = 10000.000000$ $RMSE = 0.031495$	$V_{br} = -7.022215$ $m = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.245804$ $I_0(uA) = 0.000005$ $n = 1.000000$ $R_s(ohms) = 0.000000$ $R_p(ohms) = 444.411483$ $RMSE = 0.025817$
--	--	---

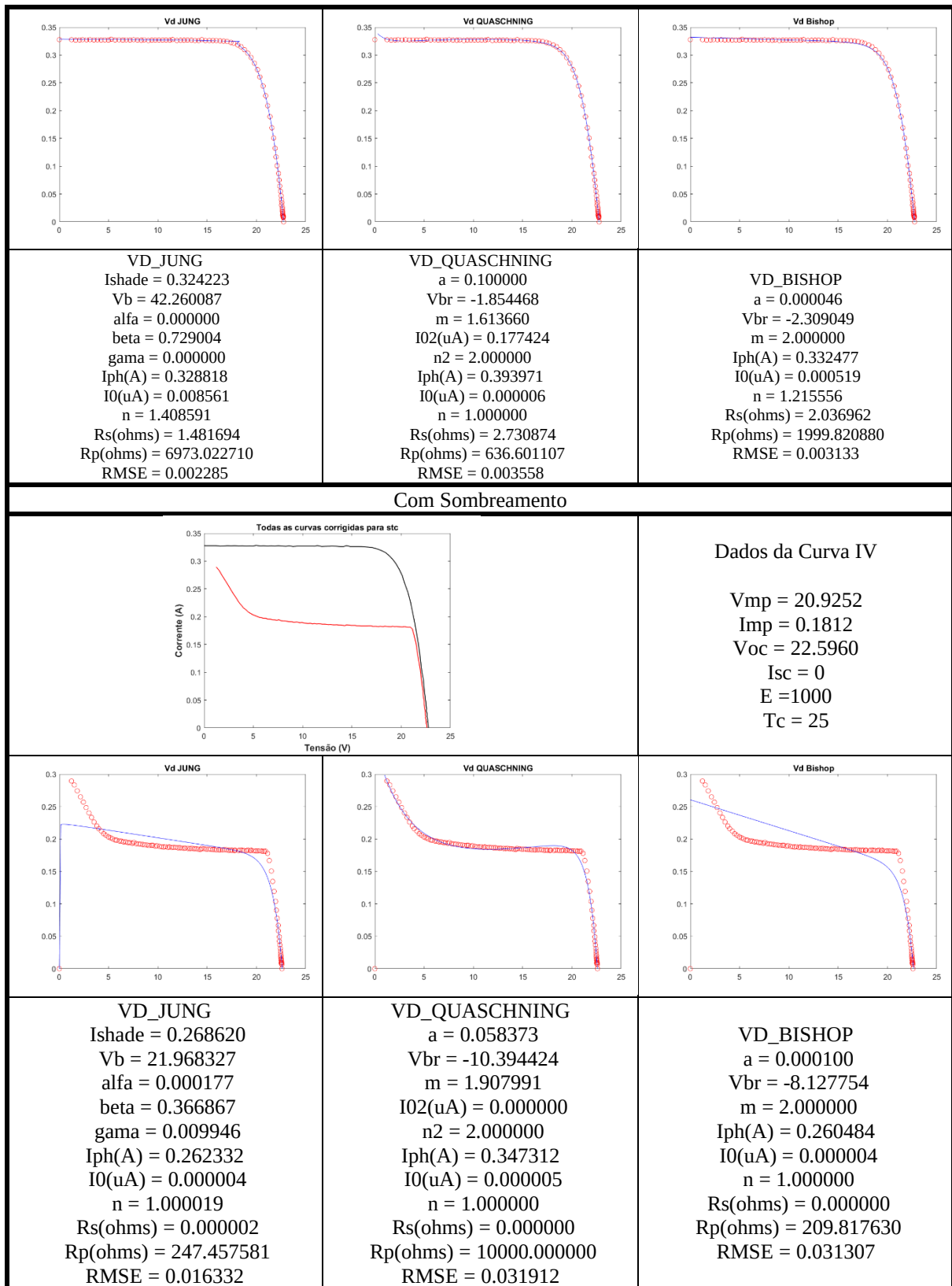
Experimento II - Módulo A - Célula 3		
Sem Sombreamento		
	 Todas as curvas corrigidas para stc	Dados da Curva IV $V_{mp} = 18.3801$ $I_{mp} = 0.3117$ $V_{oc} = 22.5871$ $I_{sc} = 0.3279$ $E = 1000$ $T_c = 25$
 Vd JUNG	 Vd QUASCHNING	 Vd Bishop
VD_JUNG Ishade = 0.323974 Vb = 28.792770 alfa = 0.000000 beta = 0.080926 gama = 0.000000 Iph(A) = 0.329067 I0(uA) = 0.036580 n = 1.524094 Rs(ohms) = 1.350976 Rp(ohms) = 7837.024657 RMSE = 0.002752	VD_QUASCHNING a = 0.100000 Vbr = -1.763667 m = 1.562101 I02(uA) = 0.332004 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.393786 I0(uA) = 0.000006 n = 1.000000 Rs(ohms) = 2.822313 Rp(ohms) = 727.877783 RMSE = 0.003997	VD_BISHOP a = 0.000100 Vbr = -4.091111 m = 2.000000 Iph(A) = 0.332743 I0(uA) = 0.001150 n = 1.255570 Rs(ohms) = 2.195052 Rp(ohms) = 1999.999324 RMSE = 0.003515
Com Sombreamento		
 Todas as curvas corrigidas para stc	Dados da Curva IV $V_{mp} = 20.6765$ $I_{mp} = 0.1981$ $V_{oc} = 22.5488$ $I_{sc} = 0$ $E = 1000$ $T_c = 25$	





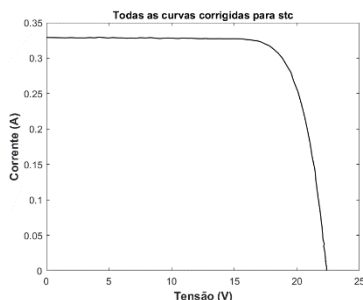
gama = 0.000000 Iph(A) = 0.329278 I0(uA) = 0.054534 n = 1.558320 Rs(ohms) = 1.281546 Rp(ohms) = 6639.278068 RMSE = 0.002538	n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.394063 I0(uA) = 0.000006 n = 1.000000 Rs(ohms) = 2.761805 Rp(ohms) = 839.990022 RMSE = 0.003904	I0(uA) = 0.002270 n = 1.296985 Rs(ohms) = 2.100861 Rp(ohms) = 1999.999999 RMSE = 0.003319
Com Sombreamento		
	Dados da Curva IV Vmp = 20.7566 Imp = 0.1795 Voc = 22.4943 Isc = 0 E = 1000 Tc = 25	
		
VD_JUNG Ishade = 0.266518 Vb = 21.869511 alfa = 0.000000 beta = 0.918729 gama = 0.009993 Iph(A) = 0.260127 I0(uA) = 0.000005 n = 1.000001 Rs(ohms) = 0.000113 Rp(ohms) = 253.459439 RMSE = 0.016257	VD_QUASCHNING a = 0.053395 Vbr = -12.153311 m = 2.000000 I02(uA) = 0.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.346608 I0(uA) = 0.000005 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.000000 Rp(ohms) = 10000.000000 RMSE = 0.032351	VD_BISHOP a = 0.000100 Vbr = -8.703879 m = 2.000000 Iph(A) = 0.259956 I0(uA) = 0.000004 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.000000 Rp(ohms) = 207.541593 RMSE = 0.031508

Experimento II - Módulo A - Célula 16		
Sem Sombreamento		
		Dados da Curva IV Vmp = 18.7871 Imp = 0.3096 Voc = 22.7610 Isc = 0.3277 E = 1000 Tc = 25



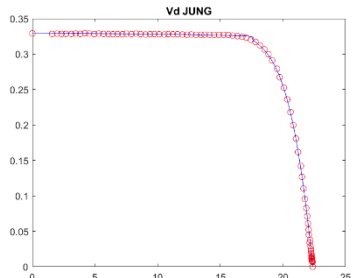
Experimento II - Módulo A - Célula 20

Sem Sombreamento

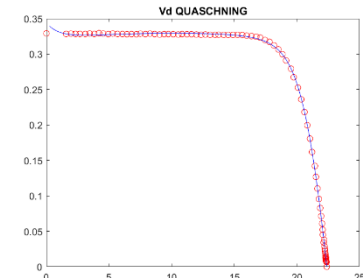


Dados da Curva IV

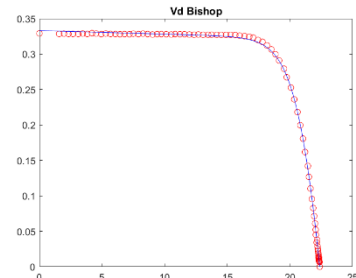
$V_{mp} = 18.5184$
 $I_{mp} = 0.3067$
 $V_{oc} = 22.3802$
 $I_{sc} = 0.3292$
 $E = 1000$
 $T_c = 25$



VD_JUNG
 $I_{shade} = 0.325201$
 $V_b = 35.749555$
 $\alpha = 0.000000$
 $\beta = 2.622233$
 $\gamma = 0.000000$
 $I_{ph}(A) = 0.329811$
 $I_0(uA) = 0.017019$
 $n = 1.441437$
 $R_s(ohms) = 1.621917$
 $R_p(ohms) = 7057.610283$
 $RMSE = 0.002183$

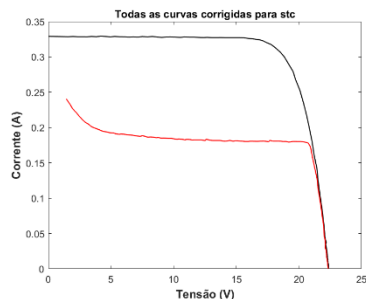


VD_QUASCHNING
 $a = 0.100000$
 $V_{br} = -1.826267$
 $m = 1.599772$
 $I_{02}(uA) = 0.270345$
 $n_2 = 2.000000$
 $I_{ph}(A) = 0.395512$
 $I_0(uA) = 0.000009$
 $n = 1.000000$
 $R_s(ohms) = 2.905808$
 $R_p(ohms) = 634.430852$
 $RMSE = 0.003386$



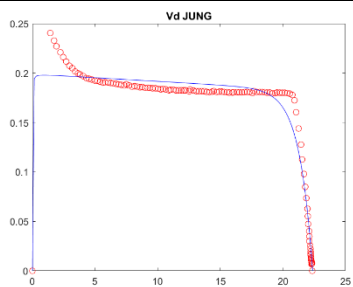
VD_BISHOP
 $a = 0.000060$
 $V_{br} = -3.047830$
 $m = 2.000000$
 $I_{ph}(A) = 0.333603$
 $I_0(uA) = 0.000933$
 $n = 1.230706$
 $R_s(ohms) = 2.252574$
 $R_p(ohms) = 1999.777189$
 $RMSE = 0.002919$

Com Sombreamento

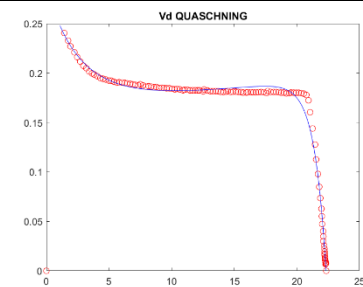


Dados da Curva IV

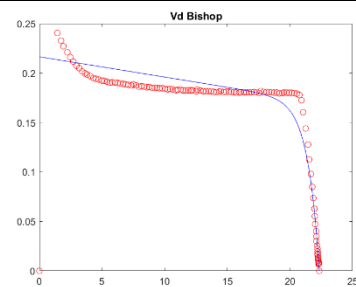
$V_{mp} = 20.7558$
 $I_{mp} = 0.1779$
 $V_{oc} = 22.3422$
 $I_{sc} = 0$
 $E = 1000$
 $T_c = 25$



VD_JUNG
 $I_{shade} = 0.217718$
 $V_b = 21.726683$
 $\alpha = 0.000010$
 $\beta = 1.114452$
 $\gamma = 0.009238$
 $I_{ph}(A) = 0.216657$

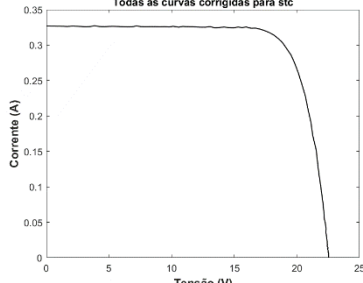
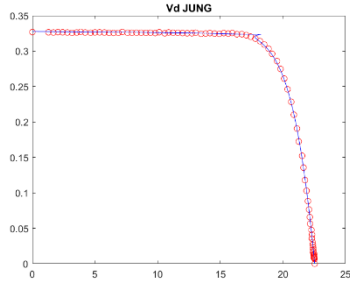
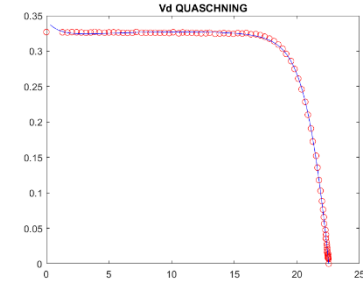
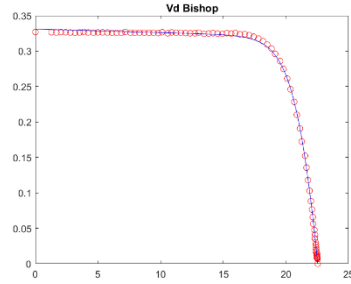
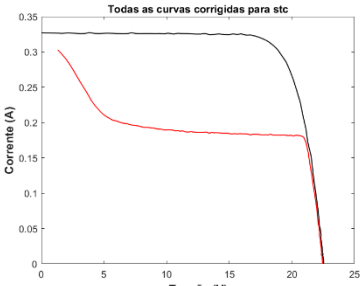
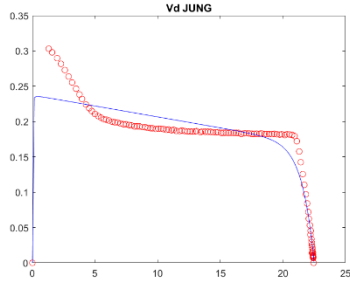
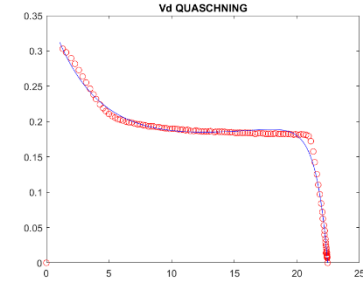
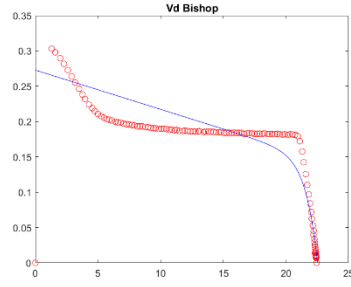


VD_QUASCHNING
 $a = 0.047972$
 $V_{br} = -6.897558$
 $m = 1.690337$
 $I_{02}(uA) = 0.000000$
 $n_2 = 2.000000$
 $I_{ph}(A) = 0.288632$

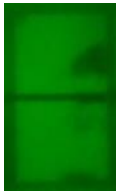
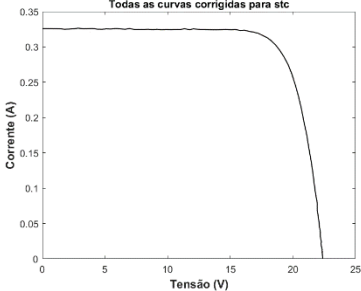
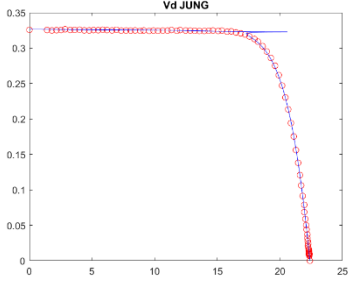
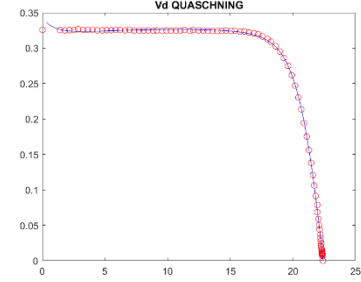
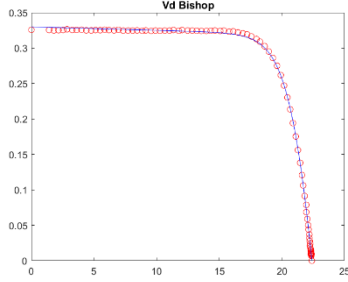
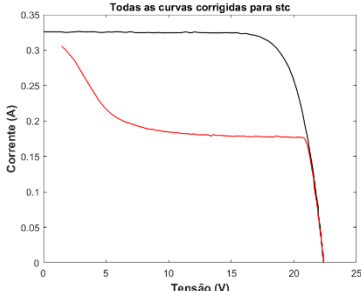
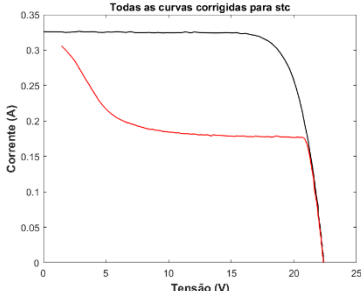


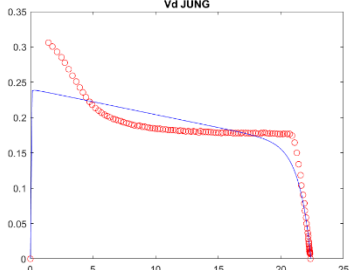
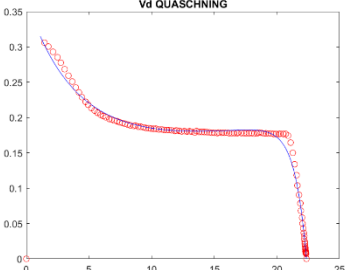
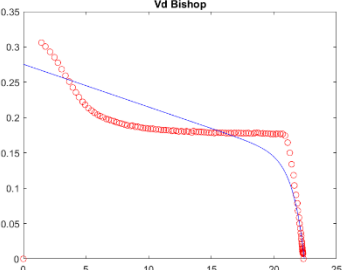
VD_BISHOP
 $a = 0.000100$
 $V_{br} = -9.113066$
 $m = 2.000000$
 $I_{ph}(A) = 0.216474$
 $I_0(uA) = 0.000005$
 $n = 1.000000$

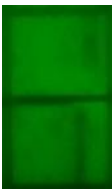
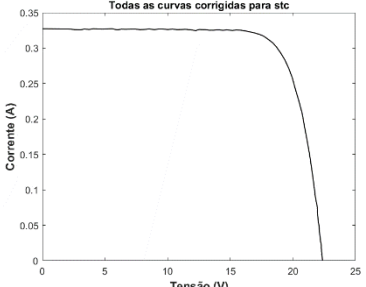
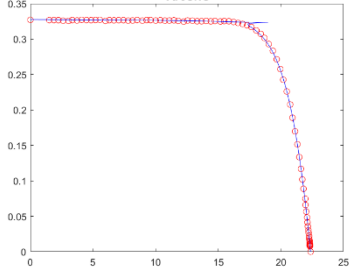
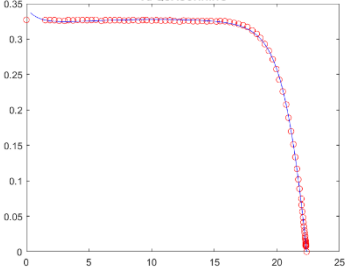
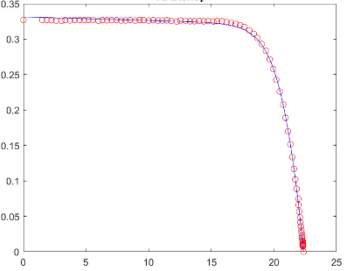
$I_0(\mu A) = 0.000086$ $n = 1.126881$ $R_s(\text{ohms}) = 0.006087$ $R_p(\text{ohms}) = 642.059470$ $RMSE = 0.011182$	$I_0(\mu A) = 0.000006$ $n = 1.000000$ $R_s(\text{ohms}) = 0.000000$ $R_p(\text{ohms}) = 10000.000000$ $RMSE = 0.026553$	$R_s(\text{ohms}) = 0.000000$ $R_p(\text{ohms}) = 486.966978$ $RMSE = 0.022590$
--	--	---

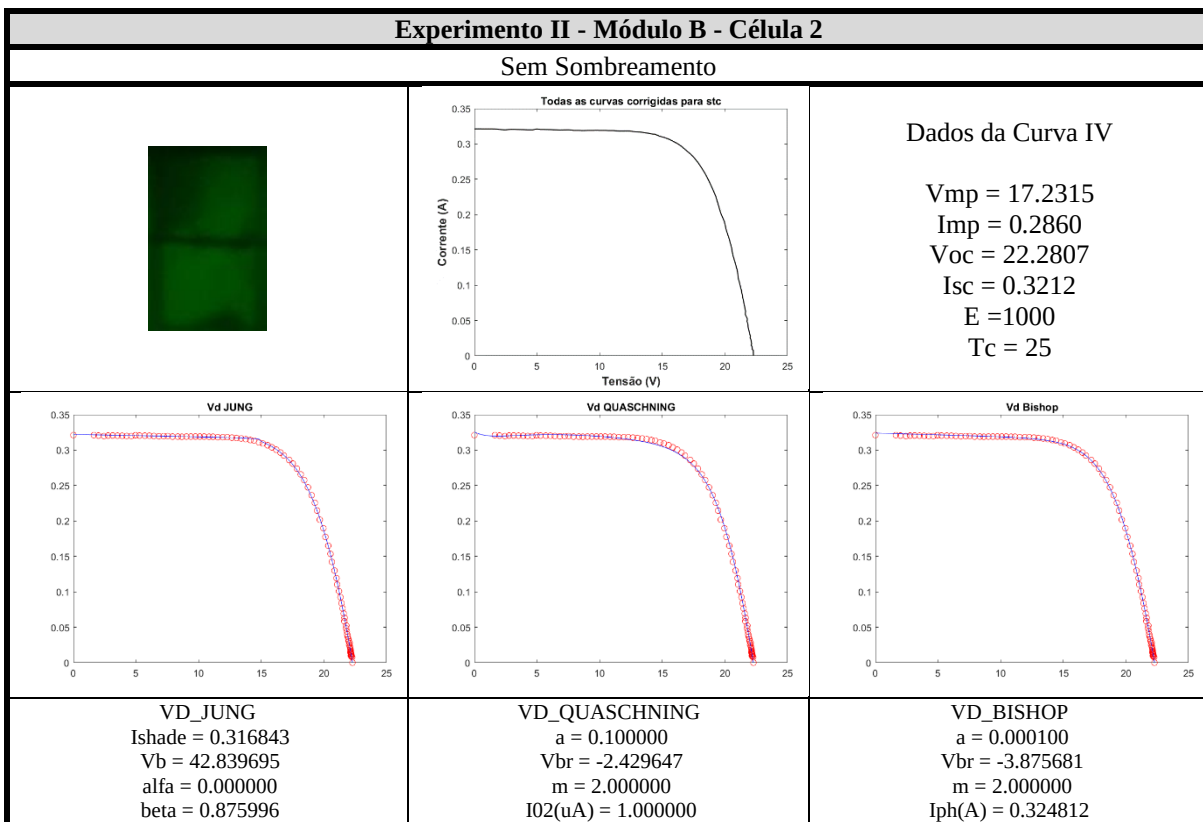
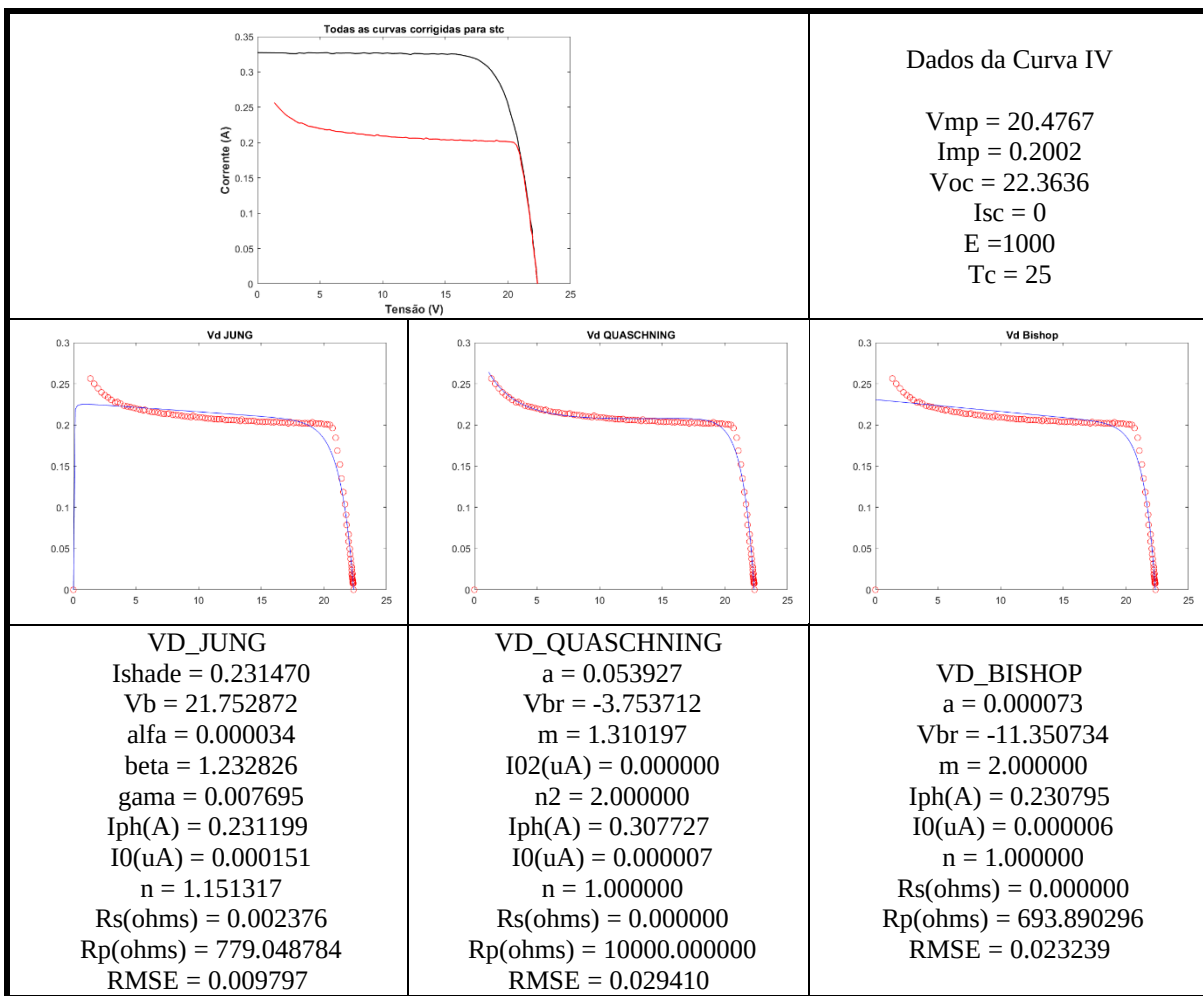
Experimento II - Módulo A - Célula 22		
Sem Sombreamento		
	Todas as curvas corrigidas para stc 	Dados da Curva IV $V_{mp} = 18.5119$ $I_{mp} = 0.3092$ $V_{oc} = 22.5427$ $I_{sc} = 0.3269$ $E = 1000$ $T_c = 25$
Vd JUNG 	Vd QUASCHNING 	Vd Bishop 
VD_JUNG $I_{shade} = 0.323193$ $V_b = 39.535816$ $\alpha = 0.000000$ $\beta = 0.893658$ $\gamma = 0.000000$ $I_{ph}(A) = 0.327784$ $I_0(\mu A) = 0.015390$ $n = 1.443674$ $R_s(\text{ohms}) = 1.392789$ $R_p(\text{ohms}) = 7031.139887$ $RMSE = 0.002431$	VD_QUASCHNING $a = 0.100000$ $V_{br} = -1.776402$ $m = 1.573629$ $I_{02}(\mu A) = 0.250454$ $n_2 = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.392657$ $I_0(\mu A) = 0.000007$ $n = 1.000000$ $R_s(\text{ohms}) = 2.711814$ $R_p(\text{ohms}) = 685.295972$ $RMSE = 0.003771$	VD_BISHOP $a = 0.000089$ $V_{br} = -3.811355$ $m = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.331433$ $I_0(\mu A) = 0.000738$ $n = 1.225290$ $R_s(\text{ohms}) = 2.054837$ $R_p(\text{ohms}) = 1999.625480$ $RMSE = 0.003267$
Com Sombreamento		
Todas as curvas corrigidas para stc 	Dados da Curva IV $V_{mp} = 20.9317$ $I_{mp} = 0.1795$ $V_{oc} = 22.4544$ $I_{sc} = 0$ $E = 1000$ $T_c = 25$	
Vd JUNG 	Vd QUASCHNING 	Vd Bishop 

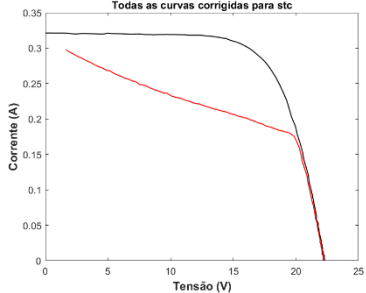
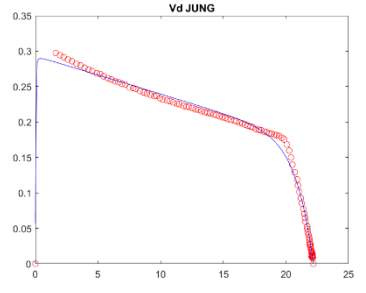
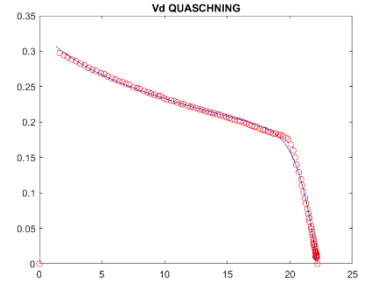
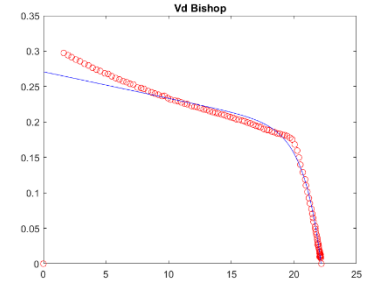
VD_JUNG Ishade = 0.280476 Vb = 21.839916 alfa = 0.000001 beta = 1.500100 gama = 0.009987 Iph(A) = 0.272945 I0(uA) = 0.000004 n = 1.000062 Rs(ohms) = 0.000147 Rp(ohms) = 211.981691 RMSE = 0.018545	VD_QUASCHNING a = 0.057177 Vbr = -12.414813 m = 2.000000 I02(uA) = 0.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.363716 I0(uA) = 0.000006 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.000000 Rp(ohms) = 10000.000000 RMSE = 0.033812	VD_BISHOP a = 0.000100 Vbr = -7.804077 m = 2.000000 Iph(A) = 0.272787 I0(uA) = 0.000004 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.000000 Rp(ohms) = 180.015856 RMSE = 0.033577
--	---	---

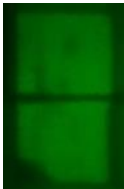
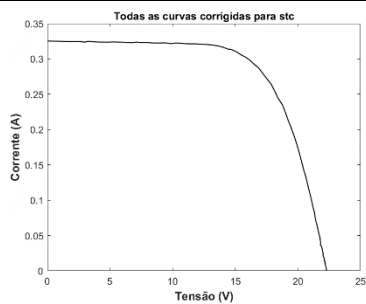
Experimento II - Módulo A - Célula 24		
Sem Sombreamento		
		Dados da Curva IV Vmp = 18.2427 Imp = 0.3091 Voc = 22.3932 Isc = 0.3258 E = 1000 Tc = 25
		
VD_JUNG Ishade = 0.322889 Vb = 43.656311 alfa = 0.000000 beta = 2.815541 gama = 0.000000 Iph(A) = 0.326644 I0(uA) = 0.017218 n = 1.444192 Rs(ohms) = 1.476081 Rp(ohms) = 8346.518704 RMSE = 0.002145	VD_QUASCHNING a = 0.100000 Vbr = -1.761969 m = 1.562396 I02(uA) = 0.320879 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.391900 I0(uA) = 0.000008 n = 1.000000 Rs(ohms) = 2.740751 Rp(ohms) = 705.328743 RMSE = 0.003520	VD_BISHOP a = 0.000041 Vbr = -2.496611 m = 2.000000 Iph(A) = 0.330418 I0(uA) = 0.000912 n = 1.230588 Rs(ohms) = 2.143453 Rp(ohms) = 1999.925908 RMSE = 0.002958
Com Sombreamento		
		Dados da Curva IV Vmp = 20.7083 Imp = 0.1768 Voc = 22.3568 Isc = 0 E = 1000 Tc = 25

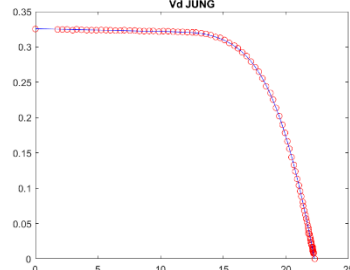
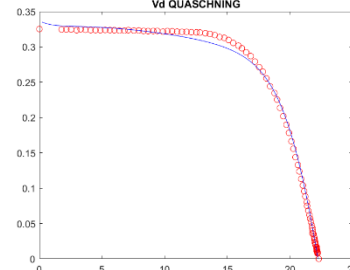
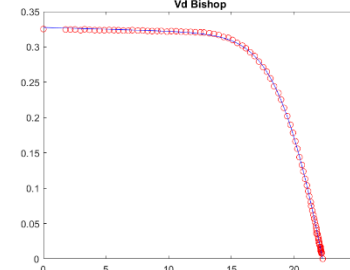
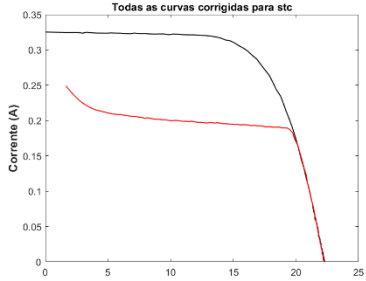
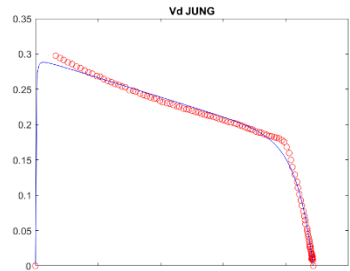
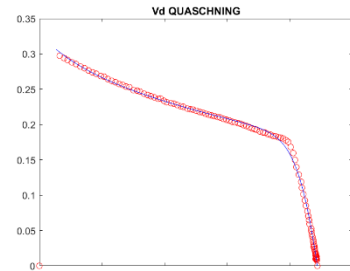
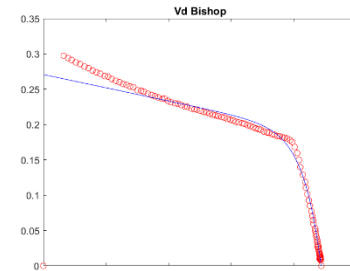
		
VD_JUNG Ishade = 0.285201 Vb = 21.737804 alfa = 0.000003 beta = 1.099038 gama = 0.009953 Iph(A) = 0.276469 I0(uA) = 0.000005 n = 1.000011 Rs(ohms) = 0.001044 Rp(ohms) = 188.753066 RMSE = 0.019917	VD_QUASCHNING a = 0.054952 Vbr = -13.478843 m = 2.000000 I02(uA) = 0.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.367193 I0(uA) = 0.000006 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.000000 Rp(ohms) = 10000.000000 RMSE = 0.034094	VD_BISHOP a = 0.000100 Vbr = -8.821918 m = 2.000000 Iph(A) = 0.275395 I0(uA) = 0.000004 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.000000 Rp(ohms) = 165.400674 RMSE = 0.034197

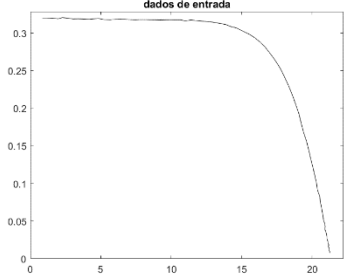
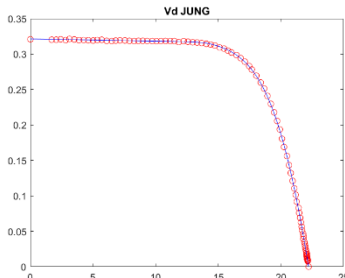
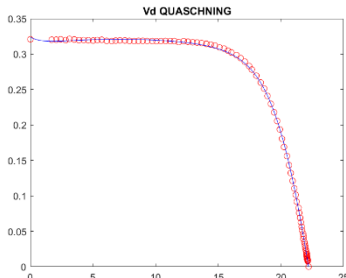
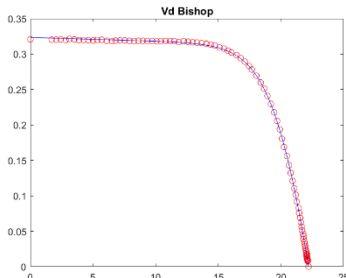
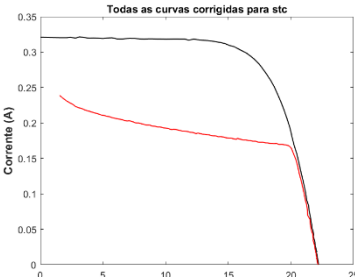
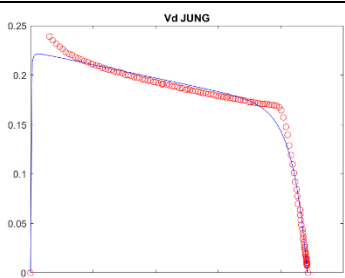
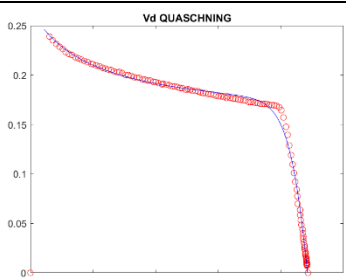
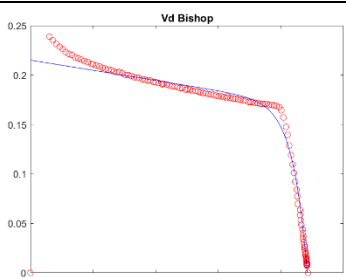
Experimento II - Módulo A - Célula 32		
Sem Sombreamento		
	 Todas as curvas corrigidas para stc	Dados da Curva IV Vmp = 18.3921 Imp = 0.3071 Voc = 22.3692 Isc = 0.3273 E = 1000 Tc = 25
		
VD_JUNG Ishade = 0.323825 Vb = 42.288079 alfa = 0.000000 beta = 6.992548 gama = 0.000000 Iph(A) = 0.327679 I0(uA) = 0.025642 n = 1.477376 Rs(ohms) = 1.368075 Rp(ohms) = 9820.521976 RMSE = 0.001796	VD_QUASCHNING a = 0.100000 Vbr = -1.804669 m = 1.594033 I02(uA) = 0.354210 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.392717 I0(uA) = 0.000008 n = 1.000000 Rs(ohms) = 2.694664 Rp(ohms) = 668.543851 RMSE = 0.003272	VD_BISHOP a = 0.000100 Vbr = -3.753326 m = 2.000000 Iph(A) = 0.331658 I0(uA) = 0.001183 n = 1.245581 Rs(ohms) = 2.098289 Rp(ohms) = 1999.980319 RMSE = 0.002699
Com Sombreamento		



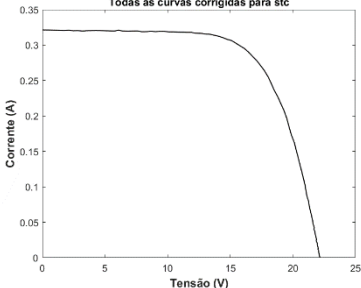
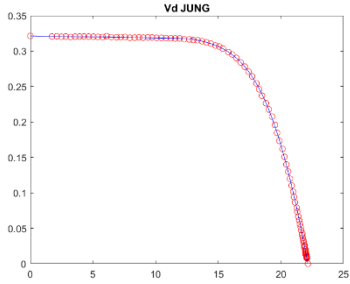
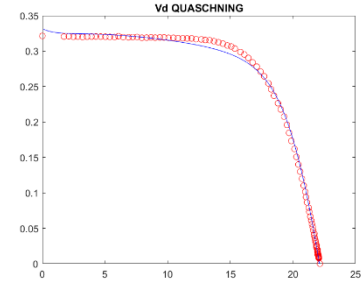
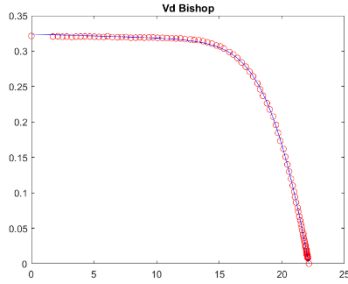
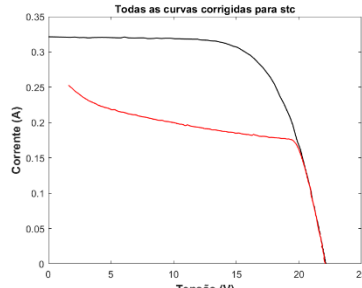
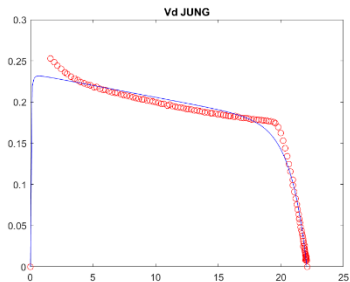
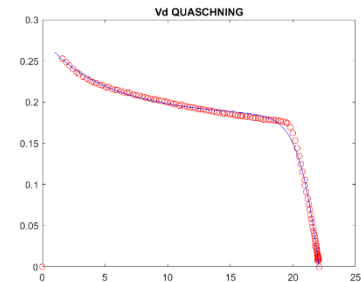
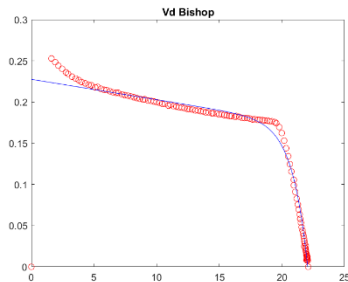
gama = 0.000000 Iph(A) = 0.322515 I0(uA) = 1.884596 n = 2.000000 Rs(ohms) = 3.728132 Rp(ohms) = 3236.487960 RMSE = 0.002422	n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.388859 I0(uA) = 0.000005 n = 1.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 339.042313 RMSE = 0.004416	I0(uA) = 0.282242 n = 1.730979 Rs(ohms) = 4.580698 Rp(ohms) = 2000.000000 RMSE = 0.002799
Com Sombreamento		
	Dados da Curva IV Vmp = 19.4526 Imp = 0.1803 Voc = 22.1978 Isc = 0 E = 1000 Tc = 25	
		
VD_JUNG Ishade = 0.294049 Vb = 21.598149 alfa = 0.000025 beta = 1.649209 gama = 0.006544 Iph(A) = 0.293811 I0(uA) = 0.013369 n = 1.464385 Rs(ohms) = 0.042179 Rp(ohms) = 185.035531 RMSE = 0.006338	VD_QUASCHNING a = 0.027462 Vbr = -4.806802 m = 1.000000 I02(uA) = 0.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.356886 I0(uA) = 0.000007 n = 1.000000 Rs(ohms) = 3.287238 Rp(ohms) = 330.494088 RMSE = 0.033546	VD_BISHOP a = 0.000012 Vbr = -15.736675 m = 2.000000 Iph(A) = 0.270798 I0(uA) = 0.026025 n = 1.517696 Rs(ohms) = 0.000000 Rp(ohms) = 267.266278 RMSE = 0.027029

Experimento II - Módulo B - Célula 10		
Sem Sombreamento		
		Dados da Curva IV Vmp = 16.8710 Imp = 0.2871 Voc = 22.3042 Isc = 0.3253 E = 1000 Tc = 25

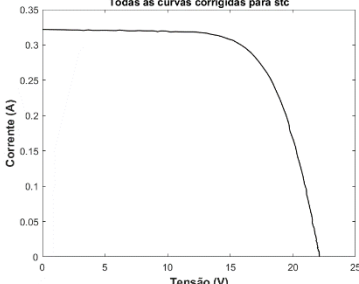
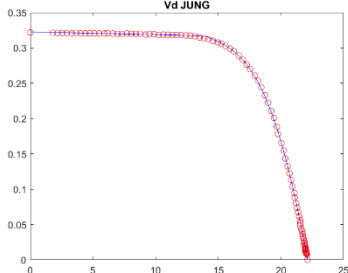
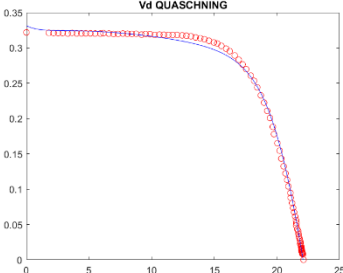
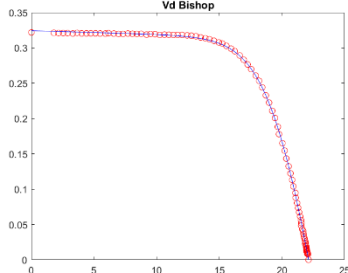
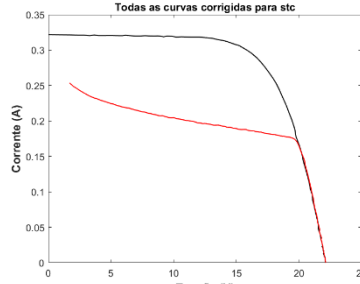
		
VD_JUNG Ishade = 0.321225 Vb = 44.417814 alfa = 0.000006 beta = 0.000000 gama = 0.000009 Iph(A) = 0.326260 I0(uA) = 1.901130 n = 2.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 2618.581068 RMSE = 0.002329	VD_QUASCHNING a = 0.100000 Vbr = -2.354529 m = 2.000000 I02(uA) = 1.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.401265 I0(uA) = 0.000004 n = 1.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 235.820759 RMSE = 0.008437	VD_BISHOP a = 0.000100 Vbr = -4.818225 m = 2.000000 Iph(A) = 0.328523 I0(uA) = 0.391144 n = 1.770635 Rs(ohms) = 5.854476 Rp(ohms) = 2000.000000 RMSE = 0.002575
Com Sombreamento		
	Dados da Curva IV Vmp = 19.4526 Imp = 0.1803 Voc = 22.1978 Isc = 0 E = 1000 Tc = 25	
		
VD_JUNG Ishade = 0.295904 Vb = 21.620910 alfa = 0.000030 beta = 1.705274 gama = 0.006528 Iph(A) = 0.295328 I0(uA) = 0.006879 n = 1.407899 Rs(ohms) = 0.015966 Rp(ohms) = 179.429200 RMSE = 0.006065	VD_QUASCHNING a = 0.027462 Vbr = -4.806802 m = 1.000000 I02(uA) = 0.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.356886 I0(uA) = 0.000007 n = 1.000000 Rs(ohms) = 3.287238 Rp(ohms) = 330.494113 RMSE = 0.033546	VD_BISHOP a = 0.000007 Vbr = -16.867817 m = 2.000000 Iph(A) = 0.270788 I0(uA) = 0.024377 n = 1.511467 Rs(ohms) = 0.000000 Rp(ohms) = 266.802141 RMSE = 0.027030

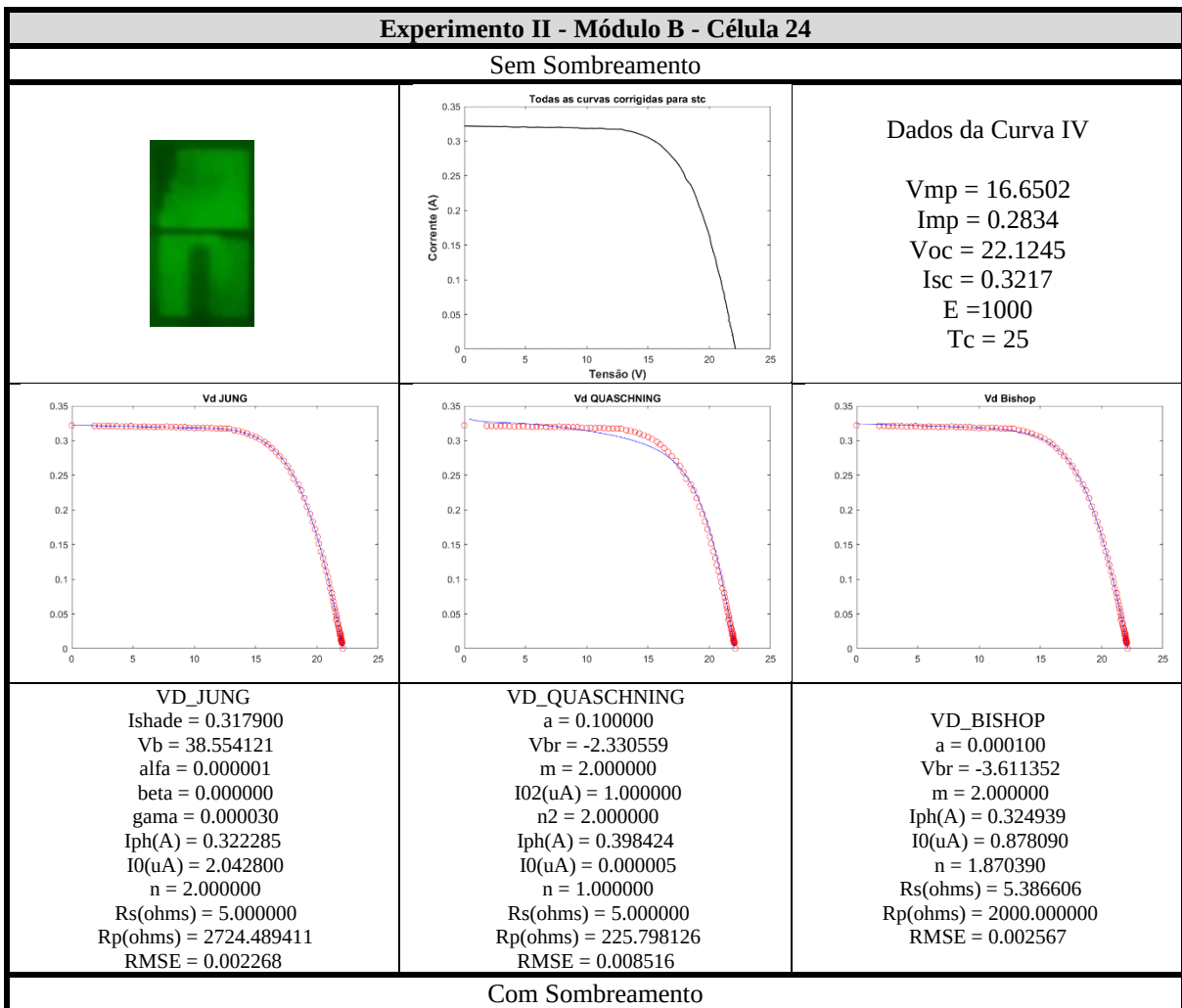
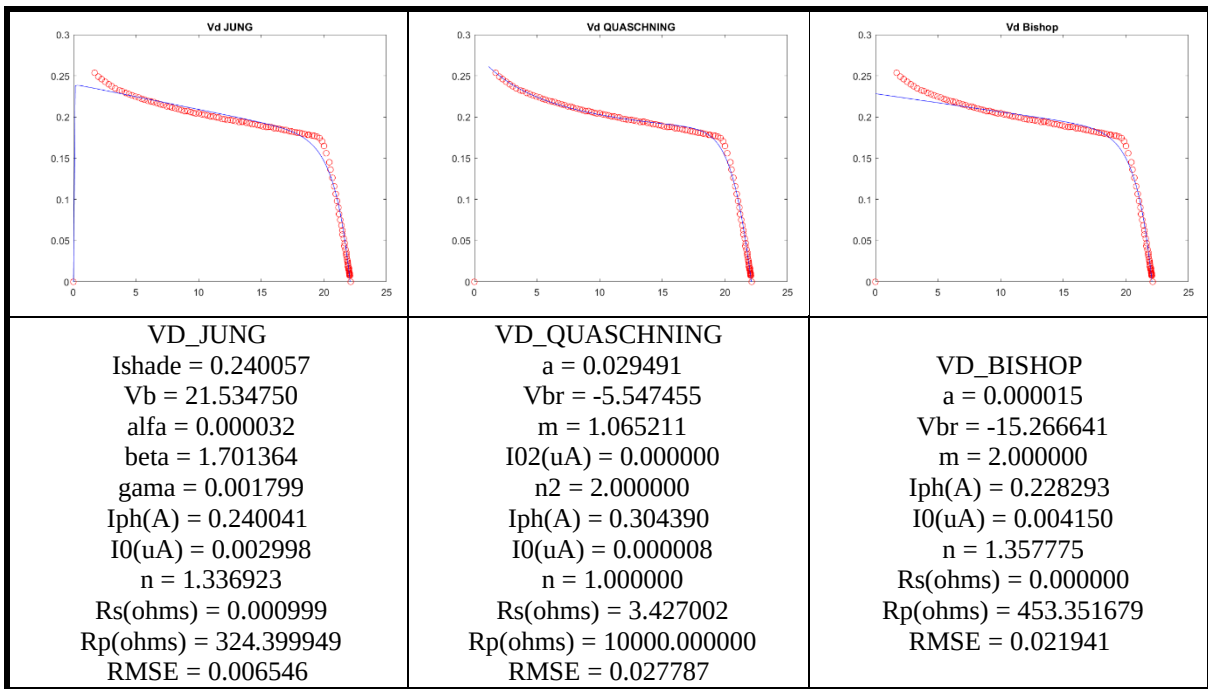
Experimento II - Módulo B - Célula 11		
Sem Sombreamento		
		Dados da Curva IV $V_{mp} = 17.1161$ $I_{mp} = 0.2894$ $V_{oc} = 22.2143$ $I_{sc} = 0.3209$ $E = 1000$ $T_c = 25$
		
VD_JUNG $I_{shade} = 0.317481$ $V_b = 43.964073$ $\alpha = 0.000000$ $\beta = 0.078775$ $\gamma = 0.000000$ $I_{ph}(A) = 0.321790$ $I_0(uA) = 0.971406$ $n = 1.890089$ $R_s(ohms) = 3.605195$ $R_p(ohms) = 3349.006297$ $RMSE = 0.001782$	VD_QUASCHNING $a = 0.100000$ $V_{br} = -2.266503$ $m = 1.909759$ $I_{02}(uA) = 1.000000$ $n_2 = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.385735$ $I_0(uA) = 0.000005$ $n = 1.000000$ $R_s(ohms) = 5.000000$ $R_p(ohms) = 399.981311$ $RMSE = 0.002890$	VD_BISHOP $a = 0.000100$ $V_{br} = -7.991766$ $m = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.324128$ $I_0(uA) = 0.187766$ $n = 1.676182$ $R_s(ohms) = 4.288863$ $R_p(ohms) = 2000.000000$ $RMSE = 0.002110$
Com Sombreamento		
		Dados da Curva IV $V_{mp} = 19.8573$ $I_{mp} = 0.1676$ $V_{oc} = 22.1599$ $I_{sc} = 0$ $E = 1000$ $T_c = 25$
		
VD_JUNG $I_{shade} = 0.224546$ $V_b = 21.573009$ $\alpha = 0.000036$ $\beta = 1.713157$ $\gamma = 0.006479$ $I_{ph}(A) = 0.224471$	VD_QUASCHNING $a = 0.033822$ $V_{br} = -3.791252$ $m = 1.000000$ $I_{02}(uA) = 0.000000$ $n_2 = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.286755$	VD_BISHOP $a = 0.000012$ $V_{br} = -15.536399$ $m = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.215066$ $I_0(uA) = 0.000586$ $n = 1.226369$

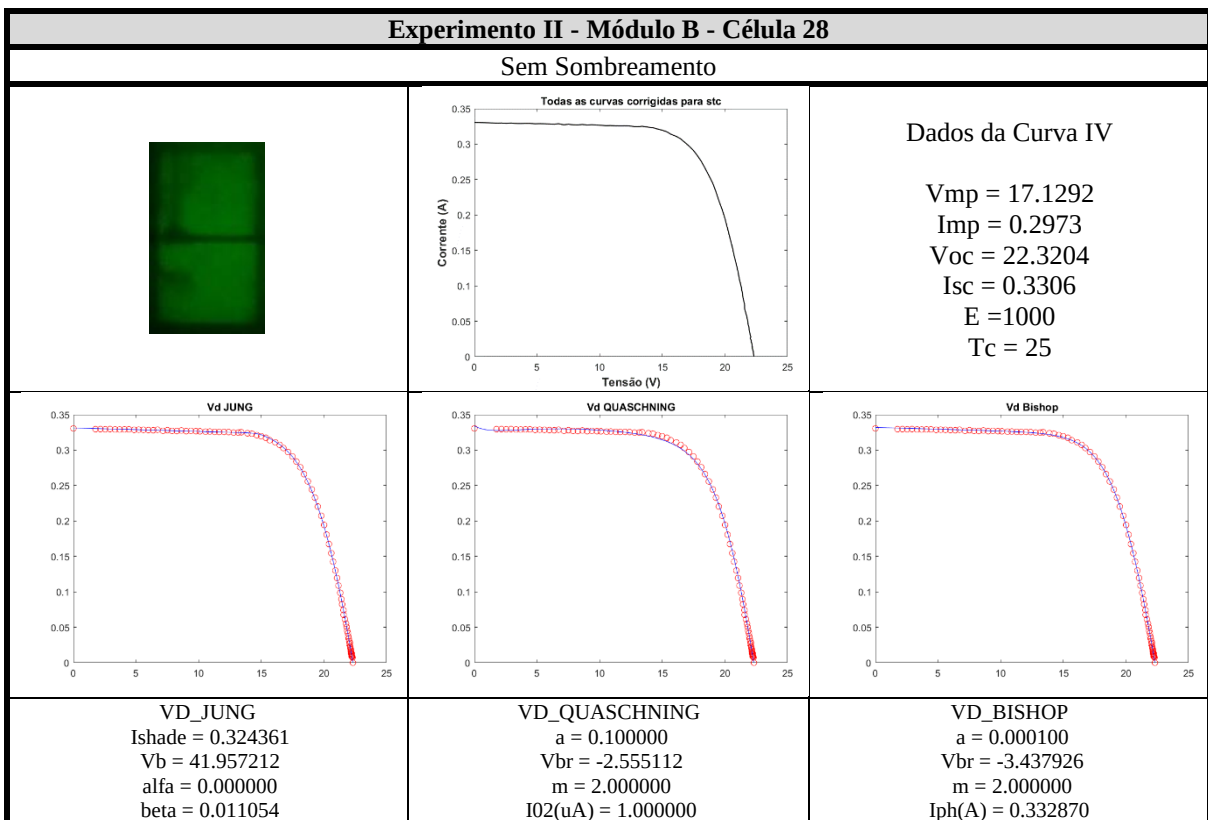
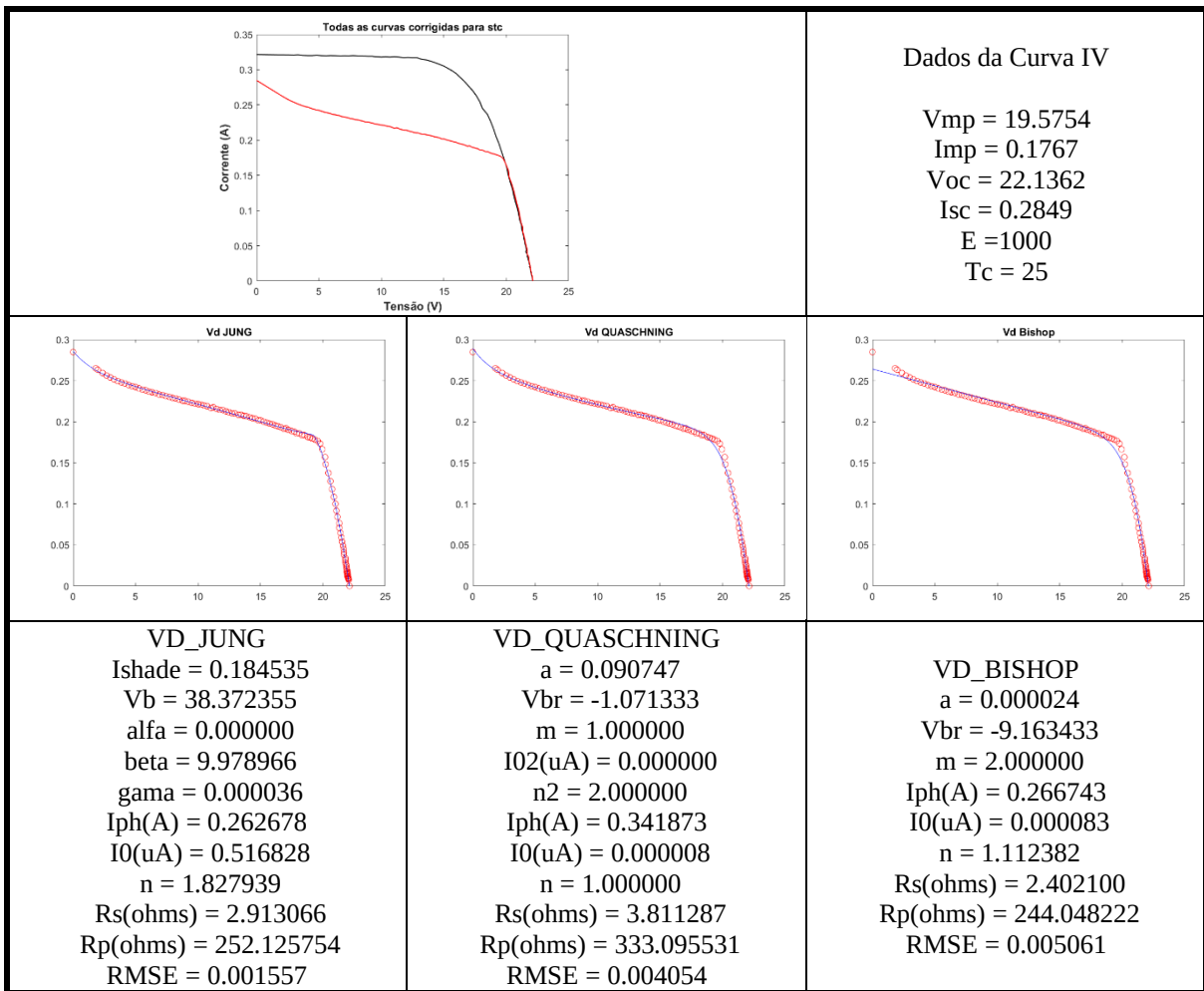
$I_0(\mu A) = 0.000943$ $n = 1.259844$ $R_s(\text{ohms}) = 0.003614$ $R_p(\text{ohms}) = 367.304767$ $RMSE = 0.006506$	$I_0(\mu A) = 0.000007$ $n = 1.000000$ $R_s(\text{ohms}) = 2.603186$ $R_p(\text{ohms}) = 9724.403077$ $RMSE = 0.025641$	$R_s(\text{ohms}) = 0.000000$ $R_p(\text{ohms}) = 487.163919$ $RMSE = 0.020264$
--	---	---

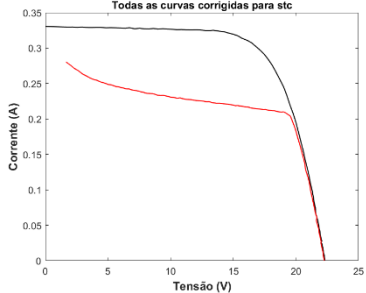
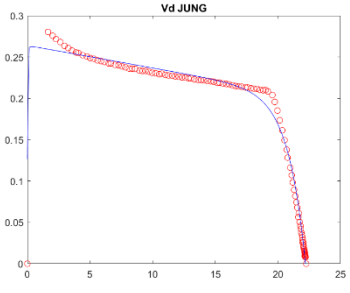
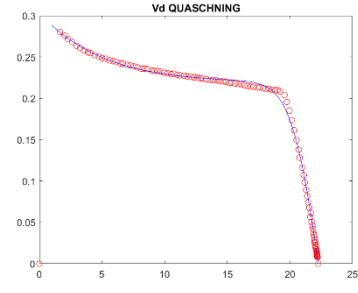
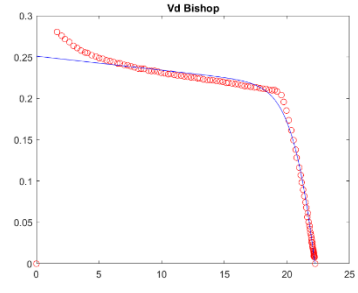
Experimento II - Módulo B - Célula 12		
Sem Sombreamento		
	Todas as curvas corrigidas para stc 	Dados da Curva IV $V_{mp} = 16.4401$ $I_{mp} = 0.2904$ $V_{oc} = 22.1569$ $I_{sc} = 0.3214$ $E = 1000$ $T_c = 25$
Vd JUNG 	Vd QUASCHNING 	Vd Bishop 
VD_JUNG $I_{shade} = 0.318207$ $V_b = 37.003499$ $\alpha = 0.000000$ $\beta = 0.082238$ $\gamma = 0.000000$ $I_{ph}(A) = 0.322271$ $I_0(\mu A) = 2.015855$ $n = 2.000000$ $R_s(\text{ohms}) = 4.702867$ $R_p(\text{ohms}) = 3335.418140$ $RMSE = 0.001681$	VD_QUASCHNING $a = 0.100000$ $V_{br} = -2.334483$ $m = 2.000000$ $I_{02}(\mu A) = 1.000000$ $n_2 = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.395143$ $I_0(\mu A) = 0.000005$ $n = 1.000000$ $R_s(\text{ohms}) = 5.000000$ $R_p(\text{ohms}) = 248.368607$ $RMSE = 0.007160$	VD_BISHOP $a = 0.000100$ $V_{br} = -4.944641$ $m = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.324793$ $I_0(\mu A) = 0.575902$ $n = 1.813320$ $R_s(\text{ohms}) = 5.267319$ $R_p(\text{ohms}) = 2000.000000$ $RMSE = 0.002026$
Com Sombreamento		
Todas as curvas corrigidas para stc 	Dados da Curva IV $V_{mp} = 19.4296$ $I_{mp} = 0.1757$ $V_{oc} = 22.1011$ $I_{sc} = 0$ $E = 1000$ $T_c = 25$	
Vd JUNG 	Vd QUASCHNING 	Vd Bishop 

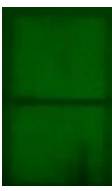
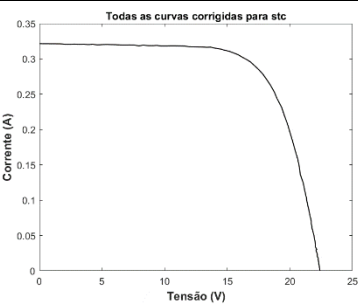
VD_JUNG Ishade = 0.234683 Vb = 21.541176 alfa = 0.000023 beta = 2.093821 gama = 0.003767 Iph(A) = 0.234642 I0(uA) = 0.007213 n = 1.405568 Rs(ohms) = 0.008447 Rp(ohms) = 346.738343 RMSE = 0.007370	VD_QUASCHNING a = 0.029632 Vbr = -7.267732 m = 1.227208 I02(uA) = 0.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.303384 I0(uA) = 0.000008 n = 1.000000 Rs(ohms) = 3.567779 Rp(ohms) = 10000.000000 RMSE = 0.027410	VD_BISHOP a = 0.000014 Vbr = -14.280223 m = 2.000000 Iph(A) = 0.227538 I0(uA) = 0.001934 n = 1.302436 Rs(ohms) = 0.000000 Rp(ohms) = 404.140742 RMSE = 0.021596
--	--	--

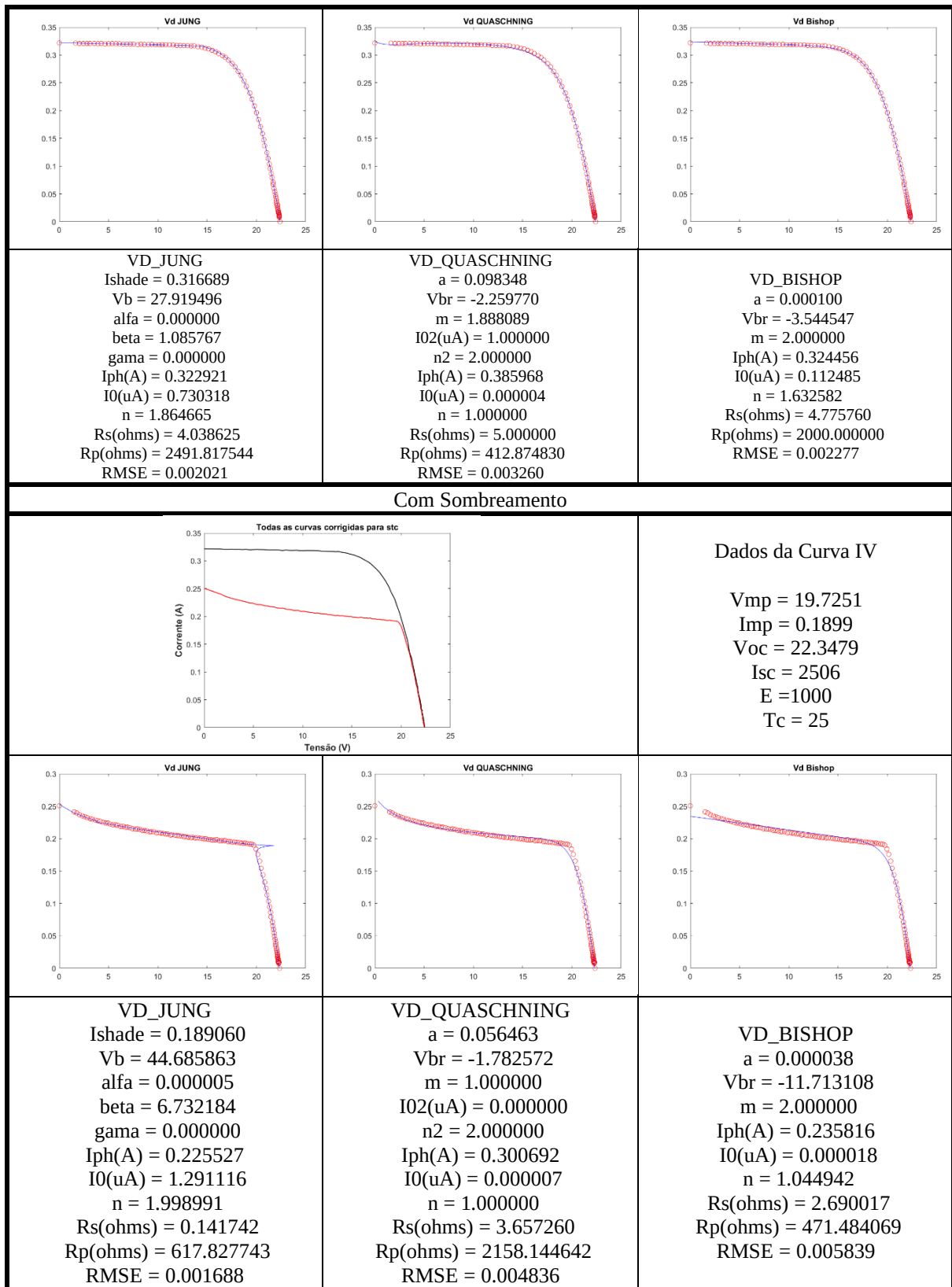
Experimento II - Módulo B - Célula 23		
Sem Sombreamento		
		Dados da Curva IV Vmp = 16.6291 Imp = 0.2893 Voc = 22.1293 Isc = 0.3219 E =1000 Tc = 25
		
VD_JUNG Ishade = 0.317432 Vb = 38.769879 alfa = 0.000000 beta = 0.114571 gama = 0.000000 Iph(A) = 0.323211 I0(uA) = 2.046944 n = 1.999510 Rs(ohms) = 4.577413 Rp(ohms) = 2854.876598 RMSE = 0.002166	VD_QUASCHNING a = 0.100000 Vbr = -2.353291 m = 2.000000 I02(uA) = 1.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.395057 I0(uA) = 0.000006 n = 1.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 256.760907 RMSE = 0.007241	VD_BISHOP a = 0.000100 Vbr = -4.977761 m = 2.000000 Iph(A) = 0.325214 I0(uA) = 0.348601 n = 1.744913 Rs(ohms) = 5.387215 Rp(ohms) = 2000.000000 RMSE = 0.002483
Com Sombreamento		
	Dados da Curva IV Vmp = 19.6531 Imp = 0.1745 Voc = 22.1410 Isc = 0 E =1000 Tc = 25	





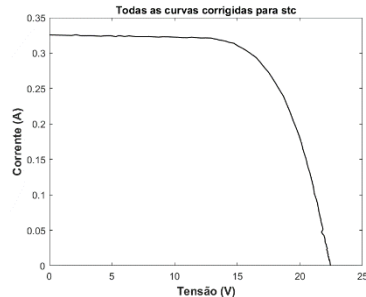
gama = 0.000000 Iph(A) = 0.332000 I0(uA) = 0.671338 n = 1.841370 Rs(ohms) = 4.228215 Rp(ohms) = 2089.687610 RMSE = 0.002108	n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.400139 I0(uA) = 0.000005 n = 1.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 345.395816 RMSE = 0.004024	I0(uA) = 0.092632 n = 1.602147 Rs(ohms) = 4.965044 Rp(ohms) = 2000.000000 RMSE = 0.002359
Com Sombreamento		
	Dados da Curva IV Vmp = 19.2057 Imp = 0.2084 Voc = 22.2647 Isc = 0 E = 1000 Tc = 25	
		
VD_JUNG Ishade = 0.264540 Vb = 21.656540 alfa = 0.000007 beta = 1.762339 gama = 0.009450 Iph(A) = 0.264477 I0(uA) = 0.018581 n = 1.480923 Rs(ohms) = 0.036337 Rp(ohms) = 364.863450 RMSE = 0.007466	VD_QUASCHNING a = 0.026506 Vbr = -13.341380 m = 1.689371 I02(uA) = 0.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.336427 I0(uA) = 0.000008 n = 1.000000 Rs(ohms) = 4.801901 Rp(ohms) = 10000.000000 RMSE = 0.032100	VD_BISHOP a = 0.000031 Vbr = -14.161706 m = 2.000000 Iph(A) = 0.252322 I0(uA) = 0.000443 n = 1.201976 Rs(ohms) = 3.049011 Rp(ohms) = 588.630492 RMSE = 0.025175

Experimento II - Módulo B - Célula 29		
Sem Sombreamento		
		Dados da Curva IV Vmp = 17.1641 Imp = 0.2906 Voc = 22.4036 Isc = 0.3216 E = 1000 Tc = 25



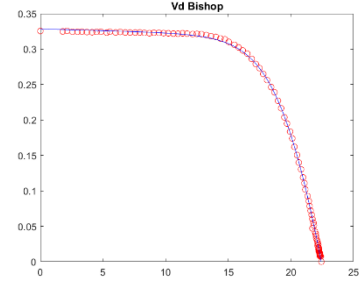
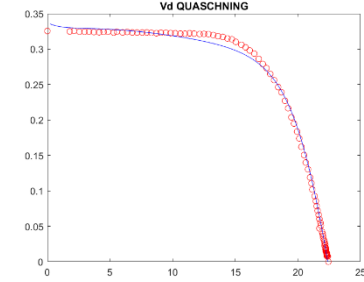
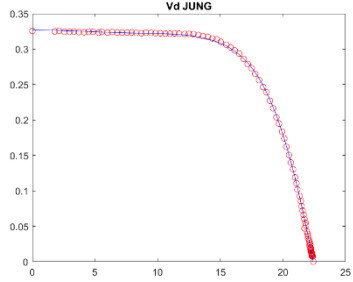
Experimento II - Módulo B - Célula 35

Sem Sombreamento



Dados da Curva IV

$V_{mp} = 16.5178$
 $I_{mp} = 0.2936$
 $V_{oc} = 22.4292$
 $I_{sc} = 0.3255$
 $E = 1000$
 $T_c = 25$

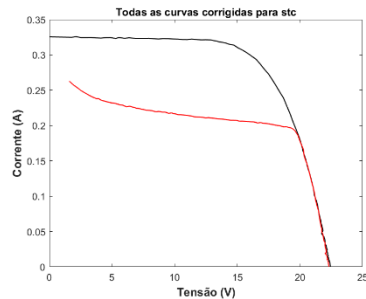


VD_JUNG
 $I_{shade} = 0.321634$
 $V_b = 30.323627$
 $\alpha = 0.000027$
 $\beta = 0.000000$
 $\gamma = 0.000282$
 $I_{ph}(A) = 0.323959$
 $I_0(uA) = 1.743609$
 $n = 2.000000$
 $R_s(ohms) = 5.000000$
 $R_p(ohms) = 3161.532697$
 $RMSE = 0.003286$

VD_QUASCHNING
 $a = 0.100000$
 $V_{br} = -2.358725$
 $m = 2.000000$
 $I_{02}(uA) = 1.000000$
 $n_2 = 2.000000$
 $I_{ph}(A) = 0.401832$
 $I_0(uA) = 0.000003$
 $n = 1.000000$
 $R_s(ohms) = 5.000000$
 $R_p(ohms) = 234.891257$
 $RMSE = 0.008346$

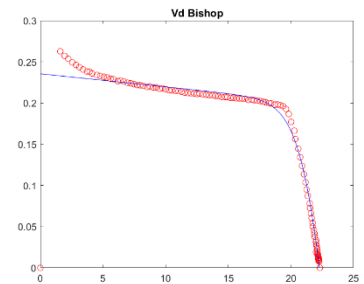
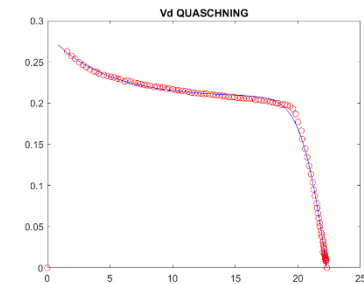
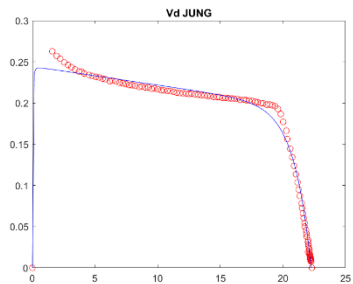
VD_BISHOP
 $a = 0.000100$
 $V_{br} = -5.835152$
 $m = 2.000000$
 $I_{ph}(A) = 0.329350$
 $I_0(uA) = 1.681632$
 $n = 1.994912$
 $R_s(ohms) = 5.102530$
 $R_p(ohms) = 2000.000000$
 $RMSE = 0.003436$

Com Sombreamento



Dados da Curva IV

$V_{mp} = 19.3734$
 $I_{mp} = 0.1961$
 $V_{oc} = 22.3137$
 $I_{sc} = 0$
 $E = 1000$
 $T_c = 25$

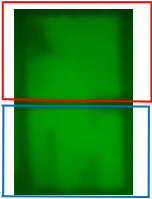
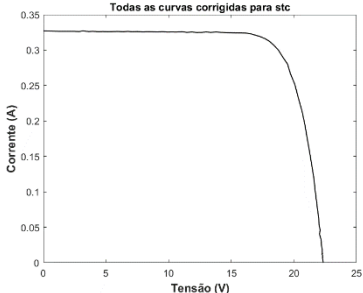
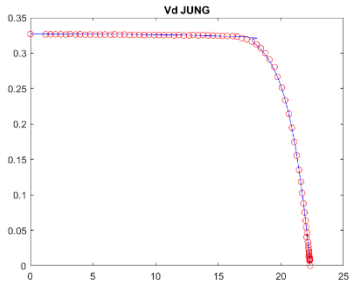
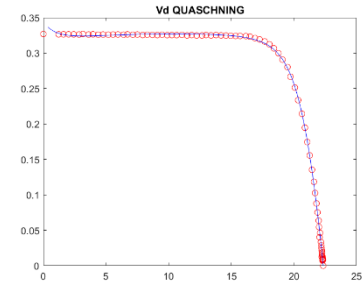
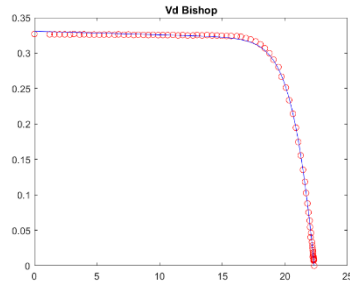
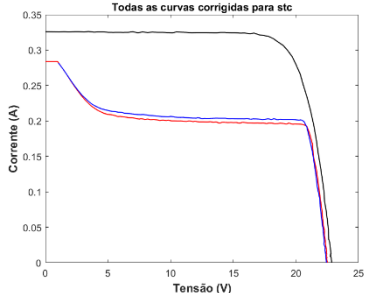


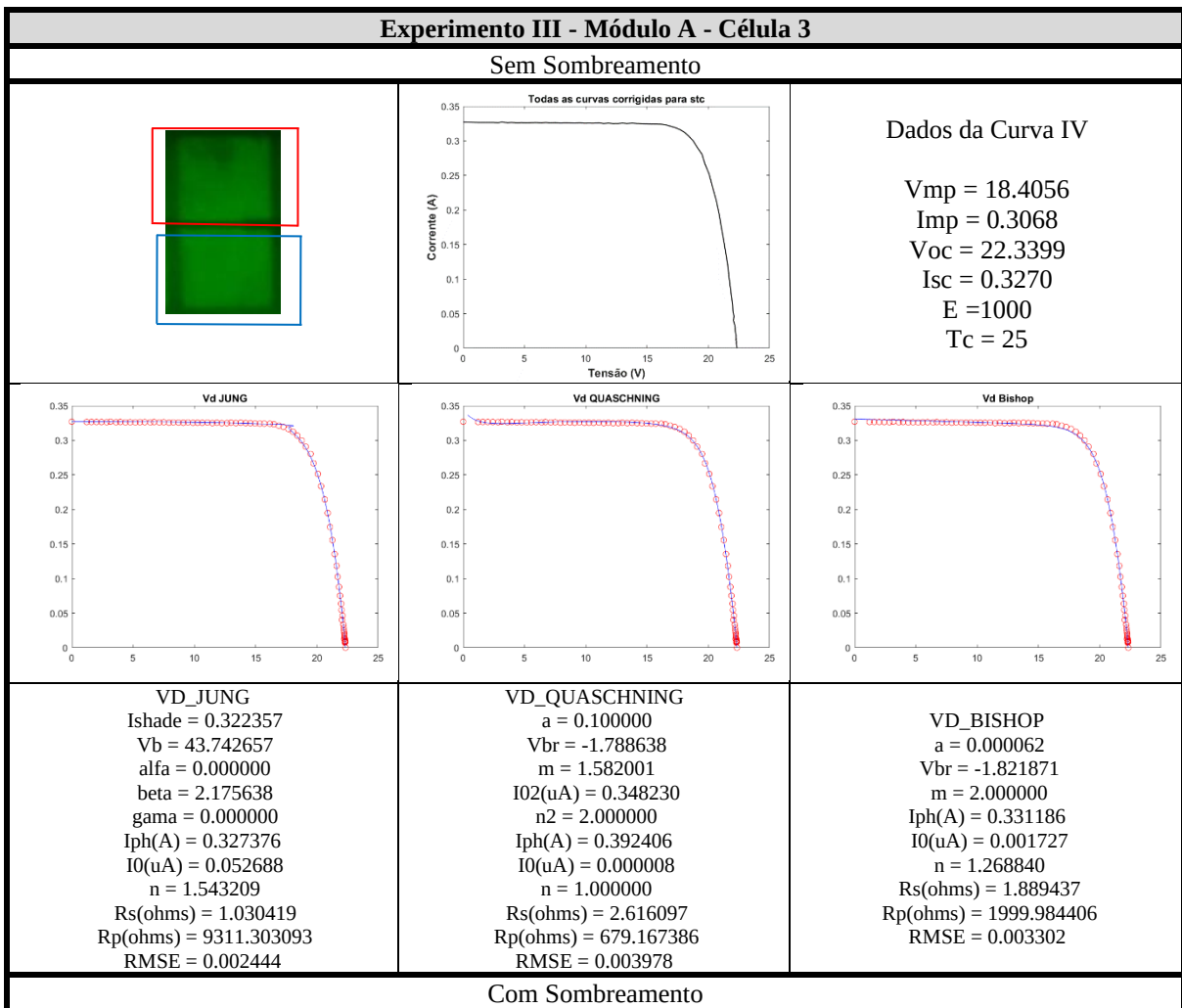
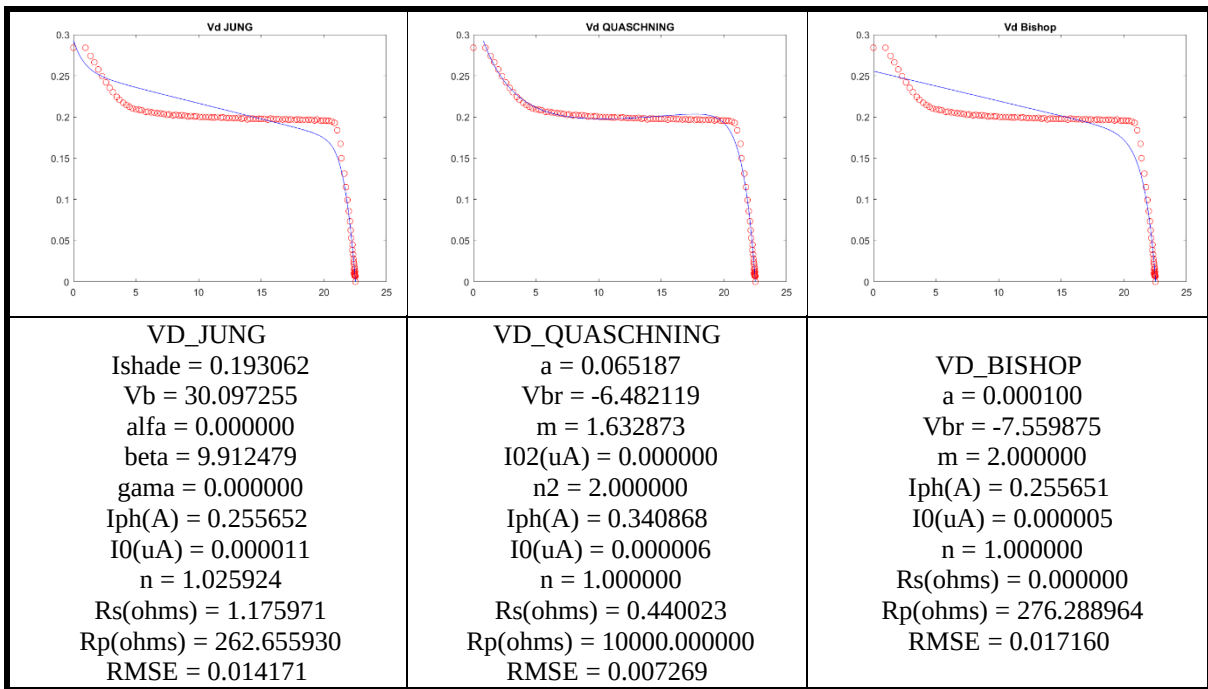
VD_JUNG
 $I_{shade} = 0.244460$
 $V_b = 21.745238$
 $\alpha = 0.000002$
 $\beta = 2.558837$
 $\gamma = 0.004790$
 $I_{ph}(A) = 0.244436$

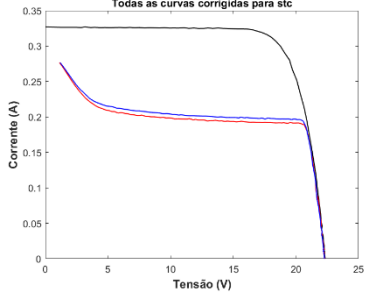
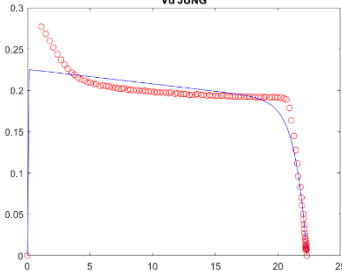
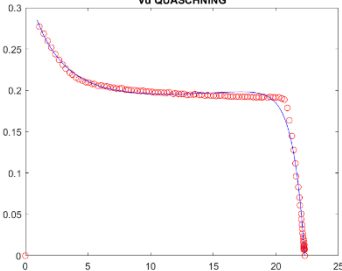
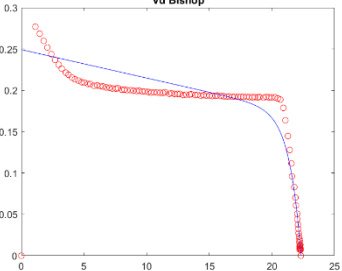
VD_QUASCHNING
 $a = 0.028762$
 $V_{br} = -9.195613$
 $m = 1.474935$
 $I_{02}(uA) = 0.000000$
 $n_2 = 2.000000$
 $I_{ph}(A) = 0.315367$

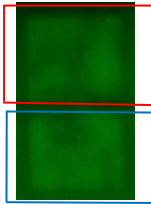
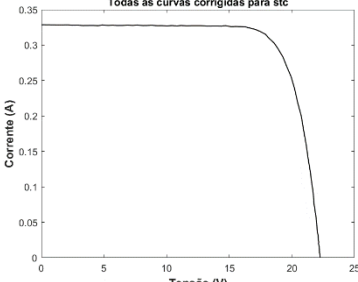
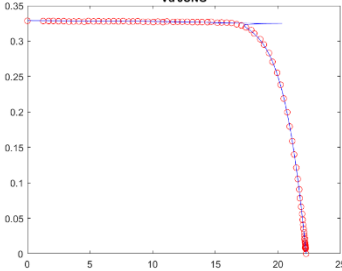
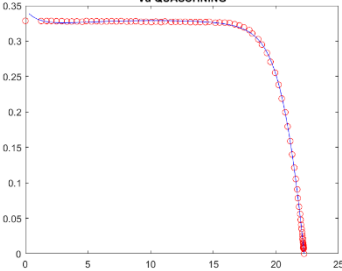
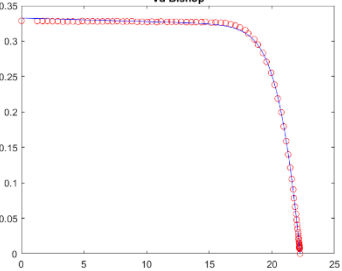
VD_BISHOP
 $a = 0.000029$
 $V_{br} = -12.271973$
 $m = 2.000000$
 $I_{ph}(A) = 0.236525$
 $I_0(uA) = 0.000209$
 $n = 1.164465$

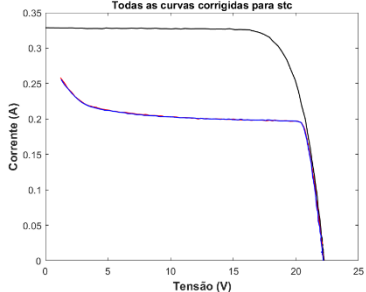
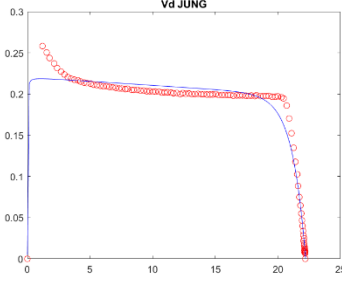
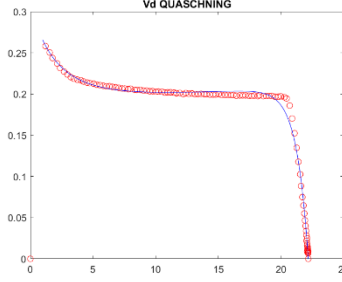
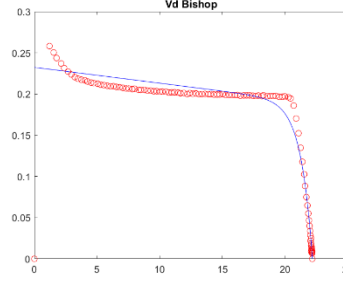
$I_0(\mu A) = 0.011781$ $n = 1.447627$ $R_s(\text{ohms}) = 0.008609$ $R_p(\text{ohms}) = 442.181412$ $RMSE = 0.007104$	$I_0(\mu A) = 0.000007$ $n = 1.000000$ $R_s(\text{ohms}) = 4.537622$ $R_p(\text{ohms}) = 10000.000000$ $RMSE = 0.029645$	$R_s(\text{ohms}) = 2.880833$ $R_p(\text{ohms}) = 628.696427$ $RMSE = 0.023174$
--	--	---

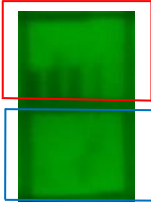
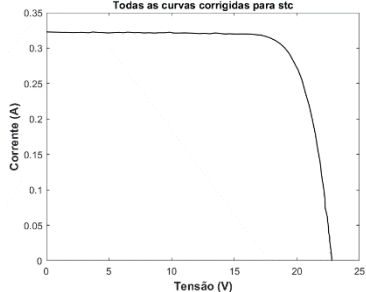
Experimento III - Módulo A - Célula 2		
Sem Sombreamento		
	 Todas as curvas corrigidas para stc	Dados da Curva IV $V_{mp} = 18.4056$ $I_{mp} = 0.3068$ $V_{oc} = 22.4880$ $I_{sc} = 0.3243$ $E = 1000$ $T_c = 25$
 VD_JUNG	 Vd QUASCHNING	 Vd Bishop
VD_JUNG $I_{shade} = 0.322357$ $V_b = 37.958045$ $\alpha = 0.000000$ $\beta = 0.178119$ $\gamma = 0.000000$ $I_{ph}(A) = 0.327376$ $I_0(\mu A) = 0.052688$ $n = 1.543209$ $R_s(\text{ohms}) = 1.030419$ $R_p(\text{ohms}) = 9311.284858$ $RMSE = 0.002444$	VD_QUASCHNING $a = 0.100000$ $V_{br} = -1.788638$ $m = 1.582001$ $I_{02}(\mu A) = 0.348230$ $n_2 = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.392406$ $I_0(\mu A) = 0.000008$ $n = 1.000000$ $R_s(\text{ohms}) = 2.616097$ $R_p(\text{ohms}) = 679.167371$ $RMSE = 0.003978$	VD_BISHOP $a = 0.000086$ $V_{br} = -2.242201$ $m = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.331137$ $I_0(\mu A) = 0.001491$ $n = 1.259138$ $R_s(\text{ohms}) = 1.929575$ $R_p(\text{ohms}) = 1999.999285$ $RMSE = 0.003303$
Com Sombreamento		
 Todas as curvas corrigidas para stc	Dados da Curva IV $V_{mp} = 20.8617$ $I_{mp} = 0.1928$ $V_{oc} = 22.5129$ $I_{sc} = 2841$ $E = 1000$ $T_c = 25$	Dados da Curva IV $V_{mp} = 20.6432$ $I_{mp} = 0.1994$ $V_{oc} = 22.5129$ $I_{sc} = 2841$ $E = 1000$ $T_c = 25$

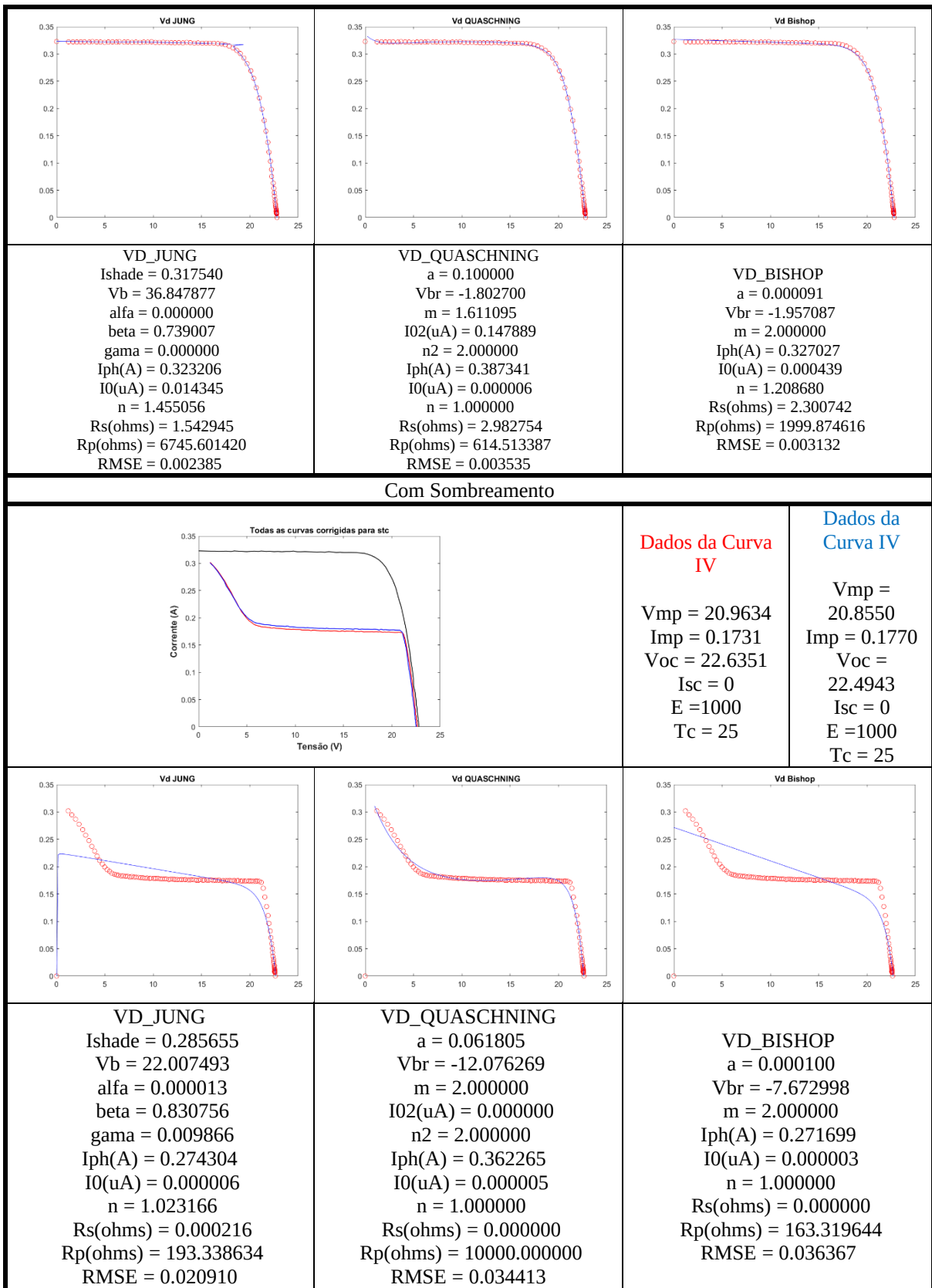


	Dados da Curva IV $V_{mp} = 20.6768$ $I_{mp} = 0.1888$ $V_{oc} = 22.3100$ $I_{sc} = 0$ $E = 1000$ $T_c = 25$	Dados da Curva IV $V_{mp} = 20.5810$ $I_{mp} = 0.1943$ $V_{oc} = 22.2758$ $I_{sc} = 0$ $E = 1000$ $T_c = 25$
		
VD_JUNG $I_{shade} = 0.252271$ $V_b = 21.690688$ $\alpha = 0.000001$ $\beta = 1.045479$ $\gamma = 0.009960$ $I_{ph}(A) = 0.249416$ $I_0(uA) = 0.000006$ $n = 1.000038$ $R_s(ohms) = 0.000035$ $R_p(ohms) = 347.971060$ $RMSE = 0.012533$	VD_QUASCHNING $a = 0.063738$ $V_{br} = -5.508119$ $m = 1.496781$ $I_{02}(uA) = 0.000000$ $n_2 = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.332321$ $I_0(uA) = 0.000007$ $n = 1.000000$ $R_s(ohms) = 0.000000$ $R_p(ohms) = 10000.000000$ $RMSE = 0.031999$	VD_BISHOP $a = 0.000100$ $V_{br} = -7.621346$ $m = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.249241$ $I_0(uA) = 0.000006$ $n = 1.000000$ $R_s(ohms) = 0.000000$ $R_p(ohms) = 291.232068$ $RMSE = 0.028076$

Experimento III - Módulo A - Célula 4		
Sem Sombreamento		
		Dados da Curva IV $V_{mp} = 17.8783$ $I_{mp} = 0.3154$ $V_{oc} = 22.2535$ $I_{sc} = 0.3286$ $E = 1000$ $T_c = 25$
		
VD_JUNG $I_{shade} = 0.325033$ $V_b = 39.960989$ $\alpha = 0.000000$	VD_QUASCHNING $a = 0.100000$ $V_{br} = -1.851367$ $m = 1.616672$	VD_BISHOP $a = 0.000100$ $V_{br} = -4.038871$ $m = 2.000000$

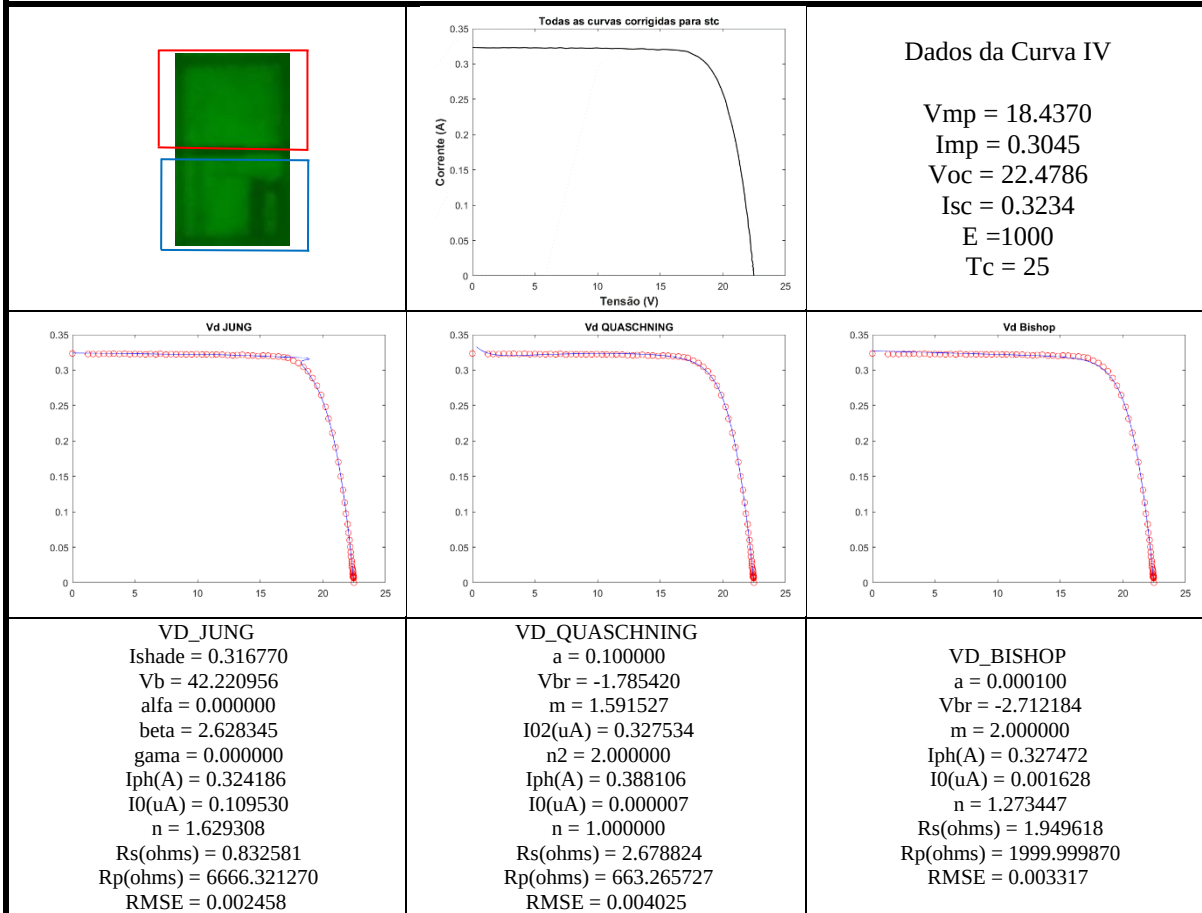
$\beta = 0.582778$ $\gamma = 0.000000$ $I_{ph}(A) = 0.329024$ $I_0(uA) = 0.023281$ $n = 1.460875$ $R_s(ohms) = 1.392521$ $R_p(ohms) = 9101.748348$ $RMSE = 0.001771$	$I_{02}(uA) = 0.330681$ $n_2 = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.394380$ $I_0(uA) = 0.000009$ $n = 1.000000$ $R_s(ohms) = 2.709513$ $R_p(ohms) = 635.567959$ $RMSE = 0.003264$	$I_{ph}(A) = 0.332898$ $I_0(uA) = 0.001040$ $n = 1.230763$ $R_s(ohms) = 2.111037$ $R_p(ohms) = 1999.990527$ $RMSE = 0.002677$
Com Sombreamento		
	Dados da Curva IV $V_{mp} = 20.4526$ $I_{mp} = 0.1947$ $V_{oc} = 22.1902$ $I_{sc} = 0$ $E = 1000$ $T_c = 25$	Dados da Curva IV $V_{mp} = 20.4240$ $I_{mp} = 0.1950$ $V_{oc} = 22.1772$ $I_{sc} = 0$ $E = 1000$ $T_c = 25$
		
VD_JUNG $I_{shade} = 0.233459$ $V_b = 21.579042$ $\alpha = 0.000030$ $\beta = 0.997942$ $\gamma = 0.006742$ $I_{ph}(A) = 0.232404$ $I_0(uA) = 0.000124$ $n = 1.133498$ $R_s(ohms) = 0.000373$ $R_p(ohms) = 644.010203$ $RMSE = 0.010573$	VD_QUASCHNING $a = 0.061482$ $V_{br} = -3.811619$ $m = 1.359971$ $I_{02}(uA) = 0.000000$ $n_2 = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.309809$ $I_0(uA) = 0.000008$ $n = 1.000000$ $R_s(ohms) = 0.000000$ $R_p(ohms) = 10000.000000$ $RMSE = 0.030111$	VD_BISHOP $a = 0.000100$ $V_{br} = -9.888055$ $m = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.232357$ $I_0(uA) = 0.000007$ $n = 1.000000$ $R_s(ohms) = 0.000000$ $R_p(ohms) = 520.602567$ $RMSE = 0.024371$

Experimento III - Módulo A - Célula 13		
Sem Sombreamento		
		Dados da Curva IV $V_{mp} = 19.0025$ $I_{mp} = 0.3008$ $V_{oc} = 22.8038$ $I_{sc} = 0.3228$ $E = 1000$ $T_c = 25$

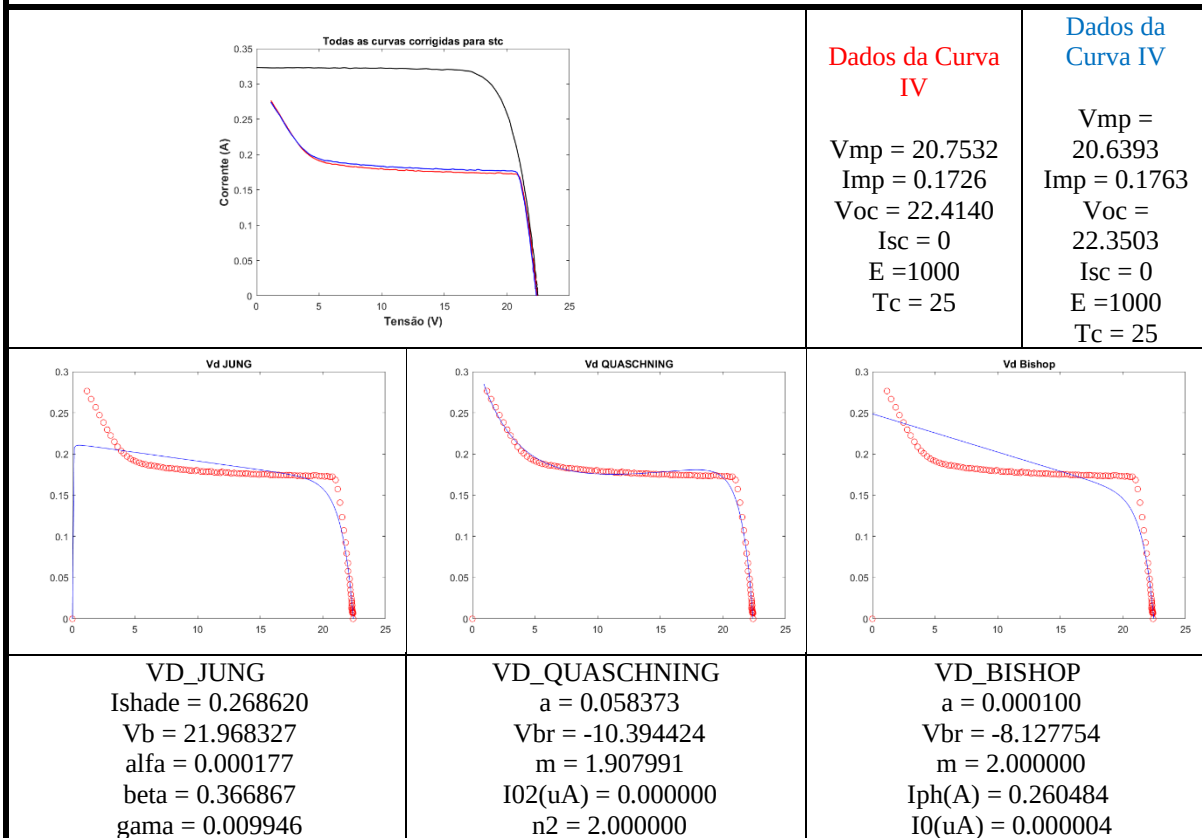


Experimento III - Módulo A - Célula 16

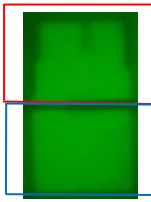
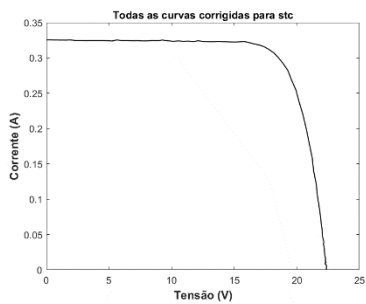
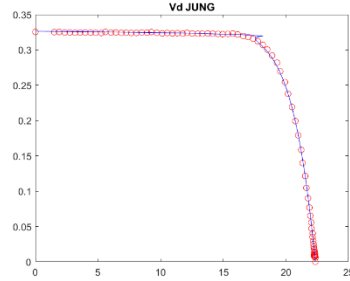
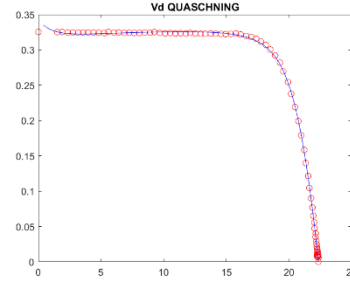
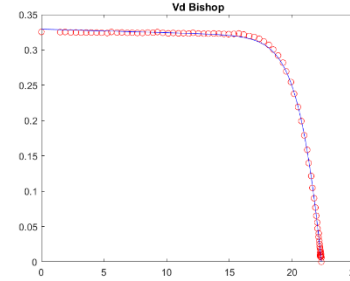
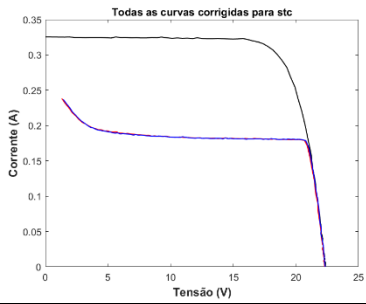
Sem Sombreamento

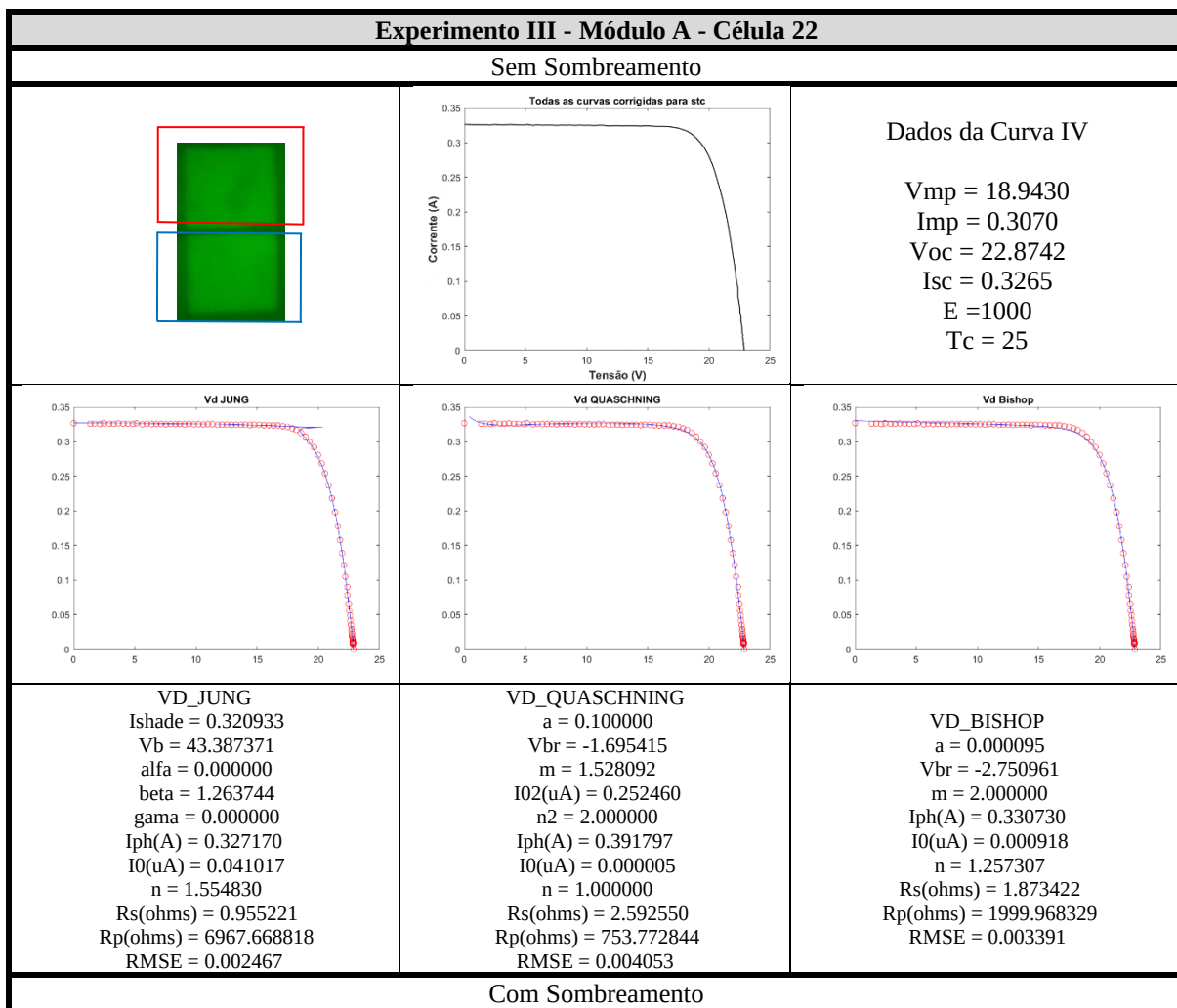
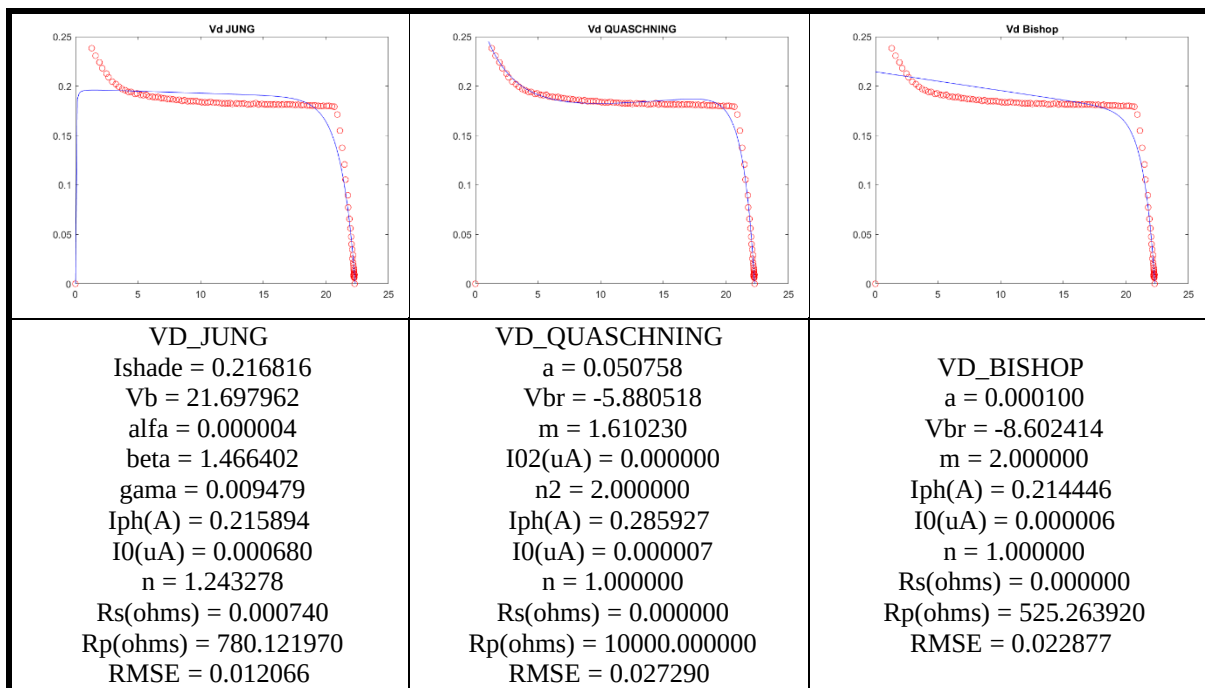


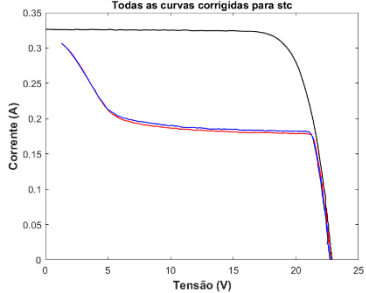
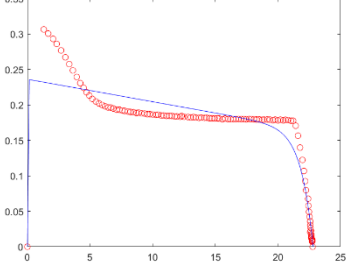
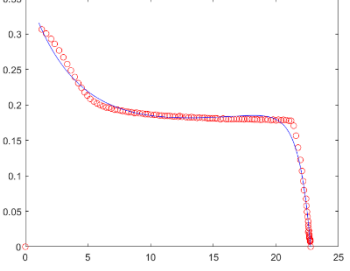
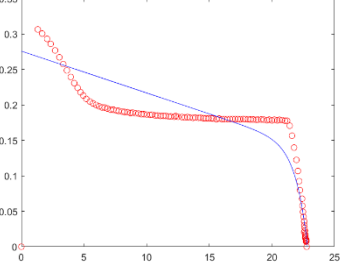
Com Sombreamento

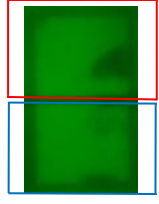
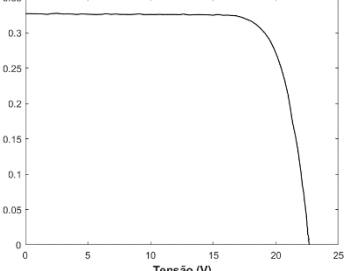
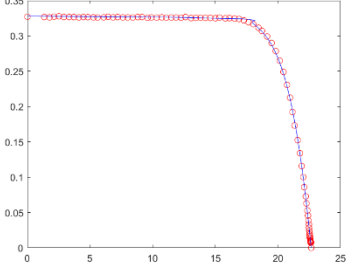
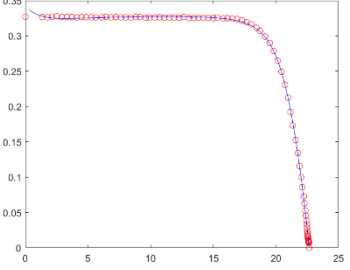
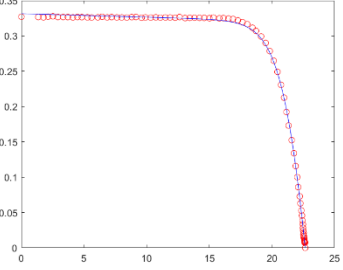


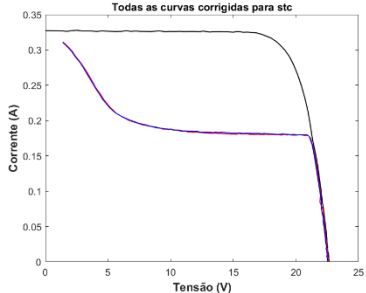
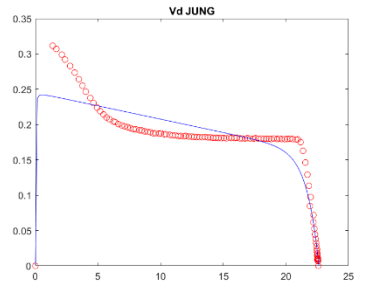
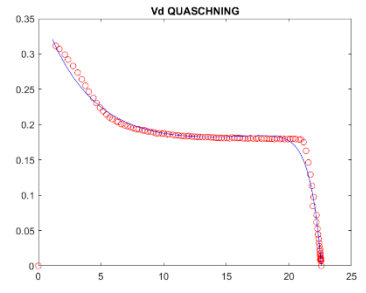
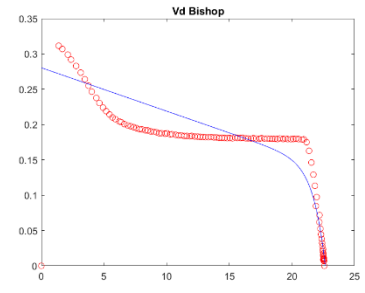
$I_{ph}(A) = 0.262332$ $I_0(uA) = 0.000004$ $n = 1.000019$ $R_s(ohms) = 0.000002$ $R_p(ohms) = 247.457581$ $RMSE = 0.016332$	$I_{ph}(A) = 0.347312$ $I_0(uA) = 0.000005$ $n = 1.000000$ $R_s(ohms) = 0.000000$ $R_p(ohms) = 10000.000000$ $RMSE = 0.031912$	$n = 1.000000$ $R_s(ohms) = 0.000000$ $R_p(ohms) = 209.817630$ $RMSE = 0.031307$
---	---	---

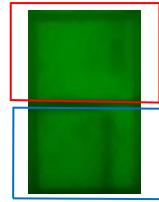
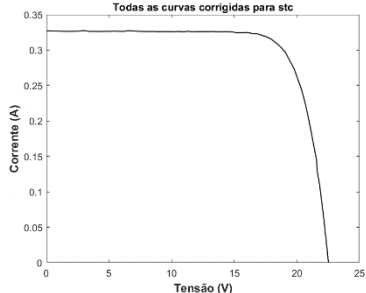
Experimento III - Módulo A - Célula 20		
Sem Sombreamento		
		Dados da Curva IV $V_{mp} = 18.1607$ $I_{mp} = 0.3071$ $V_{oc} = 22.3477$ $I_{sc} = 0.3254$ $E = 1000$ $T_c = 25$
		
VD_JUNG $I_{shade} = 0.320609$ $V_b = 43.273485$ $\alpha = 0.000000$ $\beta = 0.461095$ $\gamma = 0.000000$ $I_{ph}(A) = 0.326460$ $I_0(uA) = 0.193873$ $n = 1.684557$ $R_s(ohms) = 0.767875$ $R_p(ohms) = 6413.067334$ $RMSE = 0.003052$	VD_QUASCHNING $a = 0.100000$ $V_{br} = -1.593807$ $m = 1.459830$ $I_{02}(uA) = 0.575742$ $n_2 = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.390520$ $I_0(uA) = 0.000007$ $n = 1.000000$ $R_s(ohms) = 2.603249$ $R_p(ohms) = 1000.992810$ $RMSE = 0.004705$	VD_BISHOP $a = 0.000100$ $V_{br} = -2.902611$ $m = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.329693$ $I_0(uA) = 0.006283$ $n = 1.362241$ $R_s(ohms) = 1.794850$ $R_p(ohms) = 2000.000000$ $RMSE = 0.003939$
Com Sombreamento		
	Dados da Curva IV $V_{mp} = 20.6756$ $I_{mp} = 0.1791$ $V_{oc} = 22.2952$ $I_{sc} = 0$ $E = 1000$ $T_c = 25$	Dados da Curva IV $V_{mp} = 20.7872$ $I_{mp} = 0.1787$ $V_{oc} = 22.3356$ $I_{sc} = 0$ $E = 1000$ $T_c = 25$

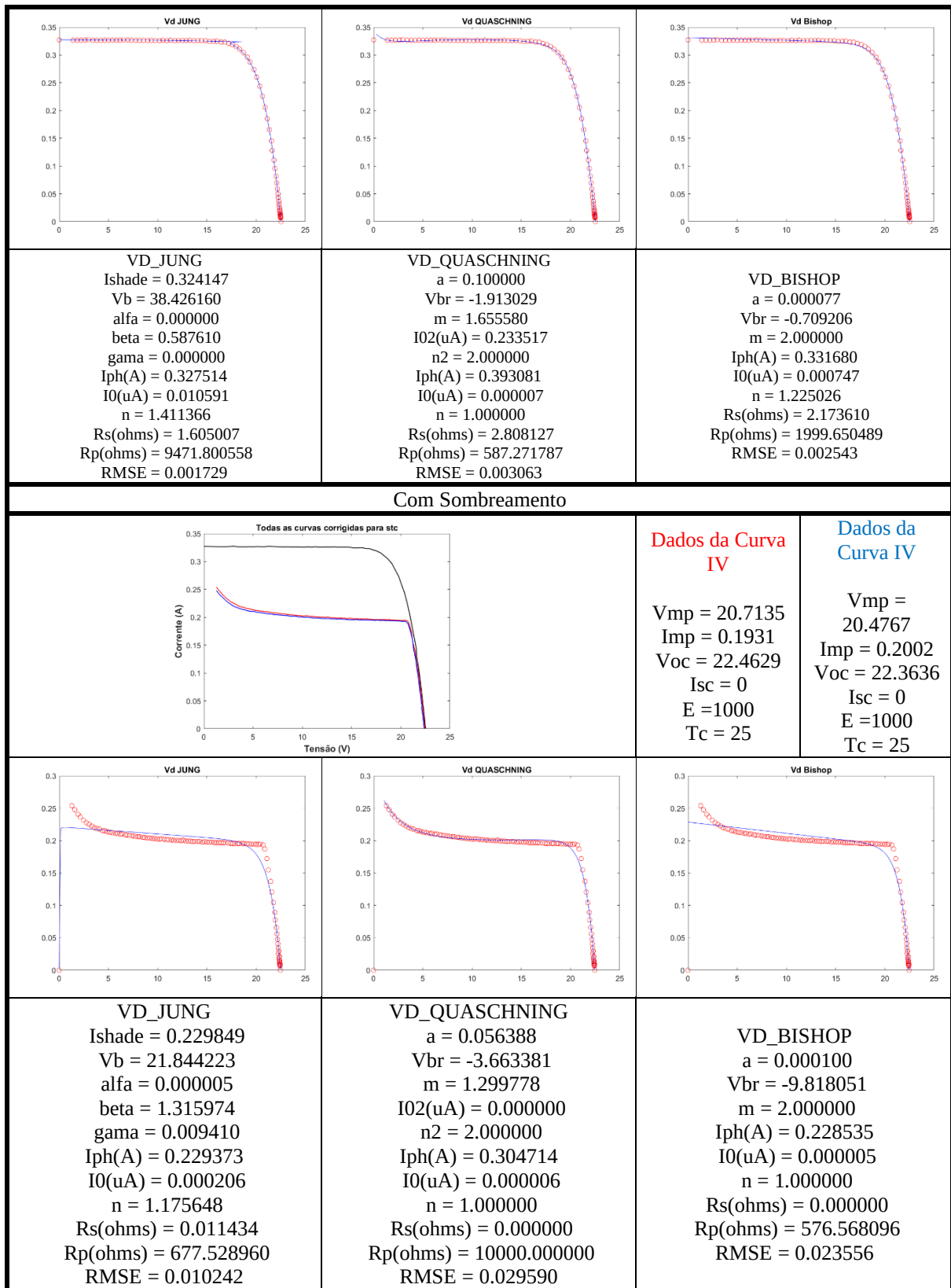


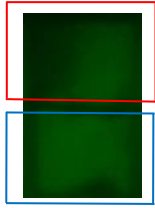
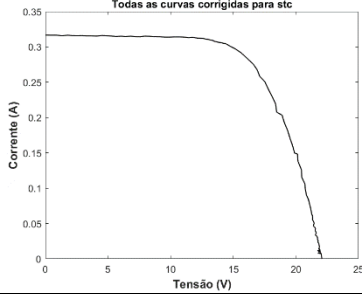
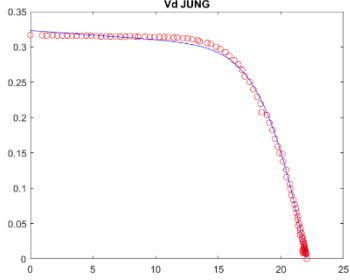
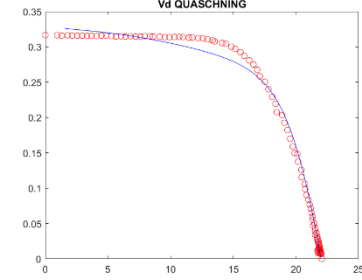
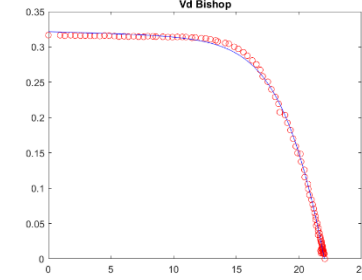
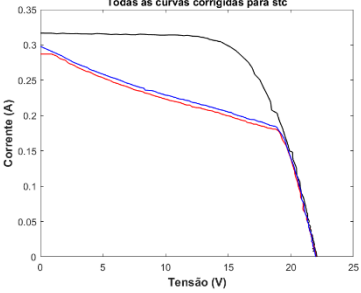
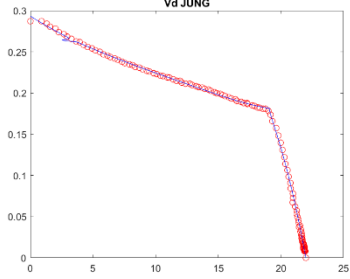
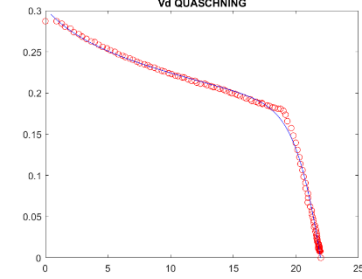
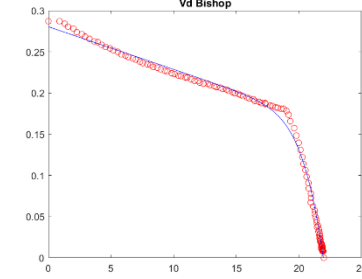
	Dados da Curva IV $V_{mp} = 21.2145$ $I_{mp} = 0.1778$ $V_{oc} = 22.7736$ $I_{sc} = 0$ $E = 1000$ $T_c = 25$	Dados da Curva IV $V_{mp} = 21.1188$ $I_{mp} = 0.1805$ $V_{oc} = 22.7264$ $I_{sc} = 0$ $E = 1000$ $T_c = 25$
		
VD_JUNG $I_{shade} = 0.285247$ $V_b = 22.141020$ $\alpha = 0.000001$ $\beta = 0.807015$ $\gamma = 0.009964$ $I_{ph}(A) = 0.276283$ $I_0(uA) = 0.000003$ $n = 1.000083$ $R_s(ohms) = 0.000013$ $R_p(ohms) = 200.842807$ $RMSE = 0.019995$	VD_QUASCHNING $a = 0.057147$ $V_{br} = -12.943585$ $m = 2.000000$ $I_{02}(uA) = 0.000000$ $n_2 = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.368000$ $I_0(uA) = 0.000004$ $n = 1.000000$ $R_s(ohms) = 0.000000$ $R_p(ohms) = 10000.000000$ $RMSE = 0.034611$	VD_BISHOP $a = 0.000100$ $V_{br} = -7.669739$ $m = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.276000$ $I_0(uA) = 0.000003$ $n = 1.000000$ $R_s(ohms) = 0.000000$ $R_p(ohms) = 169.427133$ $RMSE = 0.035000$

Experimento III - Módulo A - Célula 24		
Sem Sombreamento		
		Dados da Curva IV $V_{mp} = 18.7282$ $I_{mp} = 0.3071$ $V_{oc} = 22.6593$ $I_{sc} = 0.3272$ $E = 1000$ $T_c = 25$
		
VD_JUNG $I_{shade} = 0.323325$ $V_b = 42.509586$ $\alpha = 0.000000$ $\beta = 0.700594$	VD_QUASCHNING $a = 0.100000$ $V_{br} = -1.737936$ $m = 1.542668$ $I_{02}(uA) = 0.246955$	VD_BISHOP $a = 0.000073$ $V_{br} = -2.467673$ $m = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.331869$

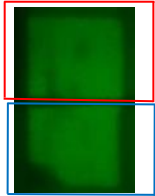
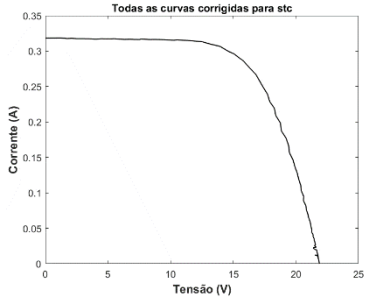
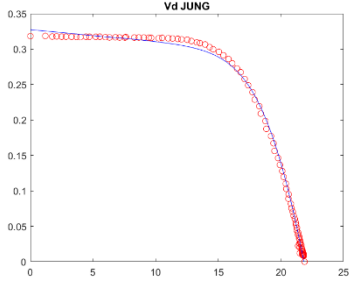
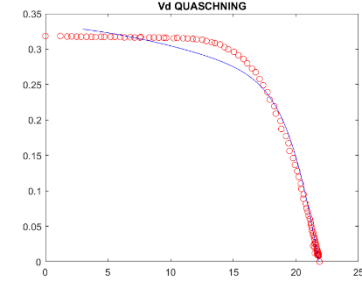
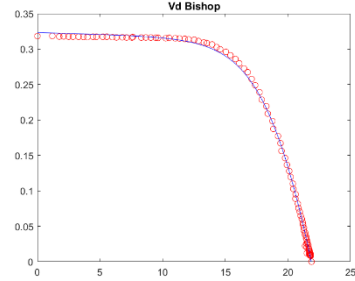
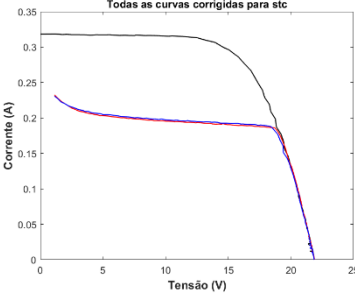
$\gamma = 0.000000$ $I_{ph}(A) = 0.327989$ $I_0(uA) = 0.014223$ $n = 1.444306$ $R_s(ohms) = 1.554058$ $R_p(ohms) = 8614.431629$ $RMSE = 0.002420$	$n_2 = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.393418$ $I_0(uA) = 0.000006$ $n = 1.000000$ $R_s(ohms) = 2.852251$ $R_p(ohms) = 738.896383$ $RMSE = 0.003743$	$I_0(uA) = 0.000665$ $n = 1.225306$ $R_s(ohms) = 2.209023$ $R_p(ohms) = 1999.884972$ $RMSE = 0.003287$
Com Sombreamento		
 Todas as curvas corrigidas para stc	Dados da Curva IV $V_{mp} = 20.9485$ $I_{mp} = 0.1791$ $V_{oc} = 22.5914$ $I_{sc} = 0$ $E = 1000$ $T_c = 25$	Dados da Curva IV $V_{mp} = 20.8926$ $I_{mp} = 0.1799$ $V_{oc} = 22.3568$ $I_{sc} = 0$ $E = 1000$ $T_c = 25$
 Vd JUNG	 Vd QUASCHNING	 Vd Bishop
VD_JUNG $I_{shade} = 0.289157$ $V_b = 21.978753$ $\alpha = 0.000002$ $\beta = 1.423623$ $\gamma = 0.009976$ $I_{ph}(A) = 0.280463$ $I_0(uA) = 0.000004$ $n = 1.000157$ $R_s(ohms) = 0.000625$ $R_p(ohms) = 186.061447$ $RMSE = 0.020709$	VD_QUASCHNING $a = 0.055340$ $V_{br} = -13.715589$ $m = 2.000000$ $I_0(uA) = 0.000000$ $n_2 = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.373837$ $I_0(uA) = 0.000005$ $n = 1.000000$ $R_s(ohms) = 0.000000$ $R_p(ohms) = 10000.000000$ $RMSE = 0.035477$	VD_BISHOP $a = 0.000100$ $V_{br} = -9.295978$ $m = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.280378$ $I_0(uA) = 0.000003$ $n = 1.000000$ $R_s(ohms) = 0.000000$ $R_p(ohms) = 162.815456$ $RMSE = 0.035312$

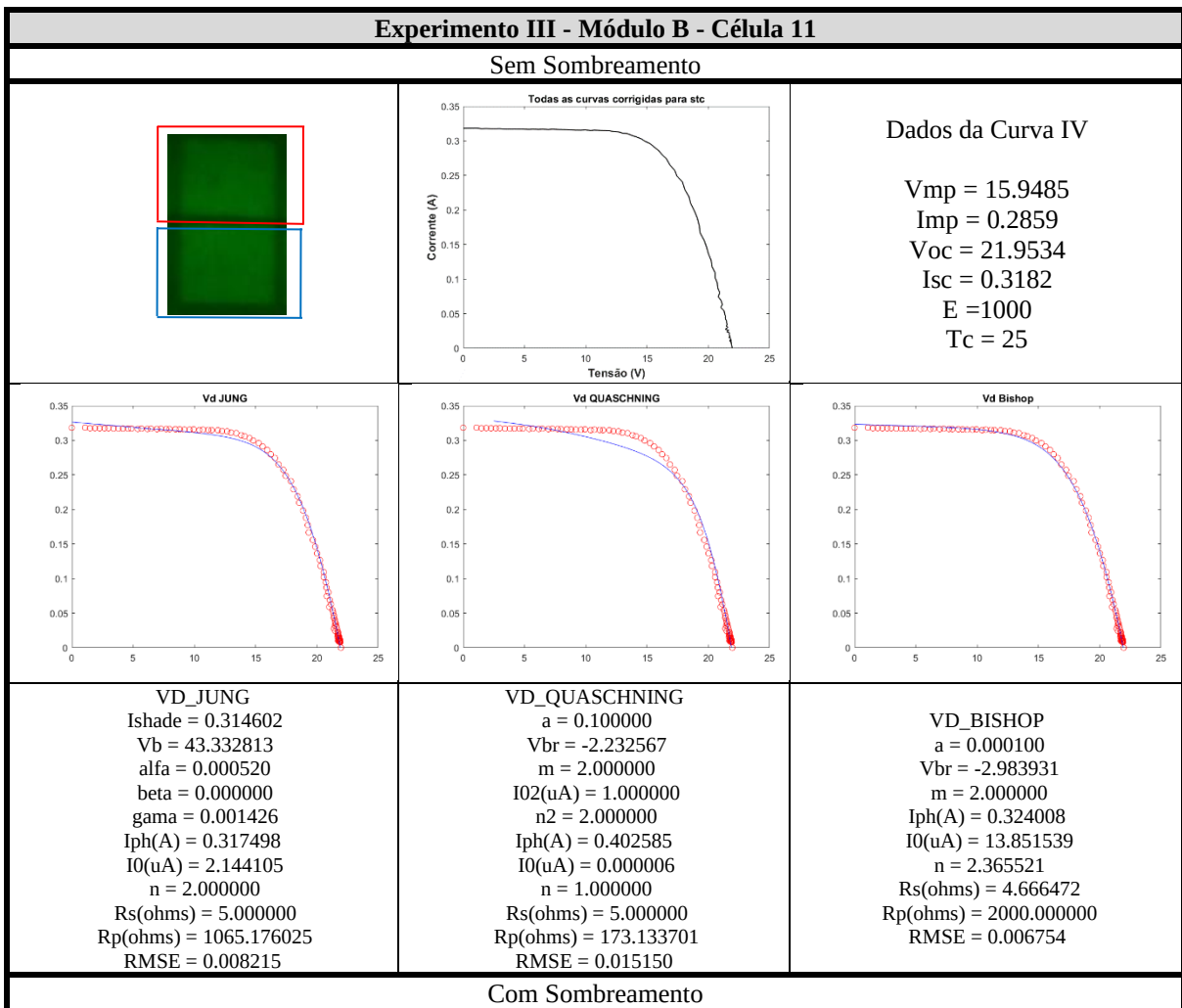
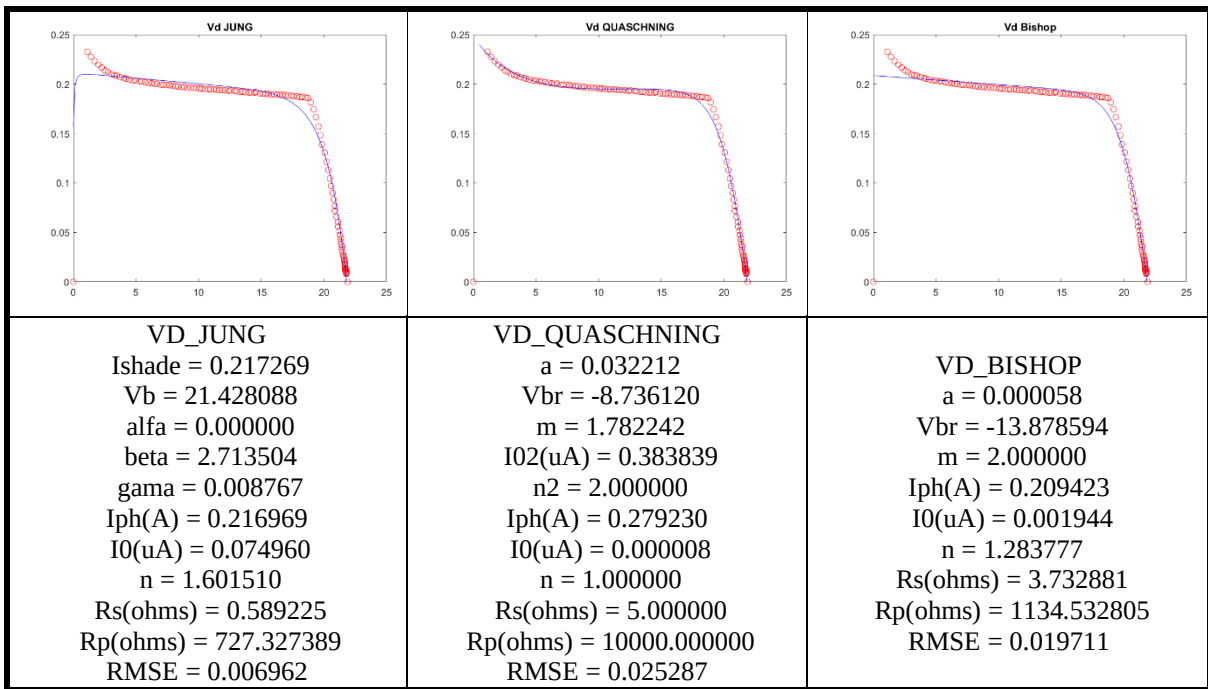
Experimento III - Módulo A - Célula 32		
Sem Sombreamento		
	 Todas as curvas corrigidas para stc	Dados da Curva IV $V_{mp} = 18.7118$ $I_{mp} = 0.3043$ $V_{oc} = 22.5214$ $I_{sc} = 0.3271$ $E = 1000$ $T_c = 25$

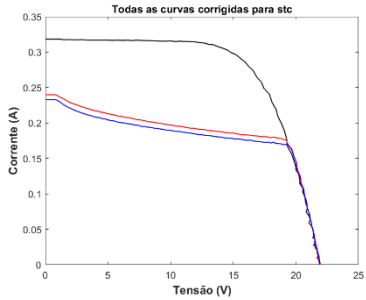
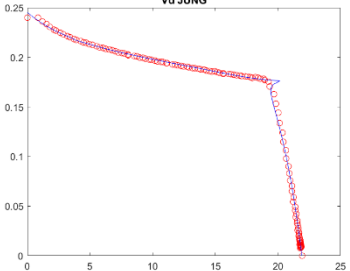
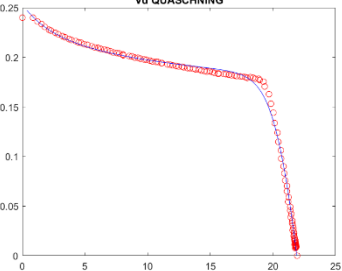
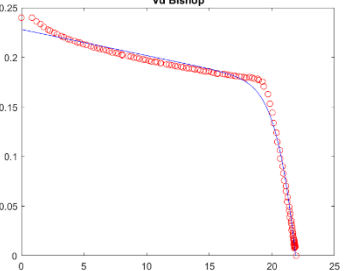


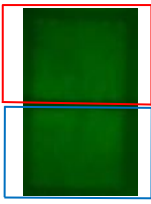
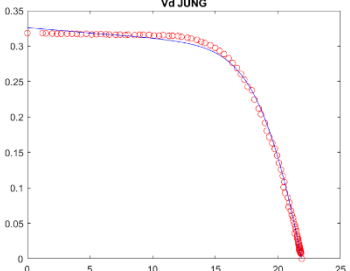
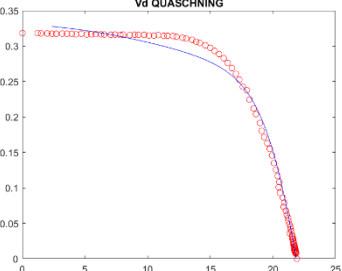
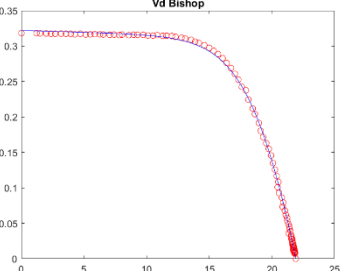
Experimento III - Módulo B - Célula 2			
Sem Sombreamento Parcial na Célula			
	 Todas as curvas corrigidas para stc	Dados da Curva IV $V_{mp} = 16.2775$ $I_{mp} = 0.2809$ $V_{oc} = 22.0696$ $I_{sc} = 0.3166$ $E = 1000$ $T_c = 25$	
			
VD_JUNG $I_{shade} = 0.313123$ $V_b = 39.777017$ $\alpha = 0.000002$ $\beta = 0.000000$ $\gamma = 0.001169$ $I_{ph}(A) = 0.316495$ $I_0(uA) = 2.025899$ $n = 2.000000$ $R_s(ohms) = 5.000000$ $R_p(ohms) = 1168.106299$ $RMSE = 0.007411$	VD_QUASCHNING $a = 0.100000$ $V_{br} = -2.211889$ $m = 2.000000$ $I_{02}(uA) = 1.000000$ $n_2 = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.396484$ $I_0(uA) = 0.000005$ $n = 1.000000$ $R_s(ohms) = 5.000000$ $R_p(ohms) = 189.304448$ $RMSE = 0.013155$	VD_BISHOP $a = 0.000016$ $V_{br} = -19.252378$ $m = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.322166$ $I_0(uA) = 23.820481$ $n = 2.512969$ $R_s(ohms) = 3.474288$ $R_p(ohms) = 2000.000000$ $RMSE = 0.006162$	
Com Sombreamento Parcial na Célula			
 Todas as curvas corrigidas para stc	Dados da Curva IV $V_{mp} = 18.7802$ $I_{mp} = 0.1809$ $V_{oc} = 21.9904$ $I_{sc} = 0.2871$ $E = 1000$ $T_c = 25$	Dados da Curva IV $V_{mp} = 18.8855$ $I_{mp} = 0.1835$ $V_{oc} = 21.9780$ $I_{sc} = 0.2980$ $E = 1000$ $T_c = 25$	
			
VD_JUNG $I_{shade} = 0.181380$ $V_b = 43.988865$ $\alpha = 0.000085$ $\beta = 3.540092$ $\gamma = 0.000112$	VD_QUASCHNING $a = 0.036972$ $V_{br} = -3.063714$ $m = 1.000000$ $I_{02}(uA) = 0.301737$ $n_2 = 2.000000$	VD_BISHOP $a = 0.000032$ $V_{br} = -10.279015$ $m = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.284411$ $I_0(uA) = 0.003408$	

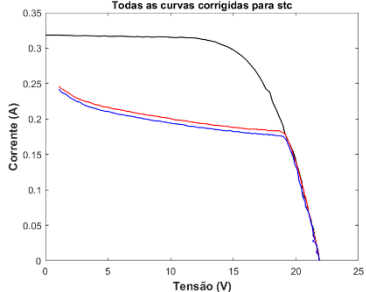
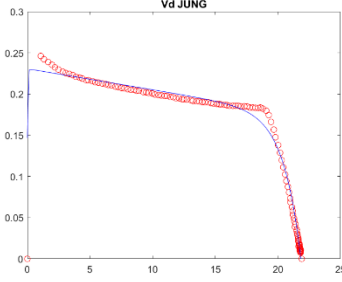
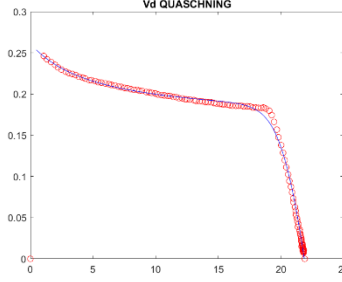
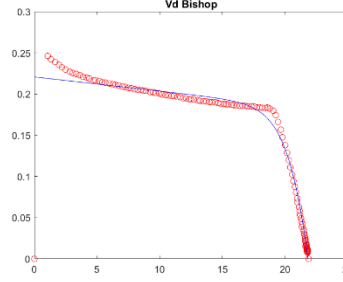
$I_{ph}(A) = 0.264339$ $I_0(uA) = 1.721884$ $n = 2.000000$ $R_s(ohms) = 5.000000$ $R_p(ohms) = 239.260277$ $RMSE = 0.002265$	$I_{ph}(A) = 0.344564$ $I_0(uA) = 0.000007$ $n = 1.000000$ $R_s(ohms) = 5.000000$ $R_p(ohms) = 355.293574$ $RMSE = 0.006016$	$n = 1.339367$ $R_s(ohms) = 2.708056$ $R_p(ohms) = 190.514098$ $RMSE = 0.006483$
---	---	---

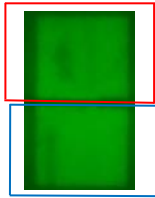
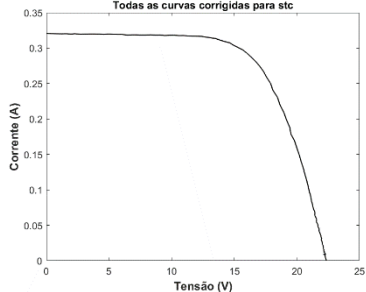
Experimento III - Módulo B - Célula 10		
Sem Sombreamento		
		Dados da Curva IV $V_{mp} = 15.8174$ $I_{mp} = 0.2860$ $V_{oc} = 21.8855$ $I_{sc} = 0.3184$ $E = 1000$ $T_c = 25$
		
VD_JUNG $I_{shade} = 0.314983$ $V_b = 28.223248$ $\alpha = 0.000069$ $\beta = 0.000000$ $\gamma = 0.001945$ $I_{ph}(A) = 0.318370$ $I_0(uA) = 2.221135$ $n = 2.000000$ $R_s(ohms) = 5.000000$ $R_p(ohms) = 919.268423$ $RMSE = 0.008070$	VD_QUASCHNING $a = 0.100000$ $V_{br} = -2.234457$ $m = 2.000000$ $I_{02}(uA) = 1.000000$ $n_2 = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.405296$ $I_0(uA) = 0.000007$ $n = 1.000000$ $R_s(ohms) = 5.000000$ $R_p(ohms) = 164.929583$ $RMSE = 0.015294$	VD_BISHOP $a = 0.000100$ $V_{br} = -3.293006$ $m = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.324166$ $I_0(uA) = 13.088600$ $n = 2.344445$ $R_s(ohms) = 4.952034$ $R_p(ohms) = 2000.000000$ $RMSE = 0.006259$
Com Sombreamento		
	Dados da Curva IV $V_{mp} = 18.7216$ $I_{mp} = 0.1859$ $V_{oc} = 21.8920$ $I_{sc} = 0$ $E = 1000$ $T_c = 25$	Dados da Curva IV $V_{mp} = 18.4386$ $I_{mp} = 0.1875$ $V_{oc} = 21.8653$ $I_{sc} = 0$ $E = 1000$ $T_c = 25$

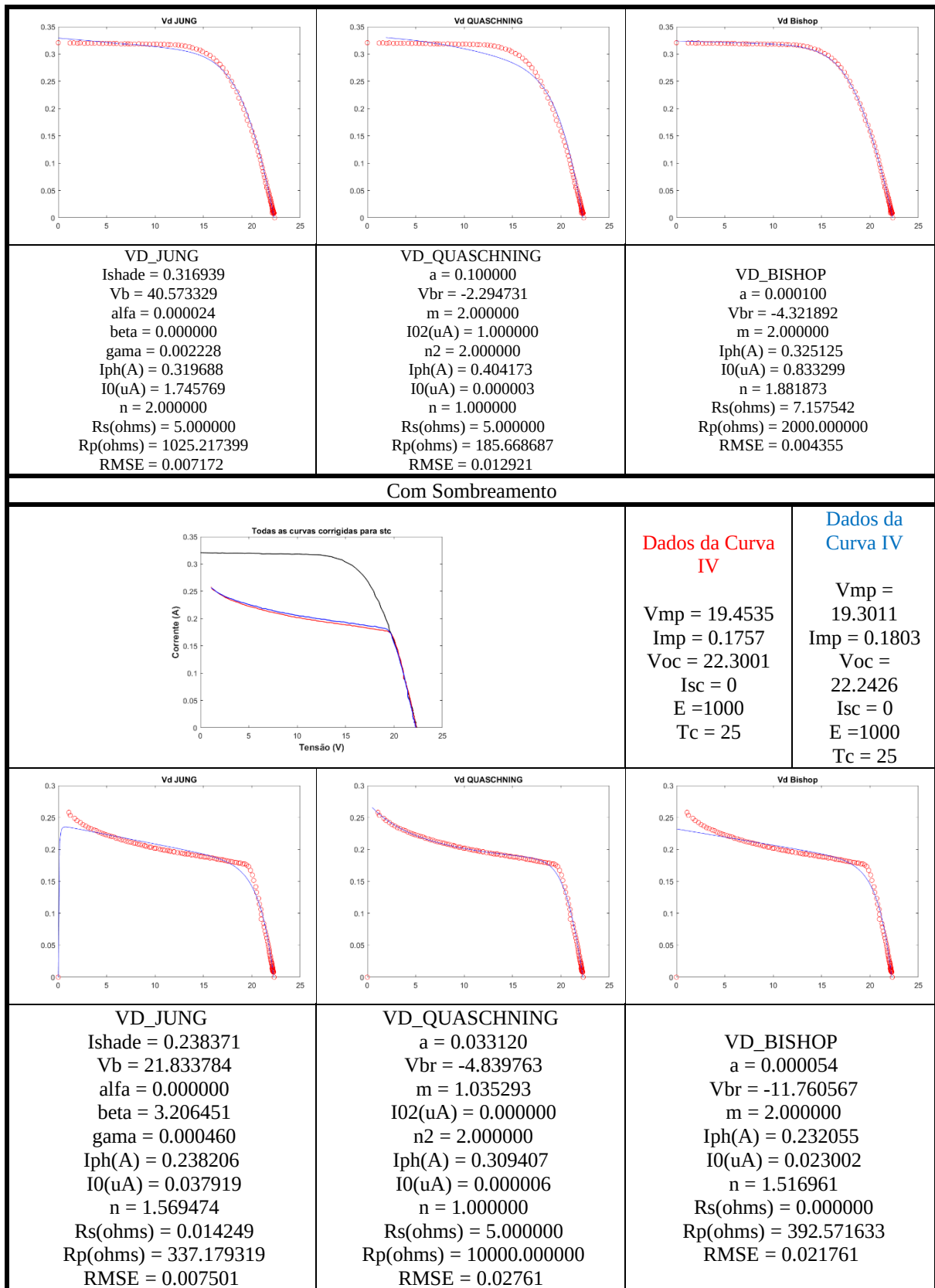


 Todas as curvas corrigidas para stc	Dados da Curva IV Vmp = 19.2528 Imp = 0.1754 Voc = 21.9371 Isc = 0.2399 E = 1000 Tc = 25	Dados da Curva IV Vmp = 29.2810 Imp = 0.1696 Voc = 21.8801 Isc = 0.2328 E = 1000 Tc = 25
 Vd JUNG	 Vd QUASCHNING	 Vd Bishop
VD_JUNG Ishade = 0.175980 Vb = 43.874175 alfa = 0.000010 beta = 6.070053 gama = 0.000000 Iph(A) = 0.216839 I0(uA) = 1.536832 n = 2.000000 Rs(ohms) = 1.350641 Rp(ohms) = 511.177808 RMSE = 0.002115	VD_QUASCHNING a = 0.042346 Vbr = -2.426983 m = 1.000000 I02(uA) = 0.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.287919 I0(uA) = 0.000009 n = 1.000000 Rs(ohms) = 4.680215 Rp(ohms) = 1663.528867 RMSE = 0.005477	VD_BISHOP a = 0.000073 Vbr = -11.947731 m = 2.000000 Iph(A) = 0.229868 I0(uA) = 0.000067 n = 1.092833 Rs(ohms) = 3.059595 Rp(ohms) = 377.681001 RMSE = 0.006473

Experimento III - Módulo B - Célula 12		
Sem Sombreamento		
	 Todas as curvas corrigidas para stc	Dados da Curva IV Vmp = 16.0678 Imp = 0.2829 Voc = 21.9135 Isc = 0.3183 E = 1000 Tc = 25
 Vd JUNG	 Vd QUASCHNING	 Vd Bishop
VD_JUNG Ishade = 0.314582 Vb = 40.525840 alfa = 0.000243	VD_QUASCHNING a = 0.100000 Vbr = -2.227562 m = 2.000000	VD_BISHOP a = 0.000100 Vbr = -5.938385 m = 2.000000

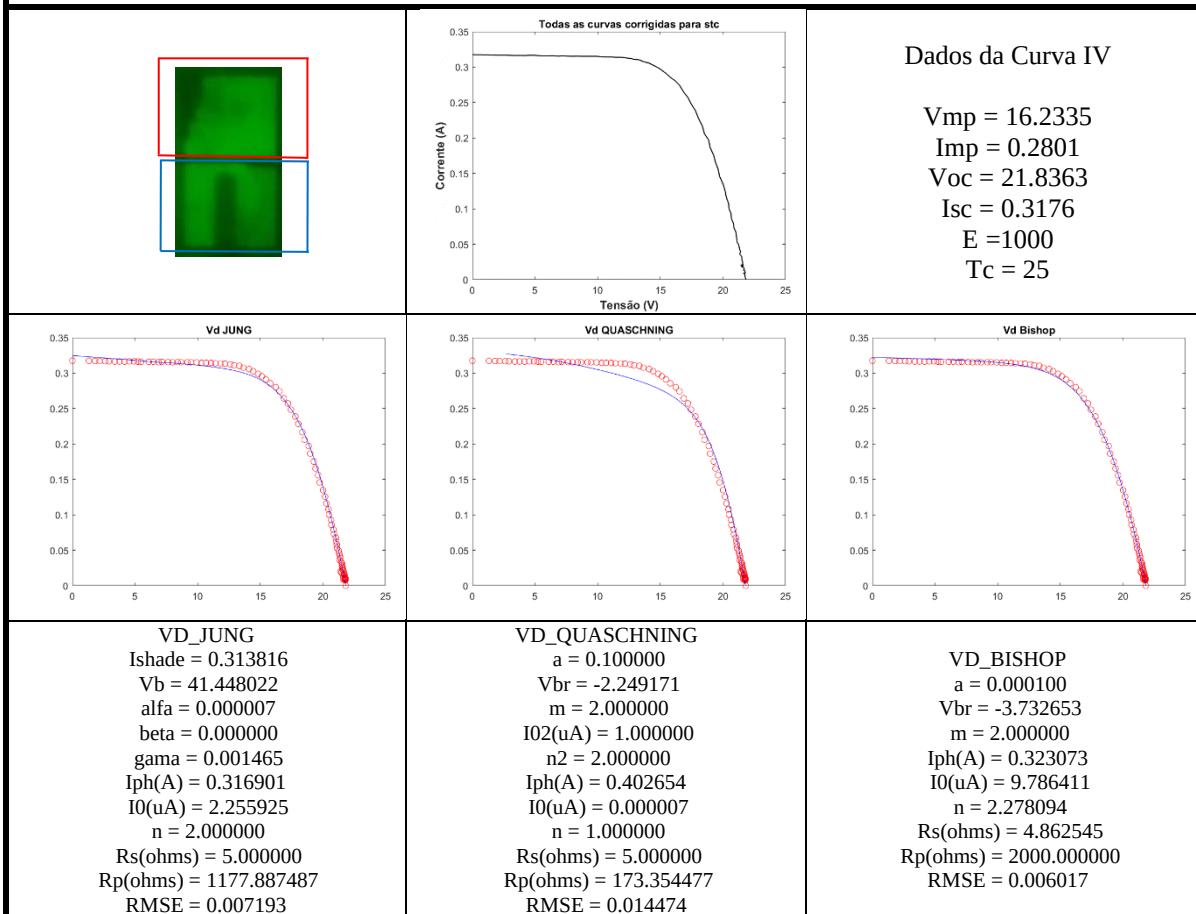
$\beta = 0.000000$ $\gamma = 0.001180$ $I_{ph}(A) = 0.318317$ $I_0(uA) = 2.178311$ $n = 2.000000$ $R_s(ohms) = 5.000000$ $R_p(ohms) = 1013.688672$ $RMSE = 0.006344$	$I_{02}(uA) = 1.000000$ $n_2 = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.401832$ $I_0(uA) = 0.000007$ $n = 1.000000$ $R_s(ohms) = 5.000000$ $R_p(ohms) = 175.314746$ $RMSE = 0.013416$	$I_{ph}(A) = 0.322991$ $I_0(uA) = 5.661140$ $n = 2.170374$ $R_s(ohms) = 5.451051$ $R_p(ohms) = 2000.000000$ $RMSE = 0.004895$
Com Sombreamento		
	Dados da Curva IV $V_{mp} = 19.0688$ $I_{mp} = 0.1798$ $V_{oc} = 21.9051$ $I_{sc} = 0$ $E = 1000$ $T_c = 25$	Dados da Curva IV $V_{mp} = 19.0198$ $I_{mp} = 0.1748$ $V_{oc} = 21.8686$ $I_{sc} = 0$ $E = 1000$ $T_c = 25$
		
VD_JUNG $I_{shade} = 0.231115$ $V_b = 21.310936$ $\alpha = 0.000001$ $\beta = 2.197679$ $\gamma = 0.009597$ $I_{ph}(A) = 0.231073$ $I_0(uA) = 0.022121$ $n = 1.486174$ $R_s(ohms) = 0.057111$ $R_p(ohms) = 389.572634$ $RMSE = 0.007031$	VD_QUASCHNING $a = 0.035939$ $V_{br} = -3.474967$ $m = 1.002960$ $I_{02}(uA) = 0.004938$ $n_2 = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.295393$ $I_0(uA) = 0.000010$ $n = 1.000000$ $R_s(ohms) = 5.000000$ $R_p(ohms) = 10000.000000$ $RMSE = 0.026920$	VD_BISHOP $a = 0.000037$ $V_{br} = -13.779459$ $m = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.221545$ $I_0(uA) = 0.004764$ $n = 1.352598$ $R_s(ohms) = 2.187086$ $R_p(ohms) = 580.621298$ $RMSE = 0.021207$

Experimento III - Módulo B - Célula 23		
Sem Sombreamento		
		Dados da Curva IV $V_{mp} = 16.7048$ $I_{mp} = 0.2812$ $V_{oc} = 22.3517$ $I_{sc} = 0.3206$ $E = 1000$ $T_c = 25$

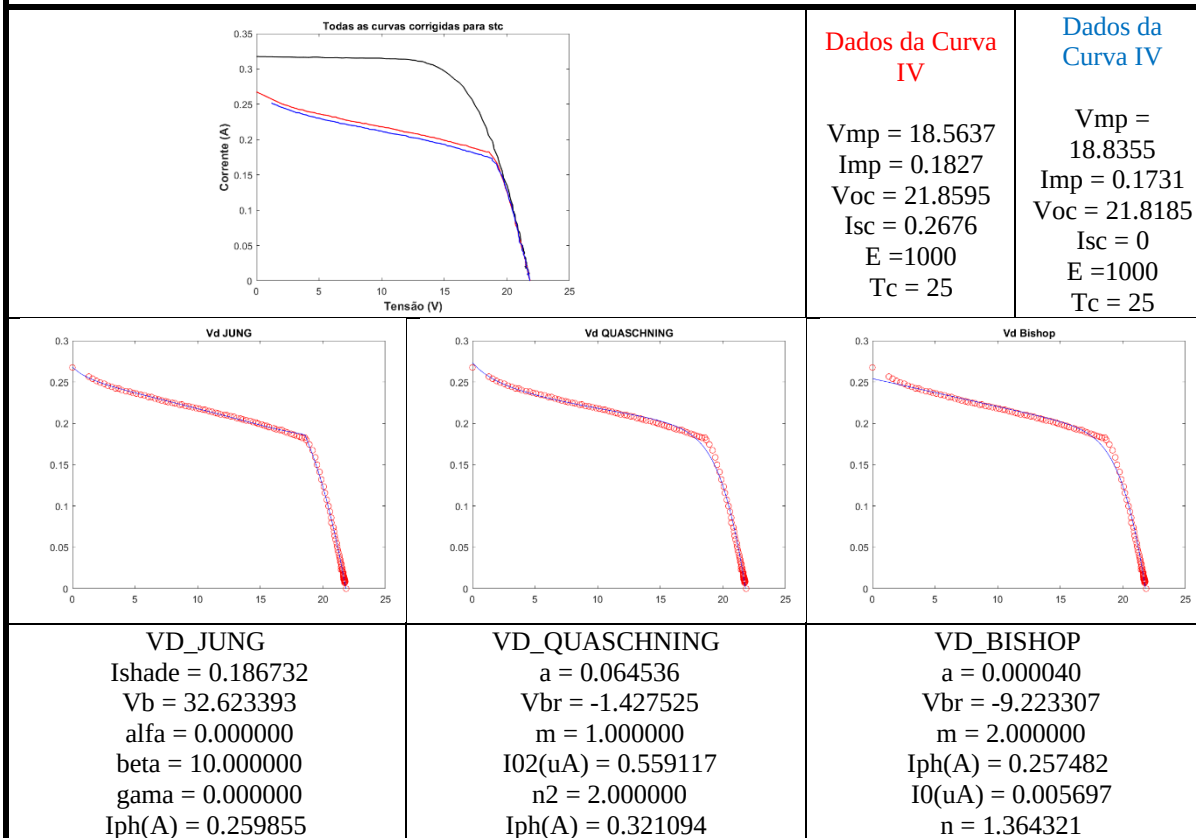


Experimento III - Módulo B - Célula 24

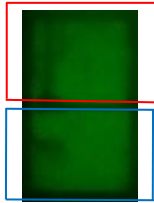
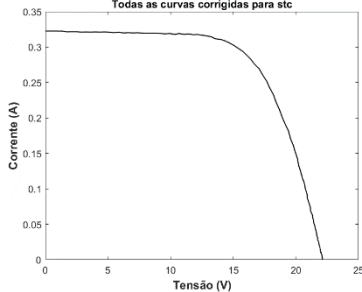
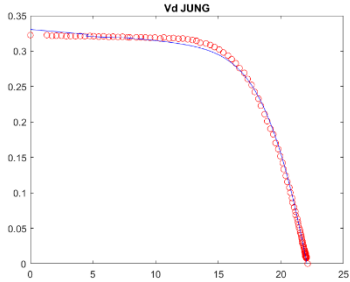
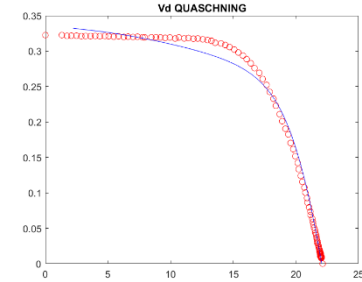
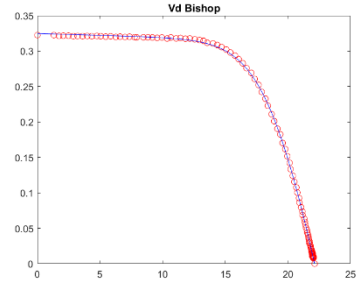
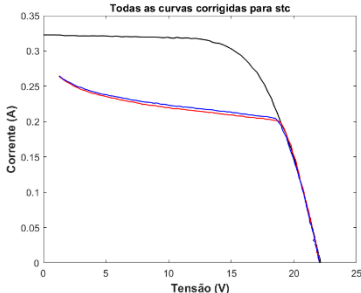
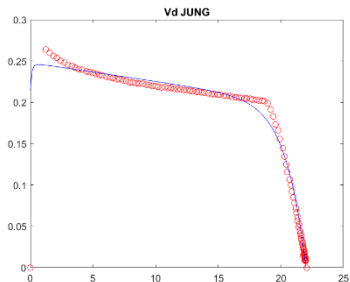
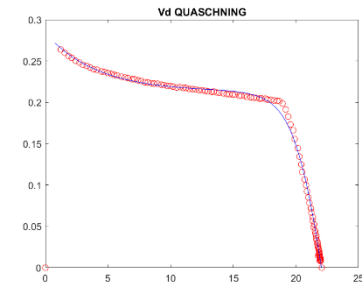
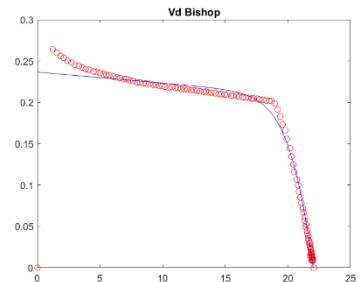
Sem Sombreamento



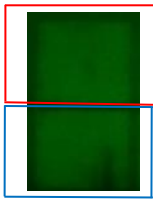
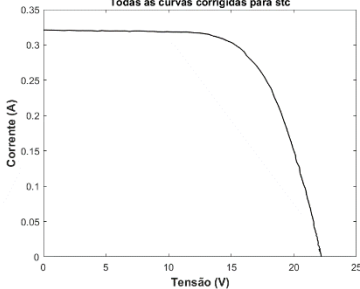
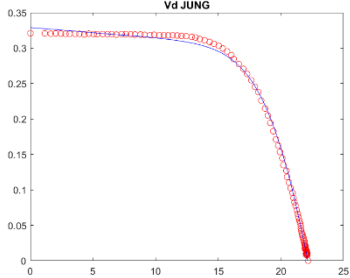
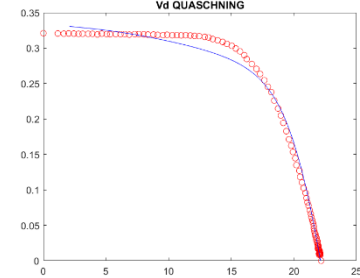
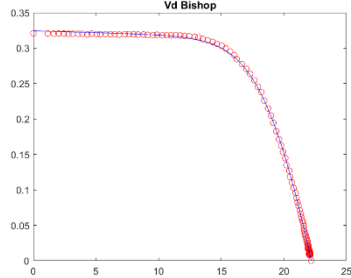
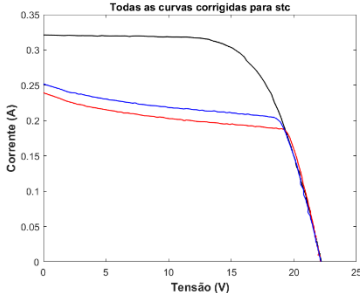
Com Sombreamento

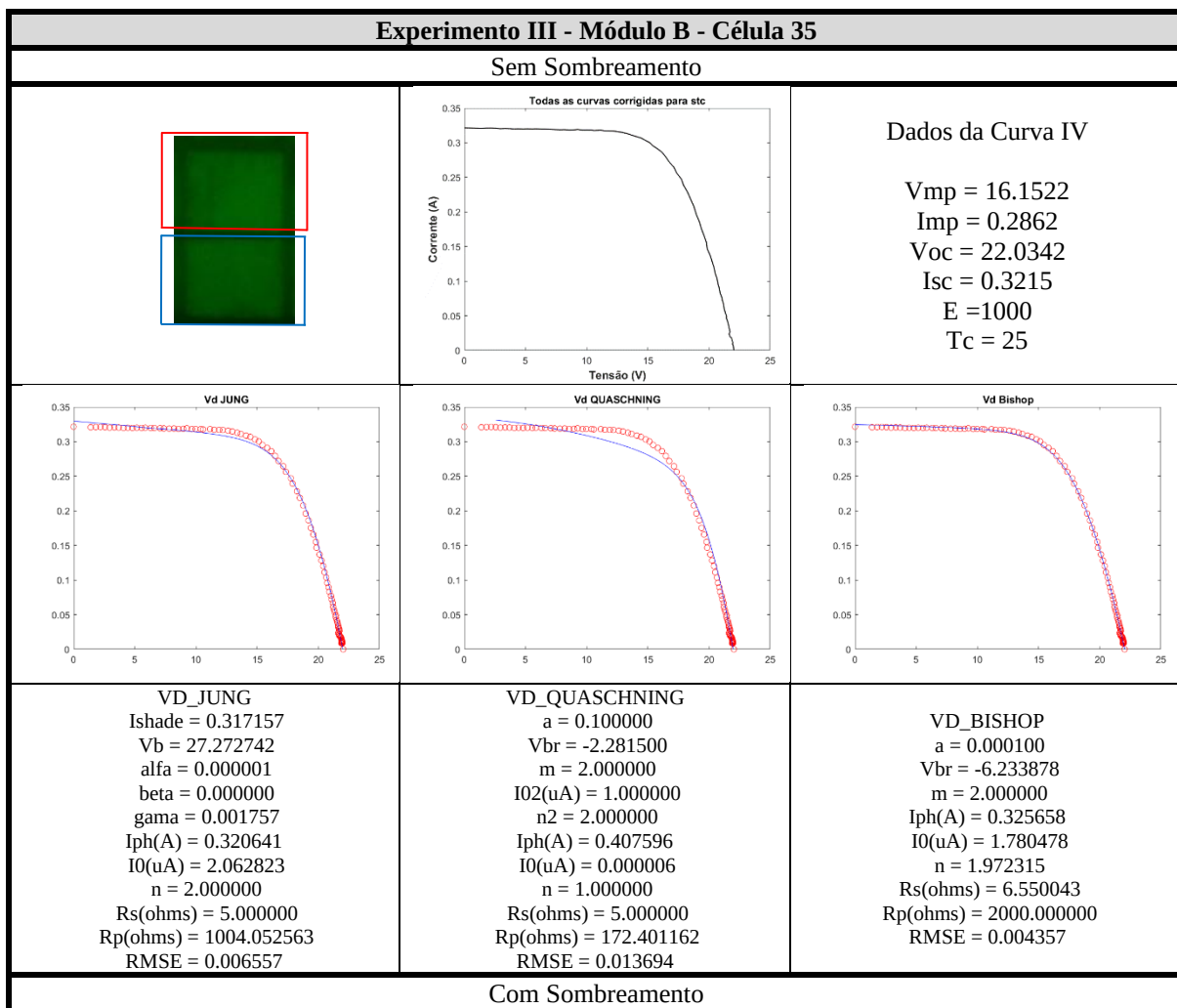
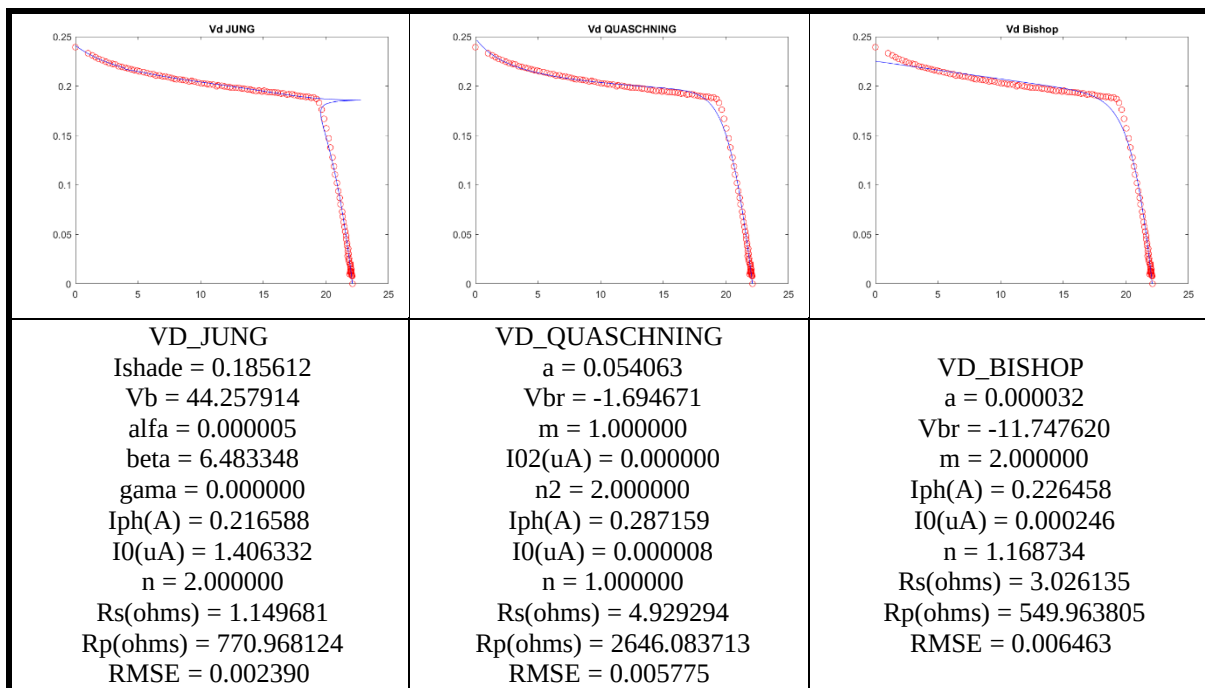


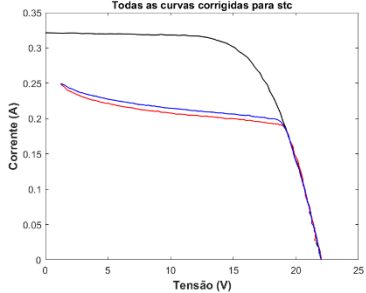
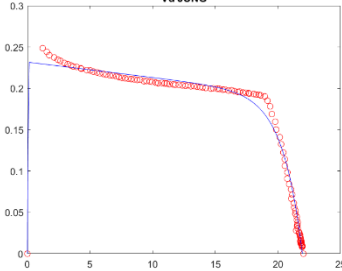
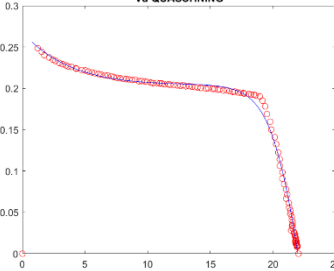
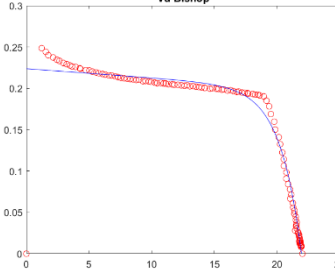
$I_0(\mu A) = 1.846286$ $n = 2.000000$ $R_s(\text{ohms}) = 5.000000$ $R_p(\text{ohms}) = 266.697411$ $RMSE = 0.002012$	$I_0(\mu A) = 0.000007$ $n = 1.000000$ $R_s(\text{ohms}) = 5.000000$ $R_p(\text{ohms}) = 529.092108$ $RMSE = 0.005466$	$R_s(\text{ohms}) = 3.855255$ $R_p(\text{ohms}) = 292.111976$ $RMSE = 0.005508$
--	--	---

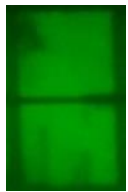
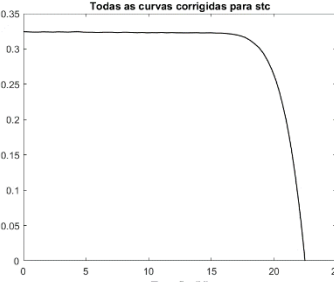
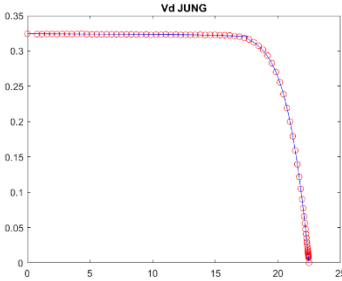
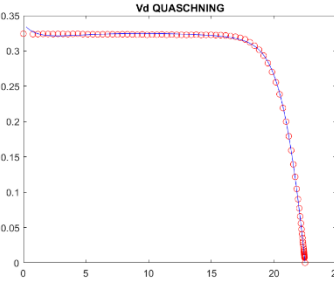
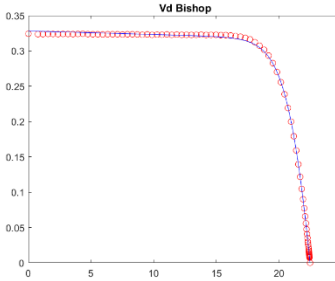
Experimento III - Módulo B - Célula 28			
Sem Sombreamento			
		Dados da Curva IV $V_{mp} = 16.0678$ $I_{mp} = 0.2887$ $V_{oc} = 22.1370$ $I_{sc} = 0.3226$ $E = 1000$ $T_c = 25$	
			
VD_JUNG $I_{shade} = 0.317881$ $V_b = 39.206173$ $\alpha = 0.000034$ $\beta = 0.000000$ $\gamma = 0.001913$ $I_{ph}(A) = 0.321118$ $I_0(\mu A) = 1.977374$ $n = 2.000000$ $R_s(\text{ohms}) = 5.000000$ $R_p(\text{ohms}) = 1020.492233$ $RMSE = 0.006030$	VD_QUASCHNING $a = 0.100000$ $V_{br} = -2.285686$ $m = 2.000000$ $I_{02}(\mu A) = 1.000000$ $n_2 = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.407648$ $I_0(\mu A) = 0.000005$ $n = 1.000000$ $R_s(\text{ohms}) = 5.000000$ $R_p(\text{ohms}) = 175.767623$ $RMSE = 0.012978$	VD_BISHOP $a = 0.000100$ $V_{br} = -5.244903$ $m = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.325930$ $I_0(\mu A) = 0.641090$ $n = 1.825581$ $R_s(\text{ohms}) = 7.228563$ $R_p(\text{ohms}) = 2000.000000$ $RMSE = 0.003026$	
Com Sombreamento			
	Dados da Curva IV $V_{mp} = 18.6850$ $I_{mp} = 0.2015$ $V_{oc} = 22.0662$ $I_{sc} = 0$ $E = 1000$ $T_c = 25$	Dados da Curva IV $V_{mp} = 18.5309$ $I_{mp} = 0.2046$ $V_{oc} = 22.0525$ $I_{sc} = 0$ $E = 1000$ $T_c = 25$	
			

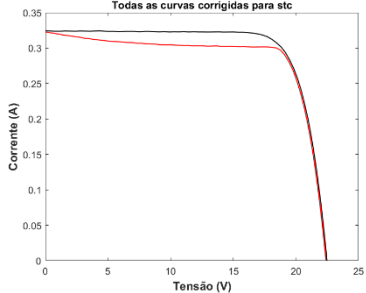
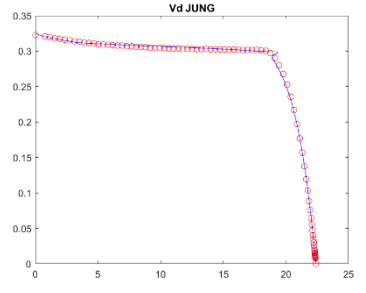
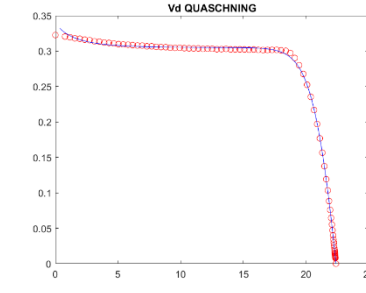
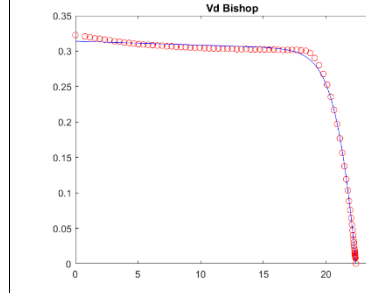
VD_JUNG Ishade = 0.248311 Vb = 21.635961 alfa = 0.000008 beta = 3.398591 gama = 0.009506 Iph(A) = 0.248309 I0(uA) = 0.084176 n = 1.621021 Rs(ohms) = 0.680522 Rp(ohms) = 441.195612 RMSE = 0.007338	VD_QUASCHNING a = 0.028571 Vbr = -10.485348 m = 1.648800 I02(uA) = 0.391949 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.316749 I0(uA) = 0.000007 n = 1.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 10000.000000 RMSE = 0.029234	VD_BISHOP a = 0.000052 Vbr = -13.793681 m = 2.000000 Iph(A) = 0.237562 I0(uA) = 0.010480 n = 1.416959 Rs(ohms) = 3.101806 Rp(ohms) = 752.490526 RMSE = 0.022948
--	---	--

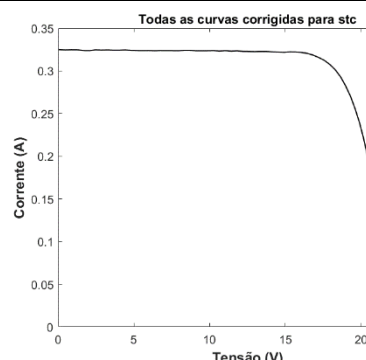
Experimento III - Módulo B - Célula 29		
Sem Sombreamento		
		Dados da Curva IV Vmp = 16.0398 Imp = 0.2900 Voc = 22.1832 Isc = 0.3211 E = 1000 Tc = 25
		
VD_JUNG Ishade = 0.317754 Vb = 39.517288 alfa = 0.000013 beta = 0.000000 gama = 0.001801 Iph(A) = 0.320657 I0(uA) = 1.914622 n = 2.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 1078.732983 RMSE = 0.006131	VD_QUASCHNING a = 0.100000 Vbr = -2.272197 m = 2.000000 I02(uA) = 1.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.404562 I0(uA) = 0.000004 n = 1.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 183.183087 RMSE = 0.012702	VD_BISHOP a = 0.000100 Vbr = -6.571947 m = 2.000000 Iph(A) = 0.325470 I0(uA) = 1.011442 n = 1.896731 Rs(ohms) = 6.854957 Rp(ohms) = 2000.000000 RMSE = 0.003667
Com Sombreamento		
	Dados da Curva IV Vmp = 19.2486 Imp = 0.1870 Voc = 22.1290 Isc = 0.2393 E = 1000 Tc = 25	Dados da Curva IV Vmp = 18.6570 Imp = 0.2022 Voc = 22.1612 Isc = 0.2518 E = 1000 Tc = 25

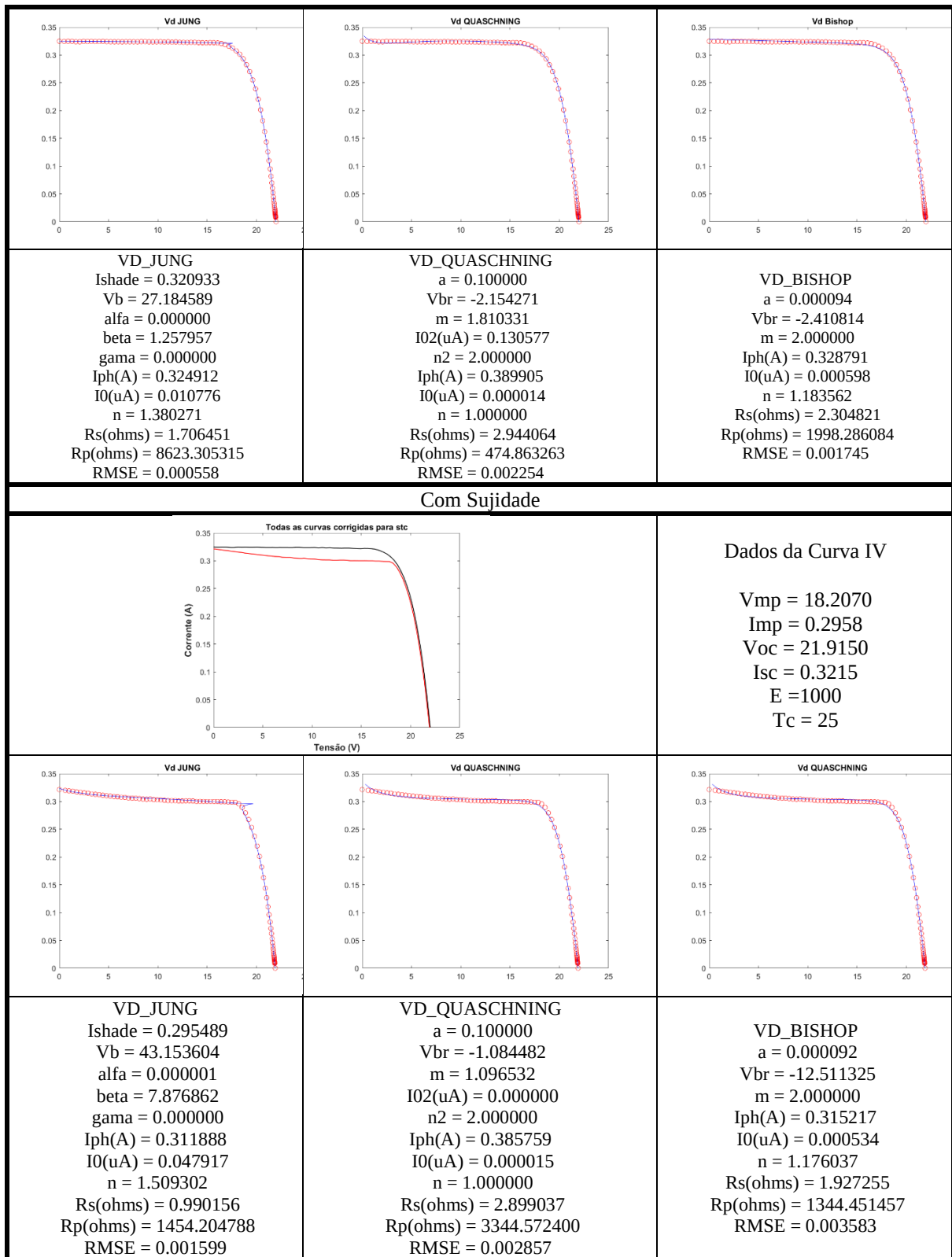


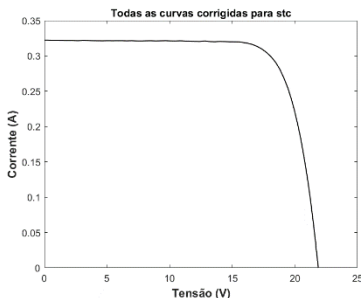
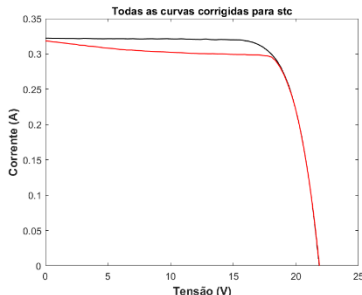
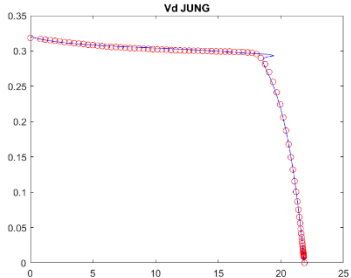
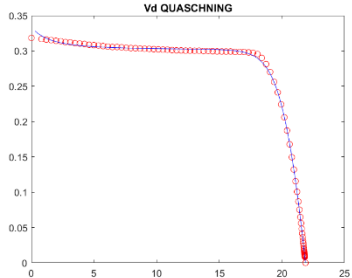
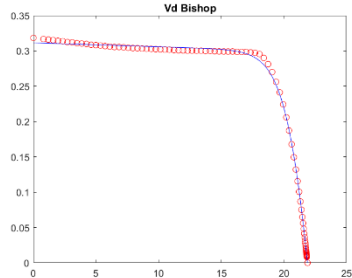
	Dados da Curva IV $V_{mp} = 18.9576$ $I_{mp} = 0.1902$ $V_{oc} = 22.0393$ $I_{sc} = 0$ $E = 1000$ $T_c = 25$	Dados da Curva IV $V_{mp} = 18.5738$ $I_{mp} = 0.1981$ $V_{oc} = 22.0080$ $I_{sc} = 0$ $E = 1000$ $T_c = 25$
		
VD_JUNG $I_{shade} = 0.231635$ $V_b = 21.427105$ $\alpha = 0.000000$ $\beta = 1.561015$ $\gamma = 0.000036$ $I_{ph}(A) = 0.231631$ $I_0(uA) = 0.155768$ $n = 1.692927$ $R_s(ohms) = 0.000096$ $R_p(ohms) = 541.993674$ $RMSE = 0.007652$	VD_QUASCHNING $a = 0.027648$ $V_{br} = -12.228876$ $m = 1.901125$ $I_{02}(uA) = 0.455061$ $n_2 = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.298310$ $I_0(uA) = 0.000007$ $n = 1.000000$ $R_s(ohms) = 5.000000$ $R_p(ohms) = 10000.000000$ $RMSE = 0.027209$	VD_BISHOP $a = 0.000082$ $V_{br} = -14.451022$ $m = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.223733$ $I_0(uA) = 0.379433$ $n = 1.802141$ $R_s(ohms) = 0.000000$ $R_p(ohms) = 905.927579$ $RMSE = 0.021330$

Experimento IV - Módulo A - Célula 2		
Sem Sujidade		
		Dados da Curva IV $V_{mp} = 18.8177$ $I_{mp} = 0.3017$ $V_{oc} = 22.4880$ $I_{sc} = 0.3243$ $E = 1000$ $T_c = 25$
		
VD_JUNG $I_{shade} = 0.321383$ $V_b = 41.635838$ $\alpha = 0.000000$ $\beta = 1.993693$	VD_QUASCHNING $a = 0.100000$ $V_{br} = -2.017947$ $m = 1.735404$ $I_{02}(uA) = 0.092877$	VD_BISHOP $a = 0.000091$ $V_{br} = -1.468550$ $m = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.328603$

gama = 0.000000 Iph(A) = 0.324392 I0(uA) = 0.003601 n = 1.327104 Rs(ohms) = 1.743900 Rp(ohms) = 9802.733267 RMSE = 0.000469	n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.389149 I0(uA) = 0.000008 n = 1.000000 Rs(ohms) = 2.826620 Rp(ohms) = 519.367456 RMSE = 0.002275	I0(uA) = 0.000308 n = 1.171583 Rs(ohms) = 2.205150 Rp(ohms) = 1998.946059 RMSE = 0.001811
Com Sujidade		
	Dados da Curva IV Vmp = 18.7575 Imp = 0.2973 Voc = 22.4016 Isc = 0.3227 E = 1000 Tc = 25	
		
VD_JUNG Ishade = 0.298436 Vb = 42.683539 alfa = 0.000000 beta = 9.142201 gama = 0.000000 Iph(A) = 0.312405 I0(uA) = 0.017494 n = 1.449683 Rs(ohms) = 1.001409 Rp(ohms) = 1723.678173 RMSE = 0.001615	VD_QUASCHNING a = 0.100000 Vbr = -1.114877 m = 1.095585 I02(uA) = 0.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.387194 I0(uA) = 0.000009 n = 1.000000 Rs(ohms) = 2.719034 Rp(ohms) = 8684.625645 RMSE = 0.002744	VD_BISHOP a = 0.000079 Vbr = -13.275532 m = 2.000000 Iph(A) = 0.314301 I0(uA) = 0.000228 n = 1.152698 Rs(ohms) = 1.851230 Rp(ohms) = 1808.866190 RMSE = 0.003466

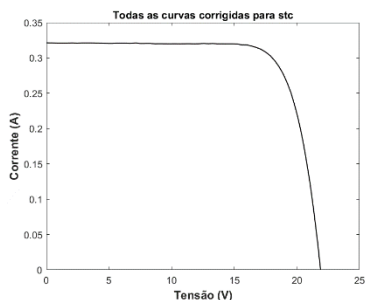
Experimento IV - Módulo A - Célula 3		
Sem Sujidade		
		Dados da Curva IV Vmp = 17.9503 Imp = 0.3076 Voc = 21.9955 Isc = 0.3249 E = 1000 Tc = 25



Experimento IV - Módulo A - Célula 4		
Sem Sujidade		
	 Todas as curvas corrigidas para stc	Dados da Curva IV $V_{mp} = 17.7618$ $I_{mp} = 0.3045$ $V_{oc} = 21.8705$ $I_{sc} = 0.3223$ $E = 1000$ $T_c = 25$
VD_JUNG Ishade = 0.319344 Vb = 43.634953 alfa = 0.000000 beta = 0.167594 gama = 0.000000 Iph(A) = 0.322322 I0(uA) = 0.009389 n = 1.362341 Rs(ohms) = 1.902574 Rp(ohms) = 9355.947011 RMSE = 0.000777	VD_QUASCHNING a = 0.100000 Vbr = -1.969557 m = 1.710508 I02(uA) = 0.272035 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.386770 I0(uA) = 0.000015 n = 1.000000 Rs(ohms) = 2.976805 Rp(ohms) = 541.871584 RMSE = 0.002301	VD_BISHOP a = 0.000067 Vbr = -1.456694 m = 2.000000 Iph(A) = 0.326338 I0(uA) = 0.001064 n = 1.212007 Rs(ohms) = 2.337539 Rp(ohms) = 1999.967116 RMSE = 0.001889
Com Sujidade		
 Todas as curvas corrigidas para stc	Dados da Curva IV $V_{mp} = 18.0512$ $I_{mp} = 0.2956$ $V_{oc} = 21.8838$ $I_{sc} = 0.3185$ $E = 1000$ $T_c = 25$	
 Vd JUNG	 Vd QUASCHNING	 Vd Bishop
VD_JUNG Ishade = 0.294314 Vb = 42.485274 alfa = 0.000001 beta = 8.271989 gama = 0.000000 Iph(A) = 0.310155 I0(uA) = 0.057159 n = 1.524245 Rs(ohms) = 1.061867 Rp(ohms) = 1660.344839 RMSE = 0.001477	VD_QUASCHNING a = 0.100000 Vbr = -1.073679 m = 1.108358 I02(uA) = 0.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.382190 I0(uA) = 0.000016 n = 1.000000 Rs(ohms) = 3.003622 Rp(ohms) = 2977.580507 RMSE = 0.002553	VD_BISHOP a = 0.000091 Vbr = -12.781411 m = 2.000000 Iph(A) = 0.312553 I0(uA) = 0.000415 n = 1.159745 Rs(ohms) = 2.142699 Rp(ohms) = 1599.917103 RMSE = 0.003142

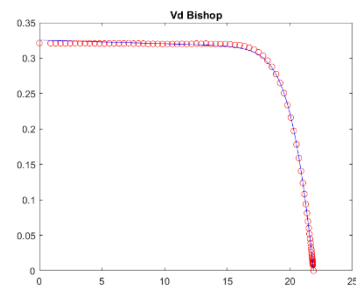
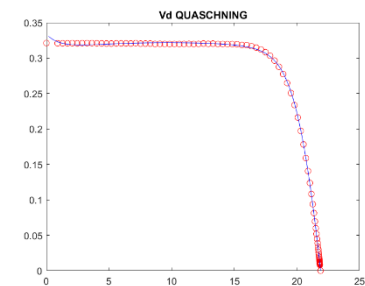
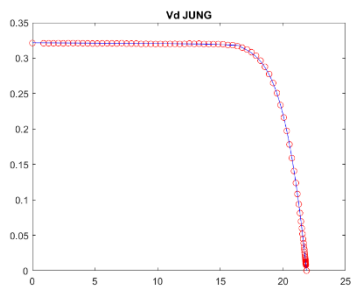
Experimento IV - Módulo A - Célula 13

Sem Sujidade



Dados da Curva IV

$V_{mp} = 17.8564$
 $I_{mp} = 0.3034$
 $V_{oc} = 21.8889$
 $I_{sc} = 0.3213$
 $E = 1000$
 $T_c = 25$

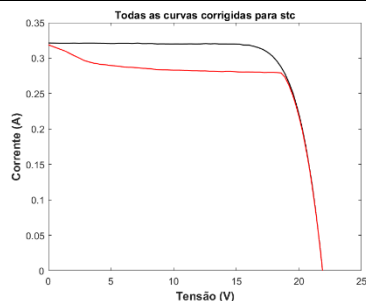


VD_JUNG
 $I_{shade} = 0.318876$
 $V_b = 40.375970$
 $\alpha = 0.000000$
 $\beta = 0.357791$
 $\gamma = 0.000000$
 $I_{ph}(A) = 0.321699$
 $I_0(uA) = 0.008031$
 $n = 1.351701$
 $R_s(ohms) = 2.001597$
 $R_p(ohms) = 9889.540740$
 $RMSE = 0.000593$

VD_QUASCHNING
 $a = 0.100000$
 $V_{br} = -1.864377$
 $m = 1.654234$
 $I_{02}(uA) = 0.247883$
 $n_2 = 2.000000$
 $I_{ph}(A) = 0.385559$
 $I_0(uA) = 0.000015$
 $n = 1.000000$
 $R_s(ohms) = 3.077615$
 $R_p(ohms) = 588.329960$
 $RMSE = 0.002054$

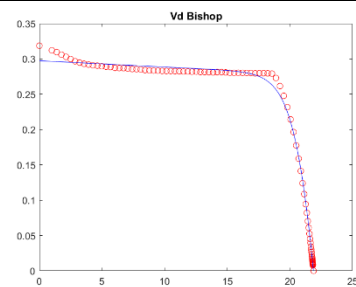
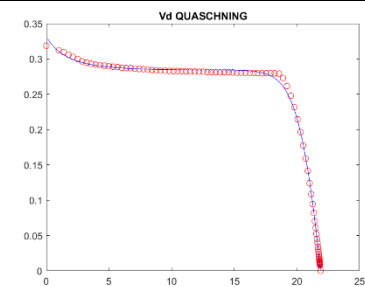
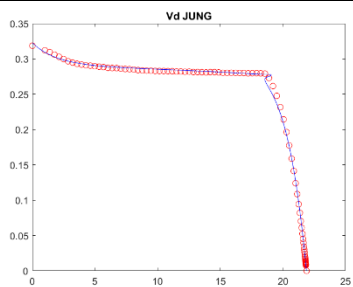
VD_BISHOP
 $a = 0.000075$
 $V_{br} = -1.664122$
 $m = 2.000000$
 $I_{ph}(A) = 0.325685$
 $I_0(uA) = 0.000898$
 $n = 1.202868$
 $R_s(ohms) = 2.424889$
 $R_p(ohms) = 1999.576492$
 $RMSE = 0.001840$

Com Sujidade



Dados da Curva IV

$V_{mp} = 18.5648$
 $I_{mp} = 0.2793$
 $V_{oc} = 21.8915$
 $I_{sc} = 0.3187$
 $E = 1000$
 $T_c = 25$

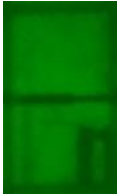
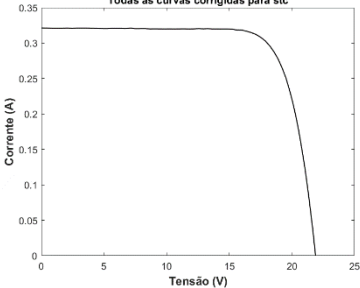
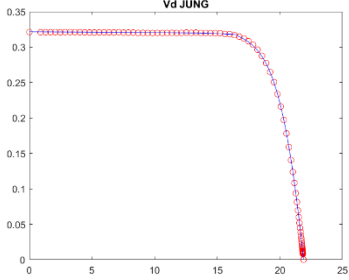
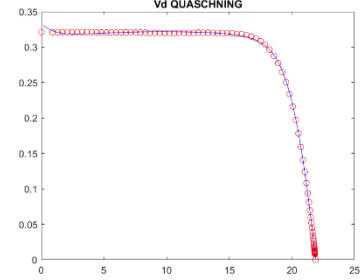
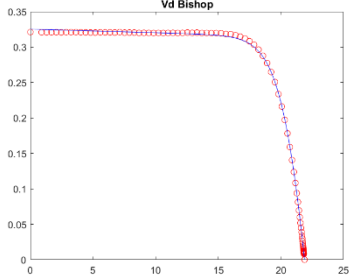
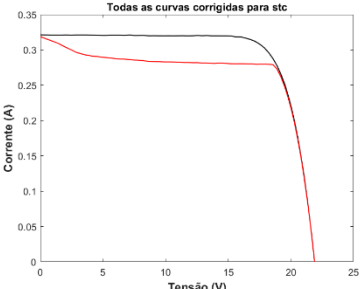
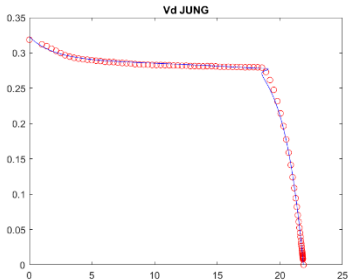
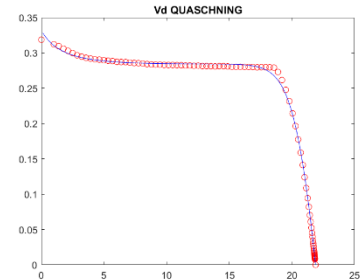
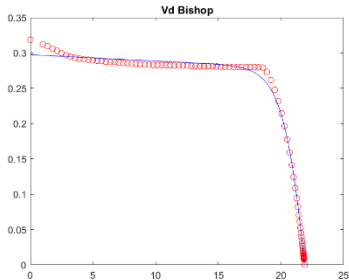


VD_JUNG
 $I_{shade} = 0.277328$
 $V_b = 41.258255$
 $\alpha = 0.000001$
 $\beta = 9.800489$
 $\gamma = 0.000000$
 $I_{ph}(A) = 0.290953$

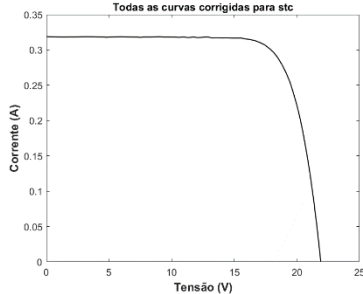
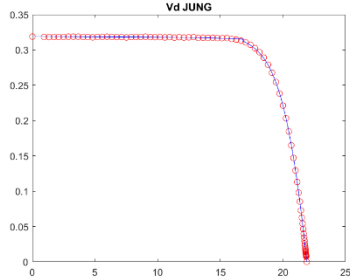
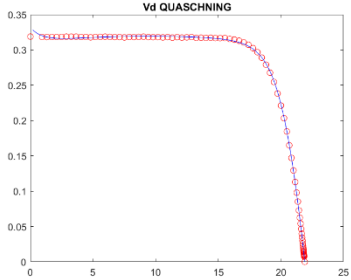
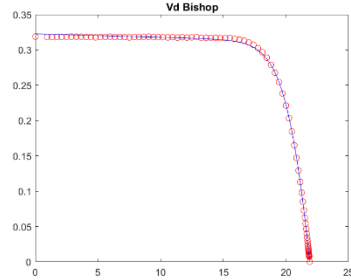
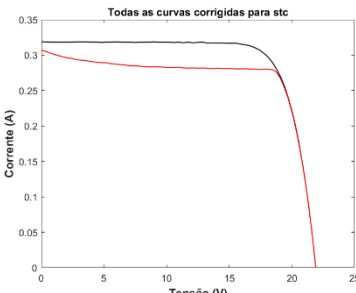
VD_QUASCHNING
 $a = 0.100000$
 $V_{br} = -1.392820$
 $m = 1.112555$
 $I_{02}(uA) = 0.000000$
 $n_2 = 2.000000$
 $I_{ph}(A) = 0.382460$

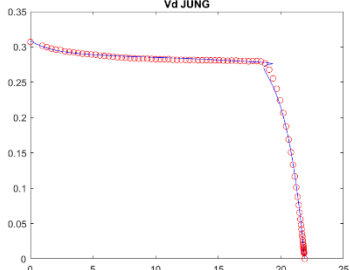
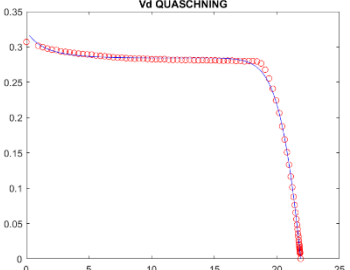
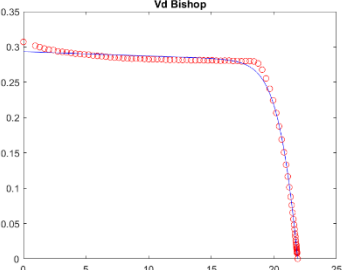
VD_BISHOP
 $a = 0.000082$
 $V_{br} = -10.094079$
 $m = 2.000000$
 $I_{ph}(A) = 0.297852$
 $I_0(uA) = 0.000170$
 $n = 1.115053$

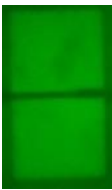
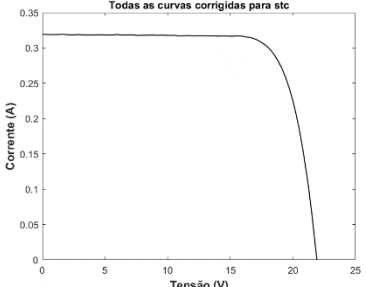
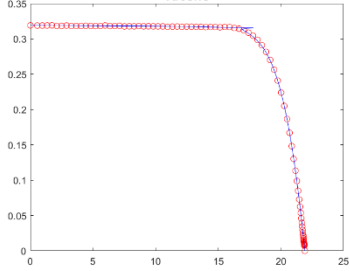
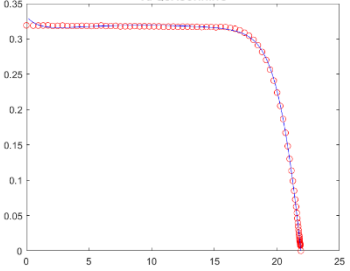
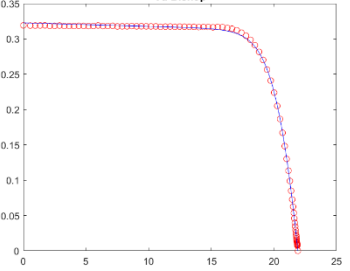
$I_0(\mu A) = 0.026488$ $n = 1.458786$ $R_s(\text{ohms}) = 0.789773$ $R_p(\text{ohms}) = 1755.293980$ $RMSE = 0.002355$	$I_0(\mu A) = 0.000015$ $n = 1.000000$ $R_s(\text{ohms}) = 2.635691$ $R_p(\text{ohms}) = 10000.000000$ $RMSE = 0.003308$	$R_s(\text{ohms}) = 1.837708$ $R_p(\text{ohms}) = 1134.766332$ $RMSE = 0.005755$
---	--	--

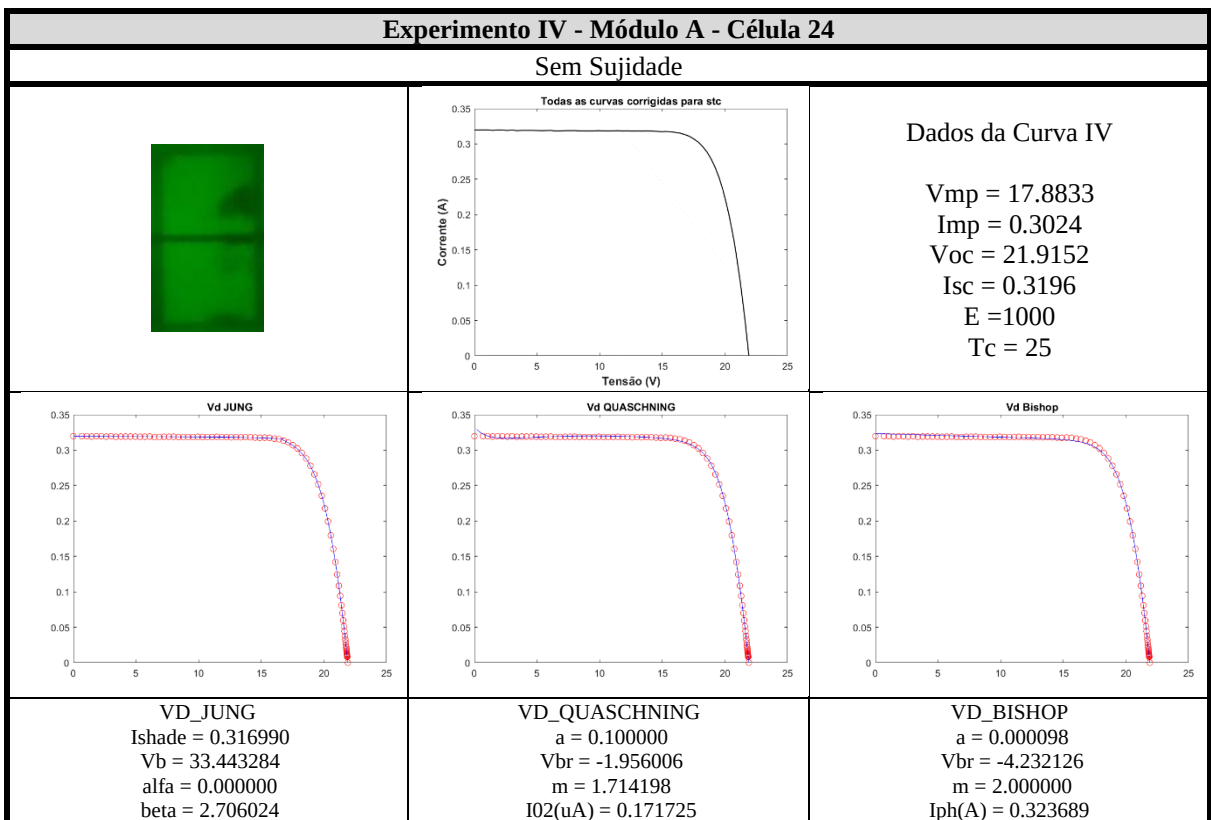
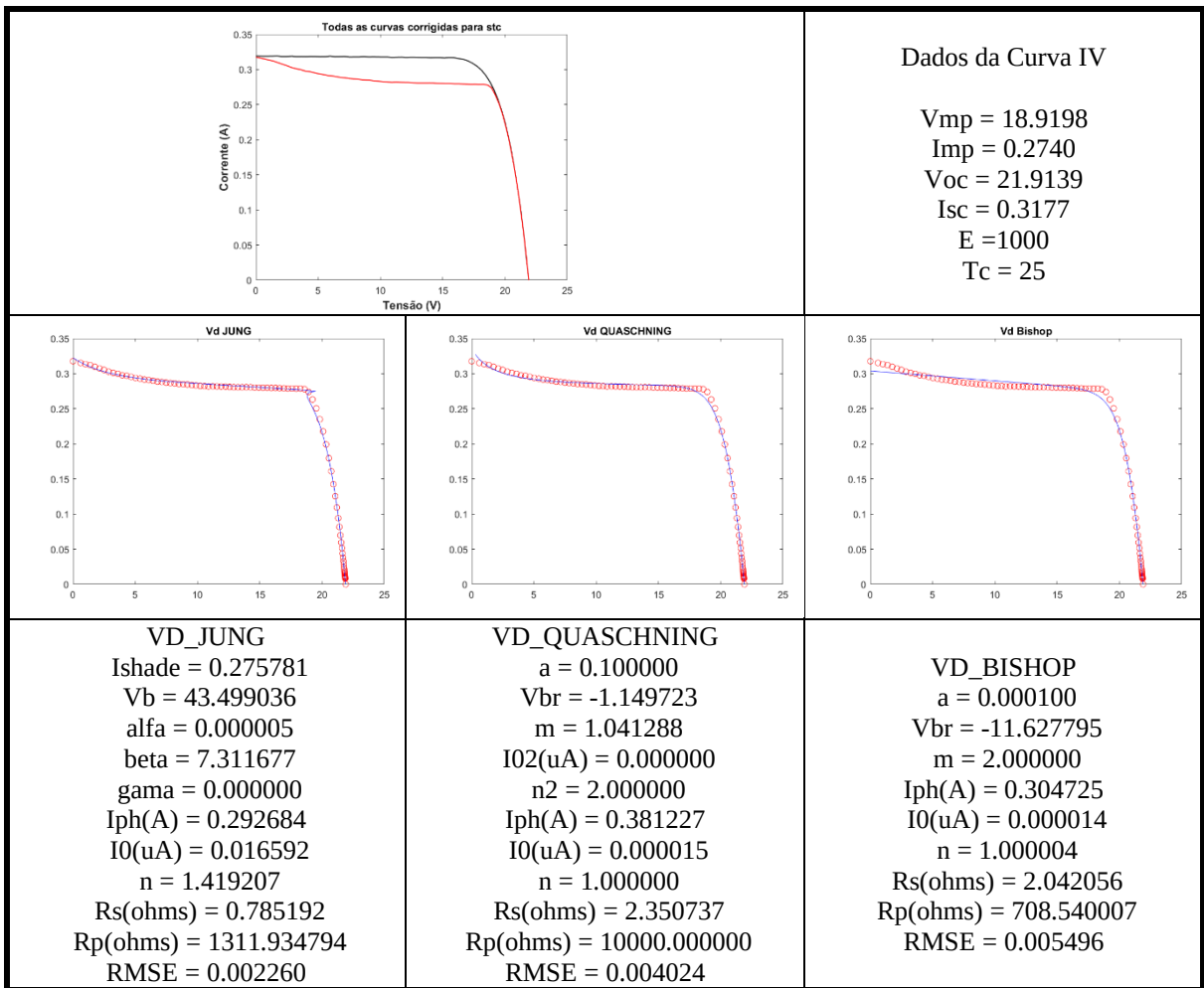
Experimento IV - Módulo A - Célula 16			
Sem Sujidade			
	Todas as curvas corrigidas para stc 	Dados da Curva IV $V_{mp} = 18.1022$ $I_{mp} = 0.3018$ $V_{oc} = 21.9752$ $I_{sc} = 0.3209$ $E = 1000$ $T_c = 25$	
Vd JUNG 	Vd QUASCHNING 	Vd Bishop 	
VD_JUNG $I_{shade} = 0.317491$ $V_b = 40.930292$ $\alpha = 0.000000$ $\beta = 0.416193$ $\gamma = 0.000000$ $I_{ph}(A) = 0.320946$ $I_0(\mu A) = 0.004215$ $n = 1.308812$ $R_s(\text{ohms}) = 1.944517$ $R_p(\text{ohms}) = 8667.731862$ $RMSE = 0.000413$	VD_QUASCHNING $a = 0.100000$ $V_{br} = -2.136323$ $m = 1.813968$ $I_{02}(\mu A) = 0.064778$ $n_2 = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.385248$ $I_0(\mu A) = 0.000014$ $n = 1.000000$ $R_s(\text{ohms}) = 2.996734$ $R_p(\text{ohms}) = 472.230587$ $RMSE = 0.002299$	VD_BISHOP $a = 0.000098$ $V_{br} = -1.571306$ $m = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.325000$ $I_0(\mu A) = 0.000514$ $n = 1.174368$ $R_s(\text{ohms}) = 2.300053$ $R_p(\text{ohms}) = 1999.999823$ $RMSE = 0.001845$	
Com Sujidade			
Todas as curvas corrigidas para stc 	Dados da Curva IV $V_{mp} = 18.9696$ $I_{mp} = 0.2740$ $V_{oc} = 21.9521$ $I_{sc} = 0.3158$ $E = 1000$ $T_c = 25$		
Vd JUNG 	Vd QUASCHNING 	Vd Bishop 	

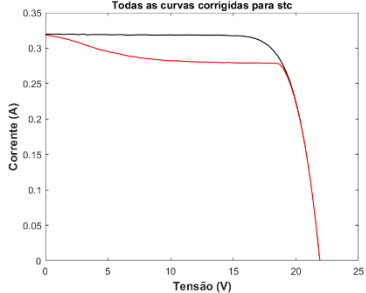
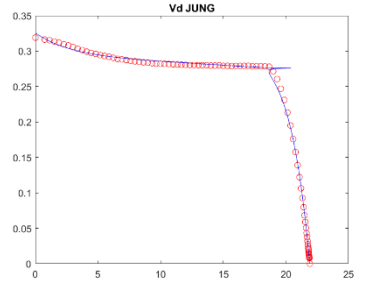
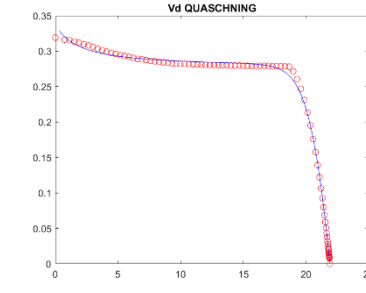
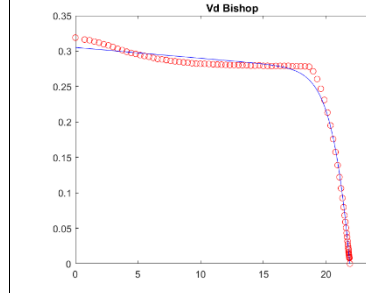
VD_JUNG Ishade = 0.274504 Vb = 42.734491 alfa = 0.000001 beta = 9.659655 gama = 0.000000 Iph(A) = 0.290348 I0(uA) = 0.013912 n = 1.407046 Rs(ohms) = 0.788732 Rp(ohms) = 1529.041184 RMSE = 0.002088	VD_QUASCHNING a = 0.100000 Vbr = -1.336647 m = 1.104650 I02(uA) = 0.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.378974 I0(uA) = 0.000014 n = 1.000000 Rs(ohms) = 2.337111 Rp(ohms) = 10000.000000 RMSE = 0.003797	VD_BISHOP a = 0.000094 Vbr = -11.186085 m = 2.000000 Iph(A) = 0.298876 I0(uA) = 0.000160 n = 1.115310 Rs(ohms) = 1.373910 Rp(ohms) = 914.862533 RMSE = 0.005948
---	--	--

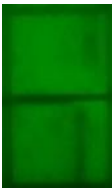
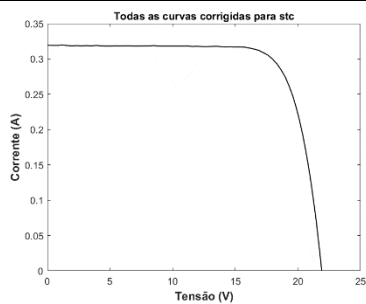
Experimento IV - Módulo A - Célula 20		
Sem Sujidade		
		Dados da Curva IV Vmp = 18.1271 Imp = 0.2968 Voc = 21.9068 Isc = 0.3189 E = 1000 Tc = 25
		
VD_JUNG Ishade = 0.316168 Vb = 41.718014 alfa = 0.000000 beta = 0.976484 gama = 0.000000 Iph(A) = 0.319112 I0(uA) = 0.007180 n = 1.344744 Rs(ohms) = 1.981563 Rp(ohms) = 9969.671297 RMSE = 0.000469	VD_QUASCHNING a = 0.100000 Vbr = -1.915792 m = 1.695441 I02(uA) = 0.237069 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.382654 I0(uA) = 0.000014 n = 1.000000 Rs(ohms) = 3.022772 Rp(ohms) = 553.692701 RMSE = 0.002076	VD_BISHOP a = 0.000094 Vbr = -2.070628 m = 2.000000 Iph(A) = 0.323226 I0(uA) = 0.000821 n = 1.198842 Rs(ohms) = 2.383753 Rp(ohms) = 1998.556180 RMSE = 0.001787
Com Sujidade		
	Dados da Curva IV Vmp = 18.7414 Imp = 0.2766 Voc = 21.9022 Isc = 0.3070 E = 1000 Tc = 25	

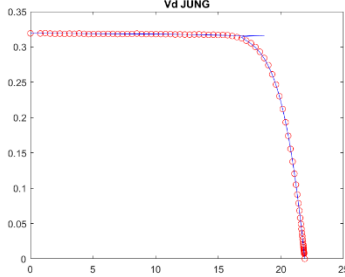
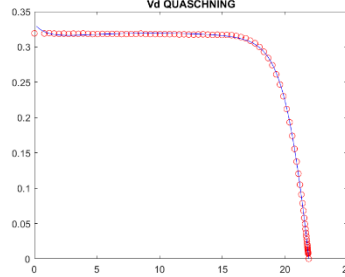
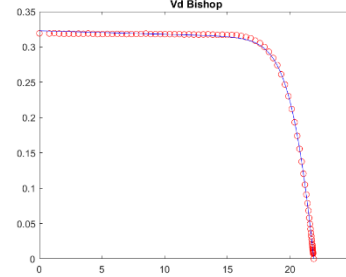
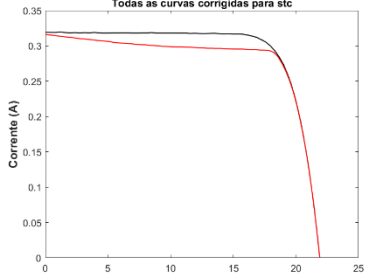
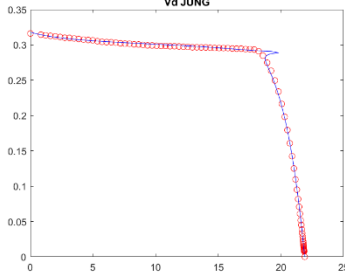
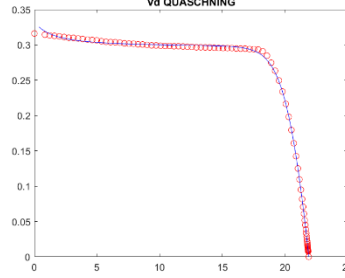
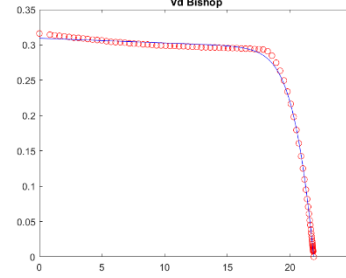
		
VD_JUNG Ishade = 0.277309 Vb = 39.717538 alfa = 0.000000 beta = 9.913029 gama = 0.000000 Iph(A) = 0.290467 I0(uA) = 0.022621 n = 1.445531 Rs(ohms) = 0.736665 Rp(ohms) = 1914.065396 RMSE = 0.002184	VD_QUASCHNING a = 0.100000 Vbr = -1.208781 m = 1.117739 I02(uA) = 0.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.368432 I0(uA) = 0.000015 n = 1.000000 Rs(ohms) = 2.559003 Rp(ohms) = 10000.000000 RMSE = 0.003391	VD_BISHOP a = 0.000096 Vbr = -12.417850 m = 2.000000 Iph(A) = 0.293681 I0(uA) = 0.000089 n = 1.082288 Rs(ohms) = 1.895762 Rp(ohms) = 1611.870713 RMSE = 0.004498

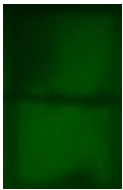
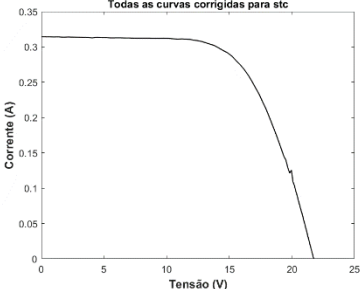
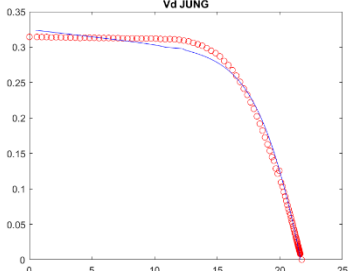
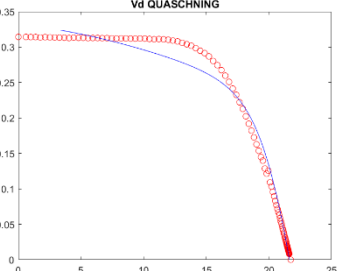
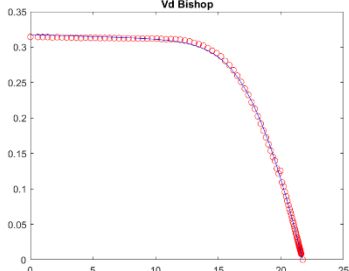
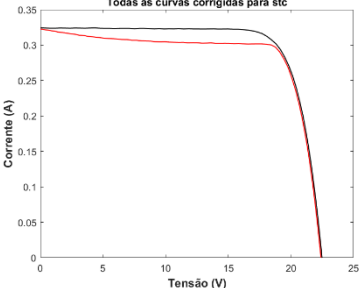
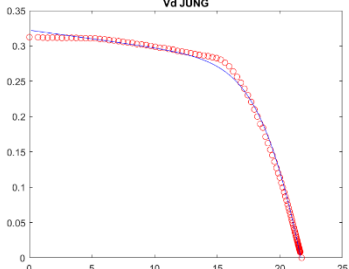
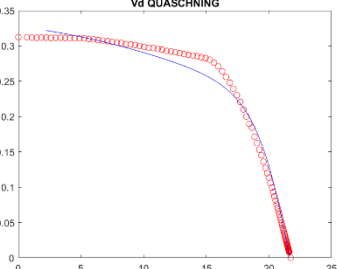
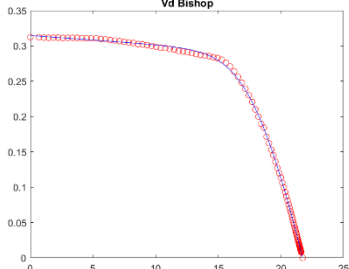
Experimento IV - Módulo A - Célula 22		
Sem Sujidade		
	 Todas as curvas corrigidas para stc	Dados da Curva IV Vmp = 18.1318 Imp = 0.2987 Voc = 21.9179 Isc = 0.3192 E = 1000 Tc = 25
		
VD_JUNG Ishade = 0.315942 Vb = 36.165808 alfa = 0.000000 beta = 0.519088 gama = 0.000000 Iph(A) = 0.319346 I0(uA) = 0.006096 n = 1.332610 Rs(ohms) = 1.860472 Rp(ohms) = 8161.682485 RMSE = 0.000899	VD_QUASCHNING a = 0.100000 Vbr = -1.994444 m = 1.736406 I02(uA) = 0.116379 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.383073 I0(uA) = 0.000015 n = 1.000000 Rs(ohms) = 2.985104 Rp(ohms) = 515.711509 RMSE = 0.002393	VD_BISHOP a = 0.000089 Vbr = -1.294939 m = 2.000000 Iph(A) = 0.323125 I0(uA) = 0.000480 n = 1.167437 Rs(ohms) = 2.362617 Rp(ohms) = 1999.419031 RMSE = 0.002004
Com Sujidade		



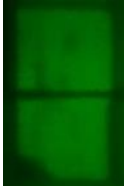
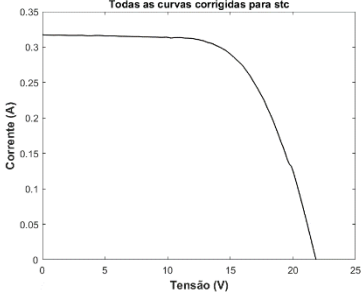
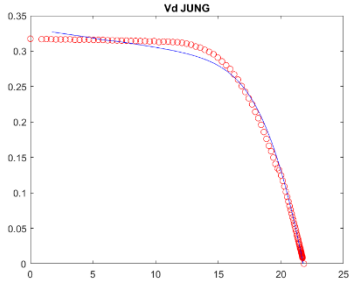
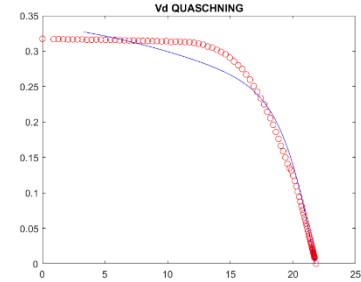
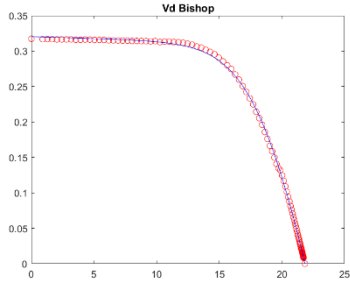
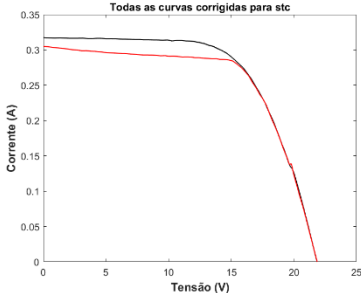
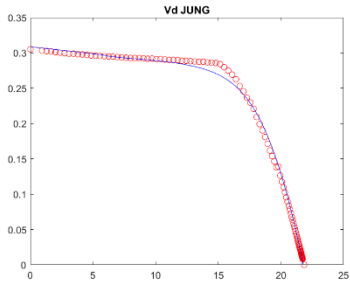
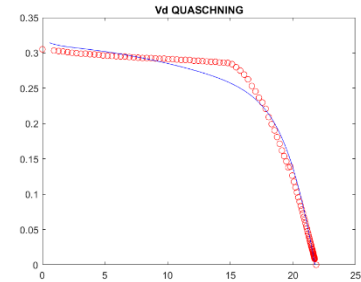
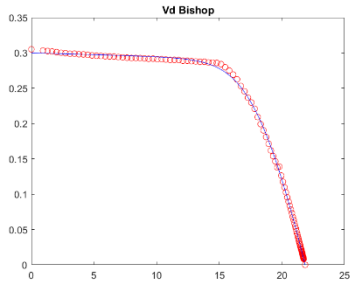
gama = 0.000000 Iph(A) = 0.319754 I0(uA) = 0.004474 n = 1.309856 Rs(ohms) = 2.014410 Rp(ohms) = 9530.808687 RMSE = 0.000435	n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.383605 I0(uA) = 0.000015 n = 1.000000 Rs(ohms) = 2.994255 Rp(ohms) = 535.506824 RMSE = 0.002109	I0(uA) = 0.000317 n = 1.143972 Rs(ohms) = 2.526277 Rp(ohms) = 1999.978698 RMSE = 0.001737
Com Sujidade		
	Dados da Curva IV Vmp = 18.6580 Imp = 0.2780 Voc = 21.9193 Isc = 0.3190 E =1000 Tc = 25	
		
VD_JUNG Ishade = 0.276063 Vb = 43.383869 alfa = 0.000009 beta = 6.804807 gama = 0.000000 Iph(A) = 0.292173 I0(uA) = 0.013677 n = 1.403691 Rs(ohms) = 0.831909 Rp(ohms) = 1301.363092 RMSE = 0.002675	VD_QUASCHNING a = 0.100000 Vbr = -1.094048 m = 1.014391 I02(uA) = 0.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.382823 I0(uA) = 0.000014 n = 1.000000 Rs(ohms) = 2.361027 Rp(ohms) = 10000.000000 RMSE = 0.004368	VD_BISHOP a = 0.000098 Vbr = -10.170245 m = 2.000000 Iph(A) = 0.305750 I0(uA) = 0.000251 n = 1.138363 Rs(ohms) = 1.317482 Rp(ohms) = 655.148767 RMSE = 0.006514

Experimento IV - Módulo A - Célula 32		
Sem Sujidade		
		Dados da Curva IV Vmp = 17.9675 Imp = 0.2999 Voc = 21.9056 Isc = 0.3192 E =1000 Tc = 25

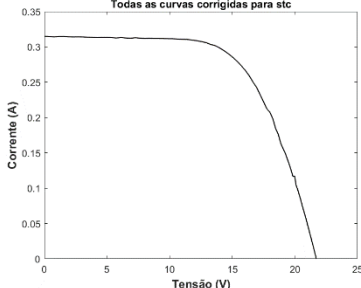
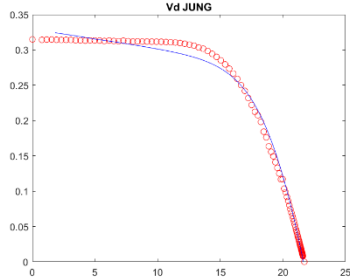
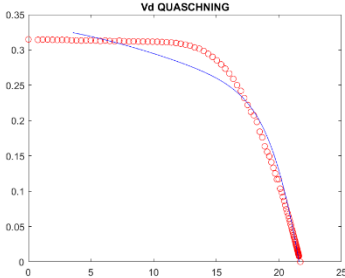
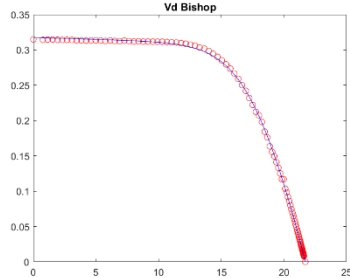
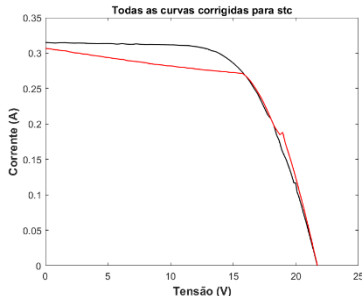
		
VD_JUNG Ishade = 0.316065 Vb = 32.102862 alfa = 0.000000 beta = 2.364627 gama = 0.000000 Iph(A) = 0.319396 I0(uA) = 0.008145 n = 1.354148 Rs(ohms) = 1.904832 Rp(ohms) = 9186.165582 RMSE = 0.000495	VD_QUASCHNING a = 0.100000 Vbr = -1.924843 m = 1.692272 I02(uA) = 0.208421 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.383431 I0(uA) = 0.000015 n = 1.000000 Rs(ohms) = 3.015806 Rp(ohms) = 548.387676 RMSE = 0.002116	VD_BISHOP a = 0.000086 Vbr = -1.575526 m = 2.000000 Iph(A) = 0.323315 I0(uA) = 0.000518 n = 1.171396 Rs(ohms) = 2.474780 Rp(ohms) = 1999.408601 RMSE = 0.001731
Com Sujidade		
	Dados da Curva IV Vmp = 18.2221 Imp = 0.2911 Voc = 21.9061 Isc = 0.3162 E = 1000 Tc = 25	
		
VD_JUNG Ishade = 0.289916 Vb = 39.073272 alfa = 0.000001 beta = 6.729493 gama = 0.000000 Iph(A) = 0.308087 I0(uA) = 0.082404 n = 1.563498 Rs(ohms) = 0.869241 Rp(ohms) = 1418.160961 RMSE = 0.001530	VD_QUASCHNING a = 0.100000 Vbr = -1.028615 m = 1.089359 I02(uA) = 0.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.379444 I0(uA) = 0.000015 n = 1.000000 Rs(ohms) = 2.921719 Rp(ohms) = 2933.137426 RMSE = 0.002760	VD_BISHOP a = 0.000091 Vbr = -13.302412 m = 2.000000 Iph(A) = 0.309851 I0(uA) = 0.000653 n = 1.188112 Rs(ohms) = 1.901035 Rp(ohms) = 1499.992472 RMSE = 0.003444

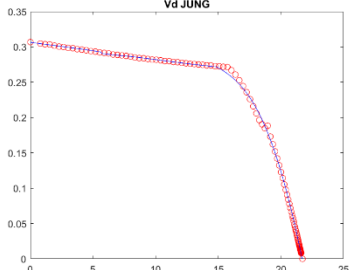
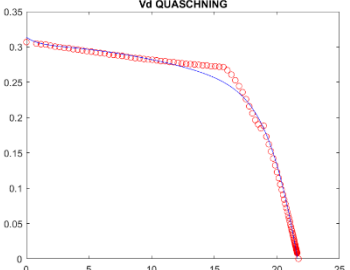
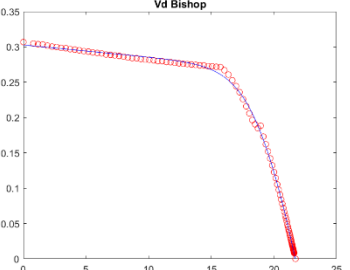
Experimento IV - Módulo B - Célula 2		
Sem Sujidade		
	 Todas as curvas corrigidas para stc	Dados da Curva IV $V_{mp} = 18.8177$ $I_{mp} = 0.3017$ $V_{oc} = 22.4880$ $I_{sc} = 0.3243$ $E = 1000$ $T_c = 25$
		
VD_JUNG $I_{shade} = 0.298430$ $V_b = 39.416772$ $\alpha = 0.010000$ $\beta = 0.000000$ $\gamma = 0.010000$ $I_{ph}(A) = 0.298939$ $I_0(uA) = 2.332006$ $n = 2.000000$ $R_s(ohms) = 5.000000$ $R_p(ohms) = 1456.193957$ $RMSE = 0.009188$	VD_QUASCHNING $a = 0.100000$ $V_{br} = -2.113292$ $m = 2.000000$ $I_{02}(uA) = 1.000000$ $n_2 = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.401582$ $I_0(uA) = 0.000008$ $n = 1.000000$ $R_s(ohms) = 5.000000$ $R_p(ohms) = 148.657040$ $RMSE = 0.016509$	VD_BISHOP $a = 0.000100$ $V_{br} = -2.701188$ $m = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.318814$ $I_0(uA) = 0.793225$ $n = 1.826037$ $R_s(ohms) = 8.534889$ $R_p(ohms) = 2000.000000$ $RMSE = 0.003096$
Com Sujidade		
 Todas as curvas corrigidas para stc	Dados da Curva IV $V_{mp} = 18.7575$ $I_{mp} = 0.2973$ $V_{oc} = 22.4016$ $I_{sc} = 0.3227$ $E = 1000$ $T_c = 25$	
		
VD_JUNG $I_{shade} = 0.311042$ $V_b = 40.686209$ $\alpha = 0.010000$ $\beta = 0.000000$ $\gamma = 0.010000$ $I_{ph}(A) = 0.311715$	VD_QUASCHNING $a = 0.100000$ $V_{br} = -2.091411$ $m = 2.000000$ $I_{02}(uA) = 1.000000$ $n_2 = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.395406$	VD_BISHOP $a = 0.000040$ $V_{br} = -14.653762$ $m = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.318290$ $I_0(uA) = 0.095364$ $n = 1.573593$

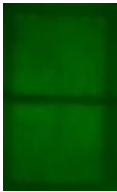
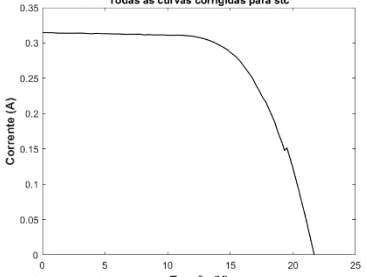
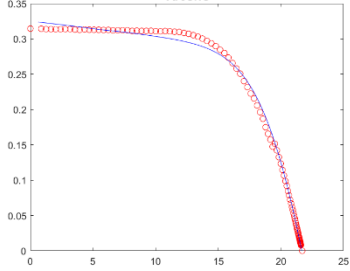
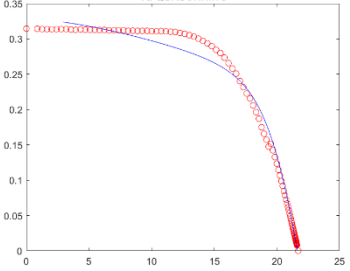
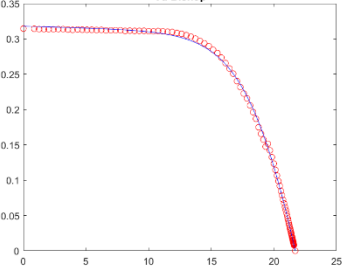
$I_0(\mu A) = 2.243382$ $n = 2.000000$ $R_s(\text{ohms}) = 5.000000$ $R_p(\text{ohms}) = 565.055446$ $RMSE = 0.006706$	$I_0(\mu A) = 0.000008$ $n = 1.000000$ $R_s(\text{ohms}) = 5.000000$ $R_p(\text{ohms}) = 148.568725$ $RMSE = 0.013639$	$R_s(\text{ohms}) = 9.077651$ $R_p(\text{ohms}) = 780.338319$ $RMSE = 0.002033$
--	--	---

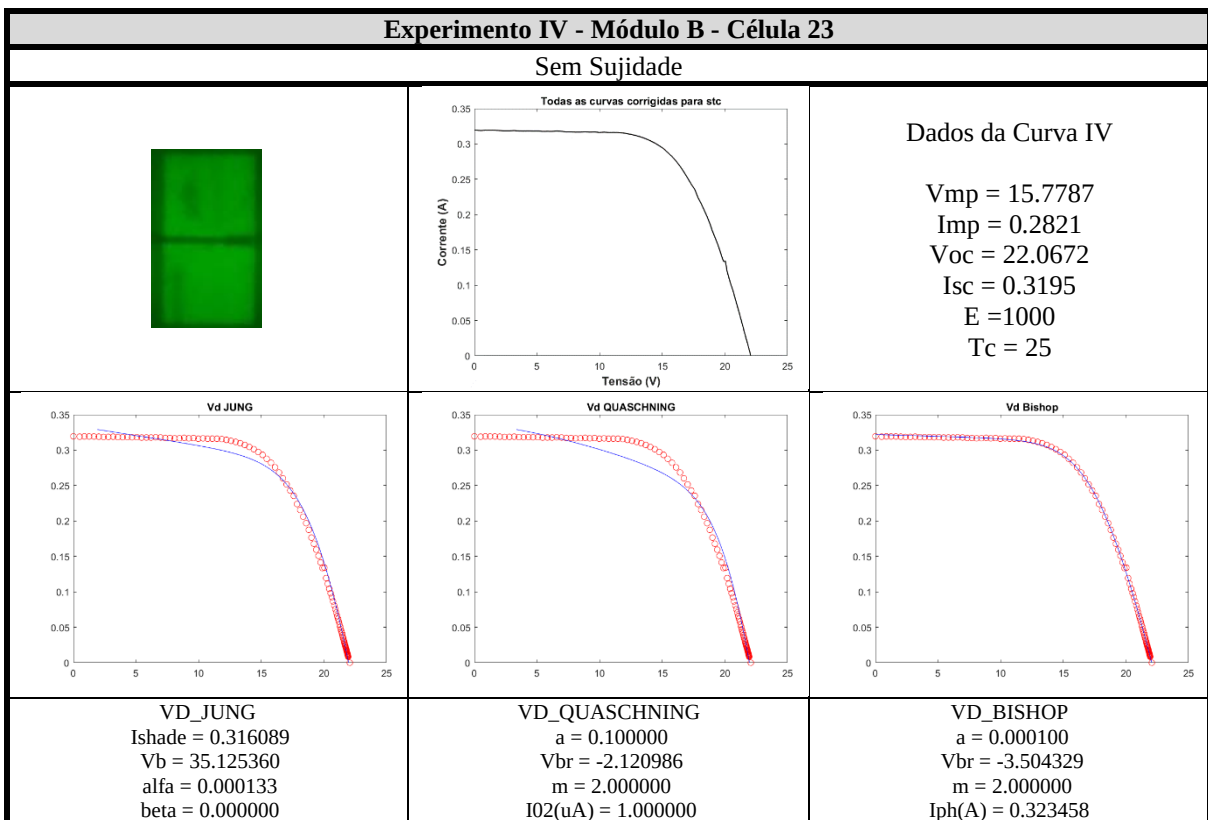
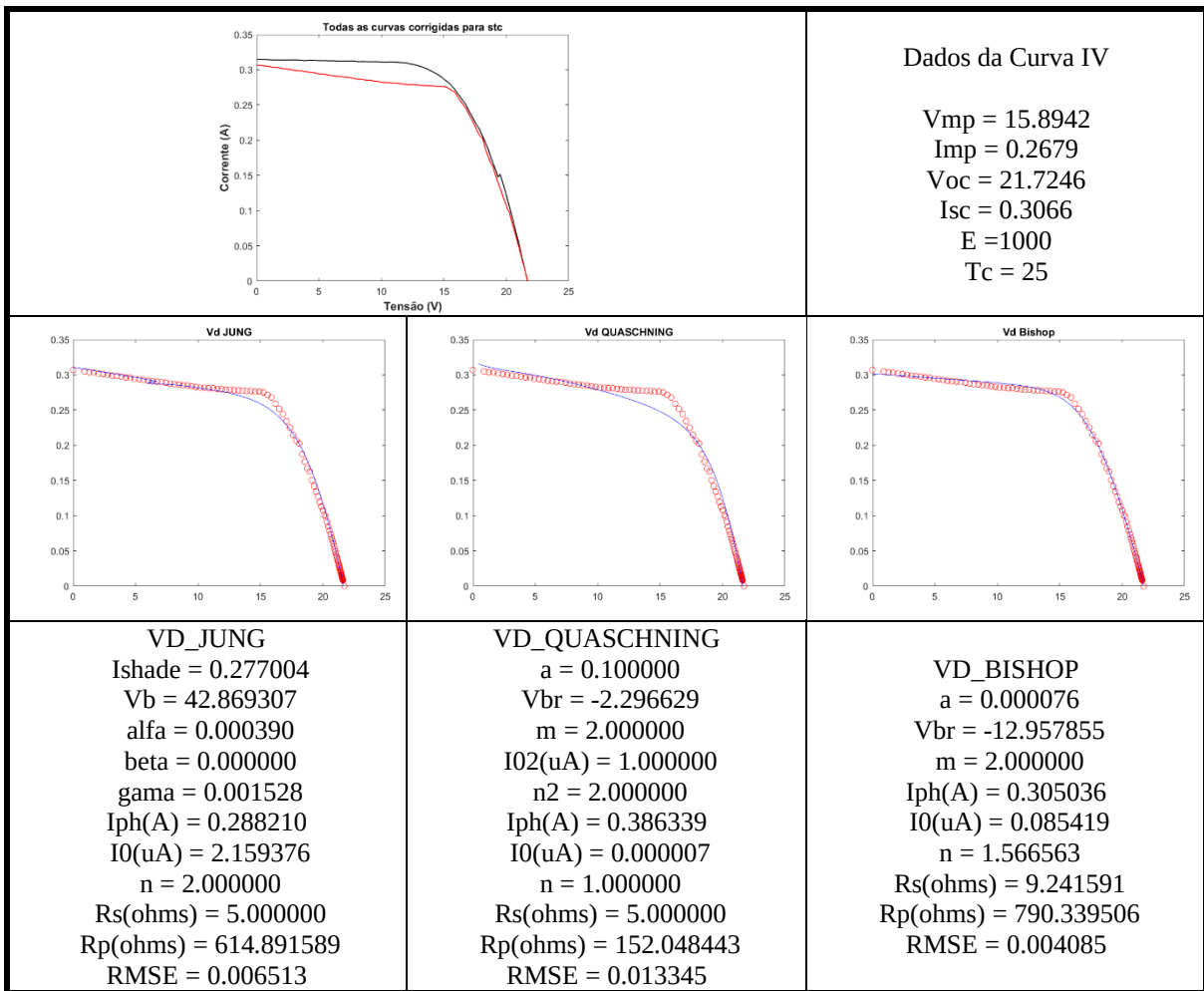
Experimento IV - Módulo B - Célula 10		
Sem Sujidade		
		Dados da Curva IV $V_{mp} = 15.9501$ $I_{mp} = 0.2747$ $V_{oc} = 21.8436$ $I_{sc} = 0.3175$ $E = 1000$ $T_c = 25$
		
VD_JUNG $I_{shade} = 0.313156$ $V_b = 43.663578$ $\alpha = 0.001690$ $\beta = 0.000000$ $\gamma = 0.003384$ $I_{ph}(A) = 0.316496$ $I_0(\mu A) = 2.178323$ $n = 2.000000$ $R_s(\text{ohms}) = 5.000000$ $R_p(\text{ohms}) = 600.418241$ $RMSE = 0.008281$	VD_QUASCHNING $a = 0.100000$ $V_{br} = -2.165463$ $m = 2.000000$ $I_{02}(\mu A) = 1.000000$ $n_2 = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.406192$ $I_0(\mu A) = 0.000007$ $n = 1.000000$ $R_s(\text{ohms}) = 5.000000$ $R_p(\text{ohms}) = 148.221449$ $RMSE = 0.015142$	VD_BISHOP $a = 0.000100$ $V_{br} = -3.165414$ $m = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.321539$ $I_0(\mu A) = 4.222181$ $n = 2.107563$ $R_s(\text{ohms}) = 7.227457$ $R_p(\text{ohms}) = 2000.000000$ $RMSE = 0.003058$
Com Sujidade		
	Dados da Curva IV $V_{mp} = 15.7932$ $I_{mp} = 0.2750$ $V_{oc} = 21.8569$ $I_{sc} = 0.3052$ $E = 1000$ $T_c = 25$	
		

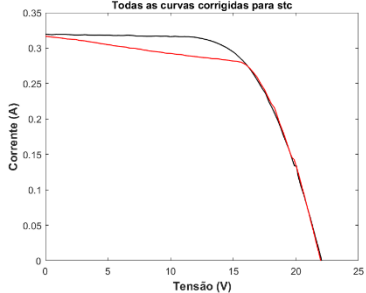
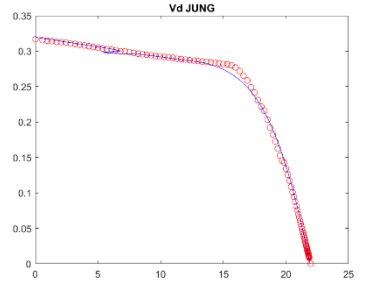
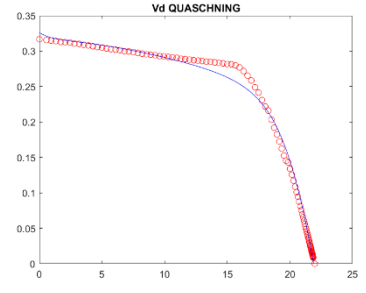
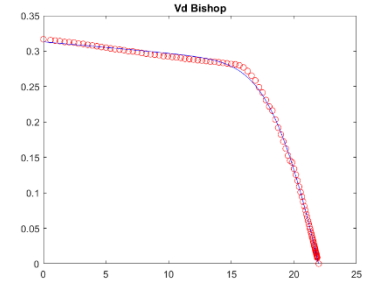
VD_JUNG Ishade = 0.287495 Vb = 33.644755 alfa = 0.000140 beta = 0.000000 gama = 0.001245 Iph(A) = 0.294538 I0(uA) = 2.113179 n = 2.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 872.144700 RMSE = 0.006194	VD_QUASCHNING a = 0.100000 Vbr = -2.294483 m = 2.000000 I02(uA) = 1.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.384109 I0(uA) = 0.000007 n = 1.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 171.521564 RMSE = 0.013272	VD_BISHOP a = 0.000079 Vbr = -13.473604 m = 2.000000 Iph(A) = 0.301449 I0(uA) = 0.102668 n = 1.590467 Rs(ohms) = 8.849769 Rp(ohms) = 1936.184598 RMSE = 0.003270
--	--	---

Experimento IV - Módulo B - Célula 11		
Sem Sujidade		
	 Todas as curvas corrigidas para stc	Dados da Curva IV Vmp = 15.3881 Imp = 0.2795 Voc = 21.7121 Isc = 0.3150 E =1000 Tc = 25
		
VD_JUNG Ishade = 0.311181 Vb = 31.469571 alfa = 0.000005 beta = 0.000000 gama = 0.004981 Iph(A) = 0.314959 I0(uA) = 2.310142 n = 2.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 535.402586 RMSE = 0.009622	VD_QUASCHNING a = 0.100000 Vbr = -2.130249 m = 2.000000 I02(uA) = 1.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.405445 I0(uA) = 0.000008 n = 1.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 139.912291 RMSE = 0.016890	VD_BISHOP a = 0.000100 Vbr = -3.491063 m = 2.000000 Iph(A) = 0.318862 I0(uA) = 1.114400 n = 1.874206 Rs(ohms) = 8.777466 Rp(ohms) = 2000.000000 RMSE = 0.002547
Com Sujidade		
 Todas as curvas corrigidas para stc	Dados da Curva IV Vmp = 16.0477 Imp = 0.2670 Voc = 21.7227 Isc = 0.3068 E =1000 Tc = 25	

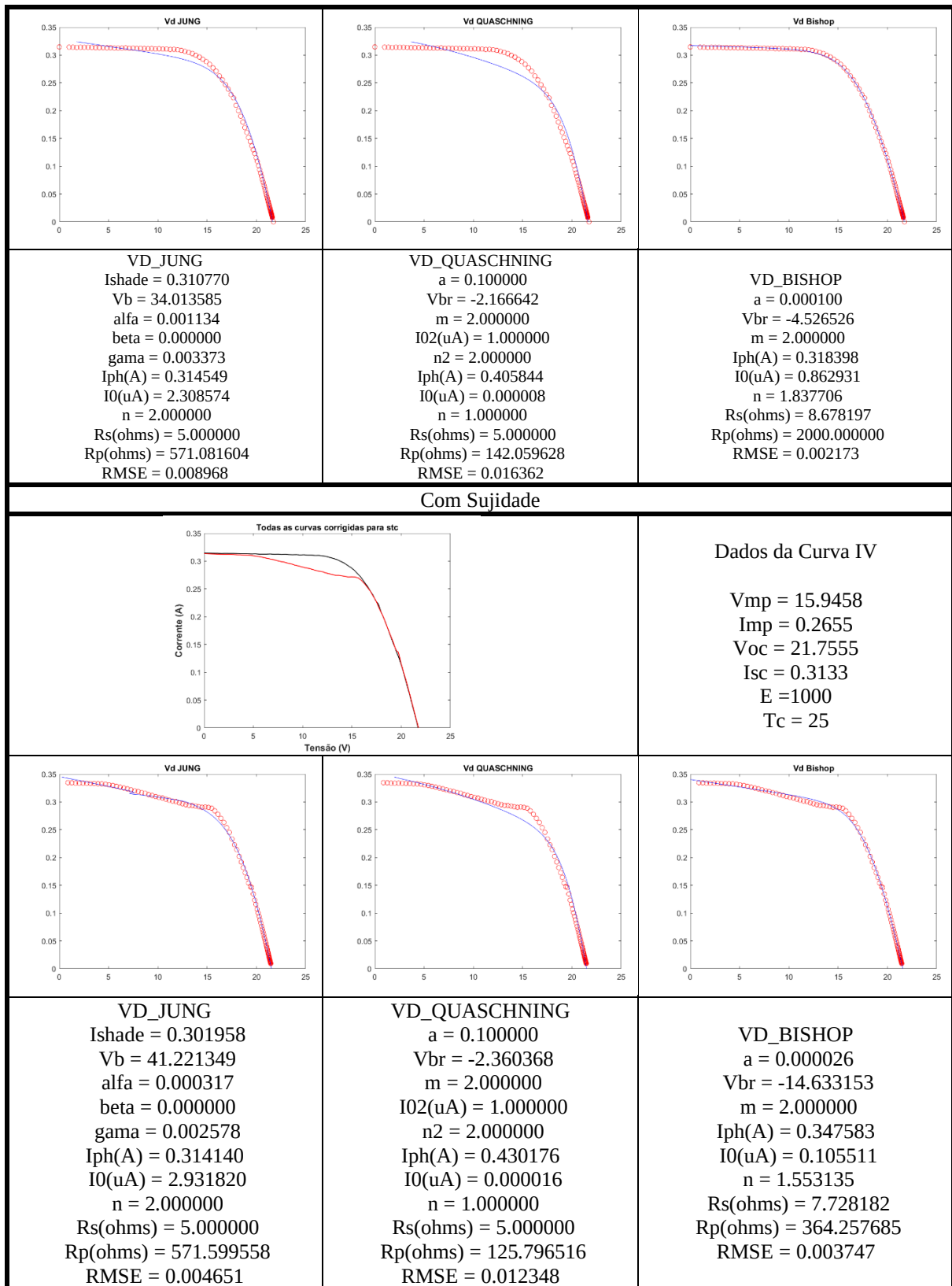
		
VD_JUNG Ishade = 0.272284 Vb = 40.779655 alfa = 0.000065 beta = 0.000000 gama = 0.000705 Iph(A) = 0.289978 I0(uA) = 2.229814 n = 2.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 722.680075 RMSE = 0.002388	VD_QUASCHNING a = 0.100000 Vbr = -2.440730 m = 2.000000 I02(uA) = 1.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.380506 I0(uA) = 0.000008 n = 1.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 182.427970 RMSE = 0.008415	VD_BISHOP a = 0.000038 Vbr = -12.452228 m = 2.000000 Iph(A) = 0.306255 I0(uA) = 0.099774 n = 1.584943 Rs(ohms) = 6.730871 Rp(ohms) = 579.967641 RMSE = 0.003733

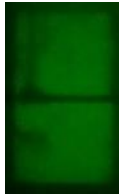
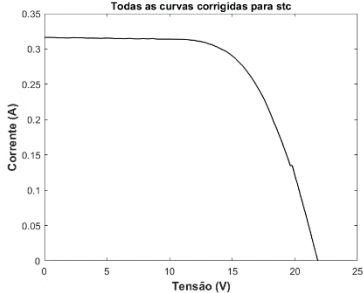
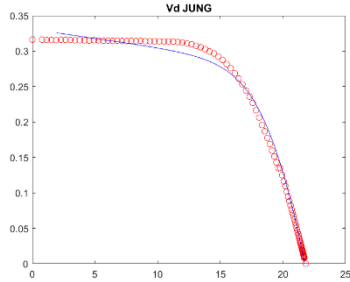
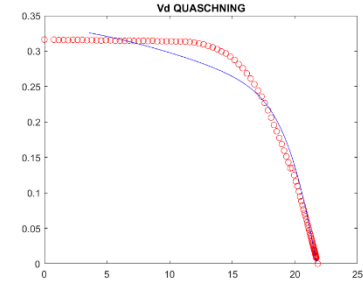
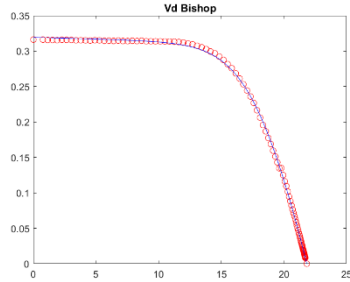
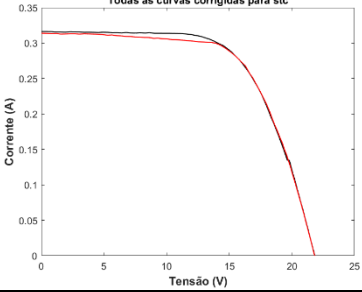
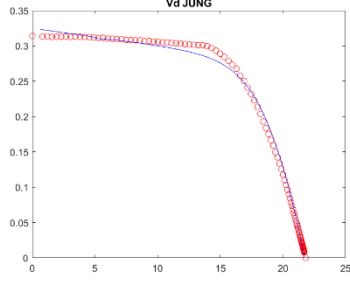
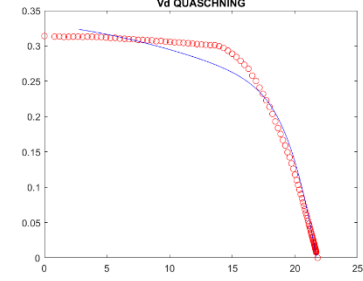
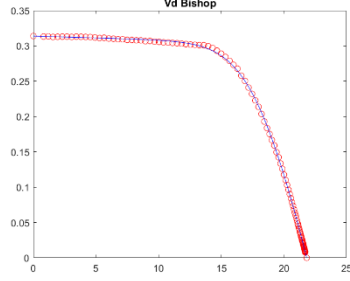
Experimento IV - Módulo B - Célula 12		
Sem Sujidade		
		Dados da Curva IV Vmp = 15.4874 Imp = 0.2800 Voc = 21.7052 Isc = 0.3146 E = 1000 Tc = 25
		
VD_JUNG Ishade = 0.310726 Vb = 27.355634 alfa = 0.000885 beta = 0.000000 gama = 0.002834 Iph(A) = 0.313719 I0(uA) = 2.343759 n = 2.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 715.880461 RMSE = 0.006702	VD_QUASCHNING a = 0.100000 Vbr = -2.137735 m = 2.000000 I02(uA) = 1.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.399540 I0(uA) = 0.000009 n = 1.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 156.501839 RMSE = 0.013663	VD_BISHOP a = 0.000100 Vbr = -3.001440 m = 2.000000 Iph(A) = 0.318927 I0(uA) = 13.531057 n = 2.338706 Rs(ohms) = 5.520244 Rp(ohms) = 2000.000000 RMSE = 0.003560
Com Sujidade		



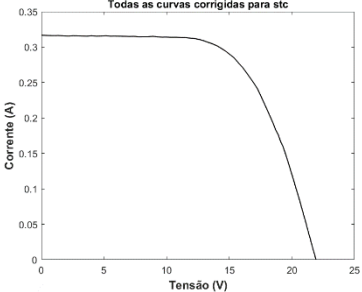
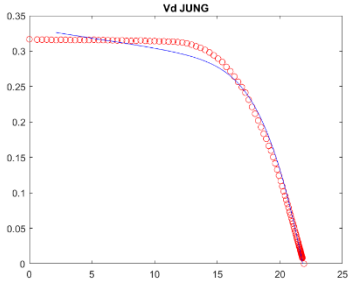
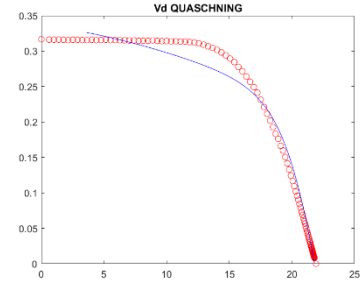
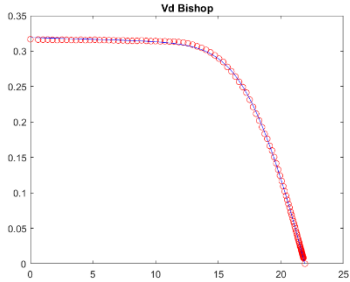
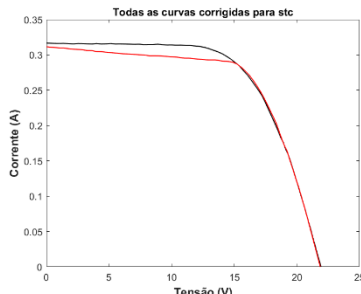
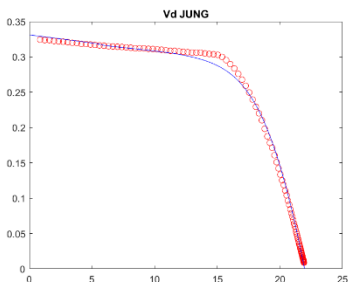
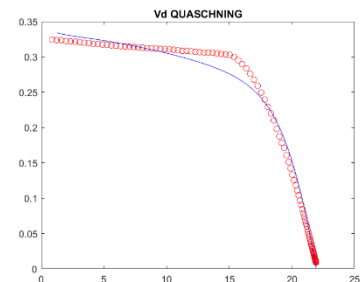
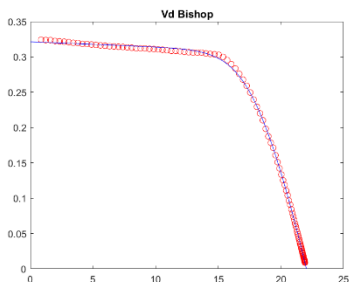
gama = 0.006063 Iph(A) = 0.319234 I0(uA) = 1.949051 n = 2.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 538.083883 RMSE = 0.010335	n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.407416 I0(uA) = 0.000005 n = 1.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 147.111388 RMSE = 0.016593	I0(uA) = 0.456343 n = 1.775280 Rs(ohms) = 9.336394 Rp(ohms) = 2000.000000 RMSE = 0.002225
Com Sujidade		
	Dados da Curva IV Vmp = 16.3001 Imp = 0.2719 Voc = 21.9832 Isc = 0.3167 E = 1000 Tc = 25	
		
VD_JUNG Ishade = 0.284381 Vb = 27.607751 alfa = 0.000024 beta = 0.000000 gama = 0.001440 Iph(A) = 0.296983 I0(uA) = 1.974031 n = 2.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 715.149866 RMSE = 0.004422	VD_QUASCHNING a = 0.100000 Vbr = -2.318082 m = 2.000000 I02(uA) = 1.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.391915 I0(uA) = 0.000005 n = 1.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 168.584251 RMSE = 0.010723	VD_BISHOP a = 0.000058 Vbr = -13.557104 m = 2.000000 Iph(A) = 0.315954 I0(uA) = 0.369543 n = 1.751991 Rs(ohms) = 7.213785 Rp(ohms) = 697.521683 RMSE = 0.003784

Experimento IV - Módulo B - Célula 24		
Sem Sujidade		
		Dados da Curva IV Vmp = 15.2557 Imp = 0.2833 Voc = 21.7294 Isc = 0.3145 E = 1000 Tc = 25

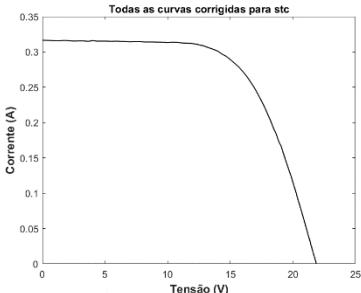
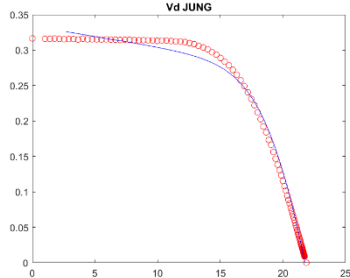
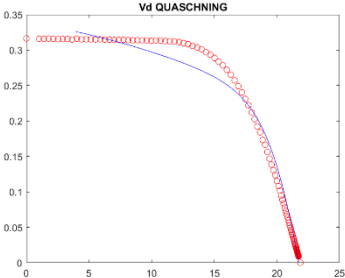
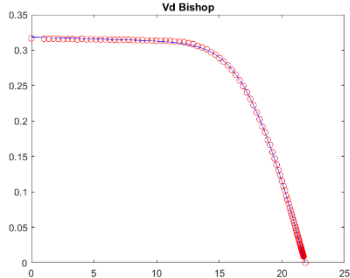
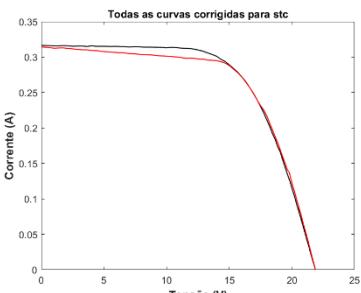


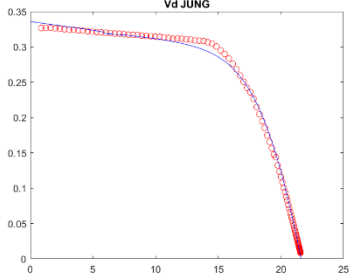
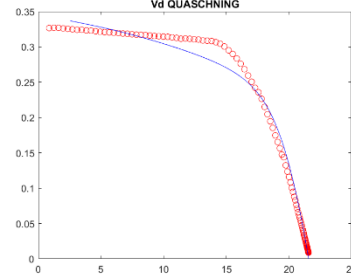
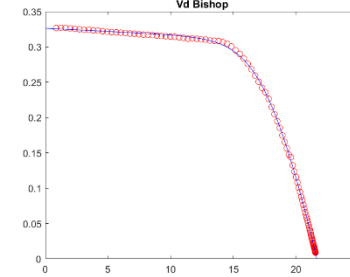
Experimento IV - Módulo B - Célula 28		
Sem Sujidade		
		Dados da Curva IV $V_{mp} = 15.8353$ $I_{mp} = 0.2759$ $V_{oc} = 21.8287$ $I_{sc} = 0.3163$ $E = 1000$ $T_c = 25$
		
VD_JUNG $I_{shade} = 0.313365$ $V_b = 35.141367$ $\alpha = 0.000002$ $\beta = 0.000000$ $\gamma = 0.007223$ $I_{ph}(A) = 0.315757$ $I_0(uA) = 2.200131$ $n = 2.000000$ $R_s(ohms) = 5.000000$ $R_p(ohms) = 592.574574$ $RMSE = 0.009265$	VD_QUASCHNING $a = 0.100000$ $V_{br} = -2.145170$ $m = 2.000000$ $I_{02}(uA) = 1.000000$ $n_2 = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.406051$ $I_0(uA) = 0.000007$ $n = 1.000000$ $R_s(ohms) = 5.000000$ $R_p(ohms) = 144.884978$ $RMSE = 0.016328$	VD_BISHOP $a = 0.000100$ $V_{br} = -3.809143$ $m = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.320854$ $I_0(uA) = 1.415917$ $n = 1.918922$ $R_s(ohms) = 8.353268$ $R_p(ohms) = 2000.000000$ $RMSE = 0.002868$
Com Sujidade		
	Dados da Curva IV $V_{mp} = 15.6577$ $I_{mp} = 0.2790$ $V_{oc} = 21.8205$ $I_{sc} = 0.3140$ $E = 1000$ $T_c = 25$	
		
VD_JUNG $I_{shade} = 0.304238$ $V_b = 39.734066$ $\alpha = 0.000000$ $\beta = 0.000000$ $\gamma = 0.002345$ $I_{ph}(A) = 0.310794$	VD_QUASCHNING $a = 0.100000$ $V_{br} = -2.159343$ $m = 2.000000$ $I_{02}(uA) = 1.000000$ $n_2 = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.400303$	VD_BISHOP $a = 0.000075$ $V_{br} = -12.969396$ $m = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.315301$ $I_0(uA) = 0.271803$ $n = 1.693554$

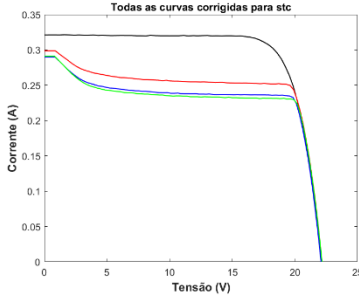
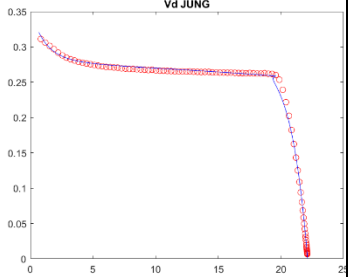
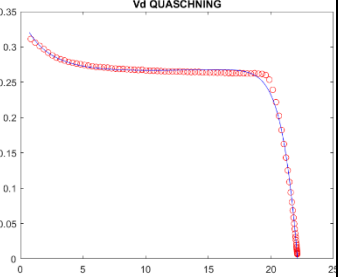
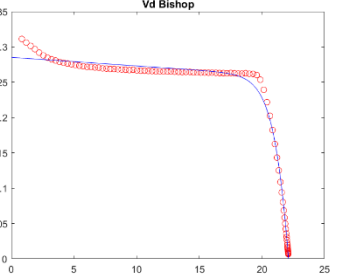
$I_0(\mu A) = 2.210913$ $n = 2.000000$ $R_s(\text{ohms}) = 5.000000$ $R_p(\text{ohms}) = 618.217965$ $RMSE = 0.008051$	$I_0(\mu A) = 0.000007$ $n = 1.000000$ $R_s(\text{ohms}) = 5.000000$ $R_p(\text{ohms}) = 150.498226$ $RMSE = 0.015244$	$R_s(\text{ohms}) = 9.027884$ $R_p(\text{ohms}) = 2000.000000$ $RMSE = 0.001663$
--	--	--

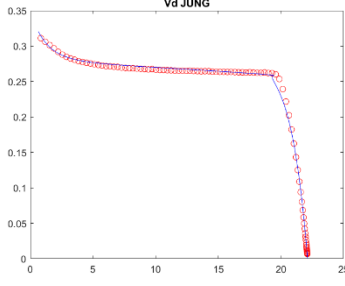
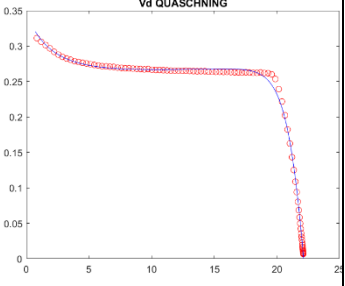
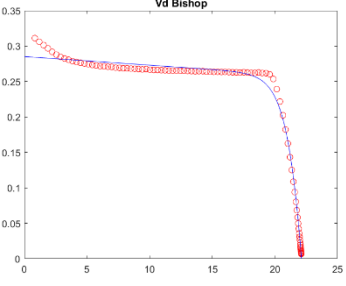
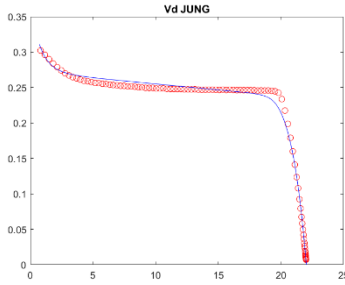
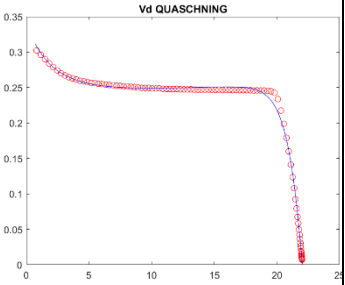
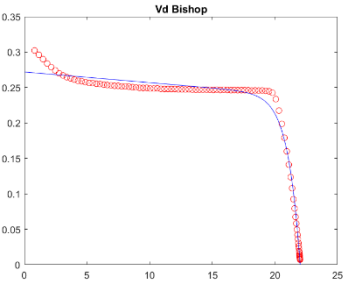
Experimento IV - Módulo B - Célula 29		
Sem Sujidade		
		Dados da Curva IV $V_{mp} = 15.3975$ $I_{mp} = 0.2846$ $V_{oc} = 21.9215$ $I_{sc} = 0.3167$ $E = 1000$ $T_c = 25$
		
VD_JUNG $I_{shade} = 0.313419$ $V_b = 31.125560$ $\alpha = 0.000104$ $\beta = 0.000000$ $\gamma = 0.006674$ $I_{ph}(A) = 0.316287$ $I_0(\mu A) = 2.101452$ $n = 2.000000$ $R_s(\text{ohms}) = 5.000000$ $R_p(\text{ohms}) = 552.775014$ $RMSE = 0.010082$	VD_QUASCHNING $a = 0.100000$ $V_{br} = -2.129084$ $m = 2.000000$ $I_{02}(\mu A) = 1.000000$ $n_2 = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.406483$ $I_0(\mu A) = 0.000006$ $n = 1.000000$ $R_s(\text{ohms}) = 5.000000$ $R_p(\text{ohms}) = 143.320769$ $RMSE = 0.016979$	VD_BISHOP $a = 0.000100$ $V_{br} = -5.217821$ $m = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.320718$ $I_0(\mu A) = 0.280476$ $n = 1.702282$ $R_s(\text{ohms}) = 9.602012$ $R_p(\text{ohms}) = 2000.000000$ $RMSE = 0.001746$
Com Sujidade		
	Dados da Curva IV $V_{mp} = 15.8696$ $I_{mp} = 0.2773$ $V_{oc} = 21.8677$ $I_{sc} = 0.3116$ $E = 1000$ $T_c = 25$	
		

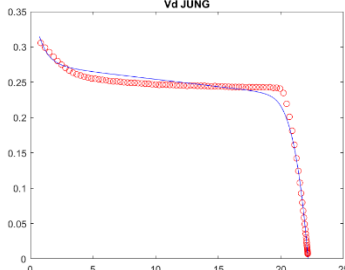
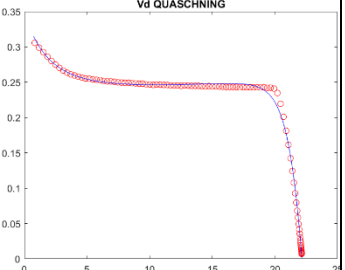
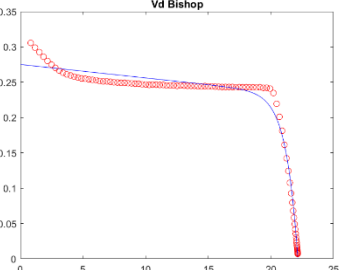
VD_JUNG Ishade = 0.306100 Vb = 43.041736 alfa = 0.000202 beta = 0.000000 gama = 0.001313 Iph(A) = 0.315462 I0(uA) = 1.938312 n = 2.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 729.592808 RMSE = 0.006743	VD_QUASCHNING a = 0.100000 Vbr = -2.553794 m = 2.000000 I02(uA) = 1.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.415904 I0(uA) = 0.000005 n = 1.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 159.671983 RMSE = 0.013645	VD_BISHOP a = 0.000050 Vbr = -13.924581 m = 2.000000 Iph(A) = 0.323545 I0(uA) = 0.024234 n = 1.463155 Rs(ohms) = 9.214382 Rp(ohms) = 1386.566559 RMSE = 0.002214
--	--	---

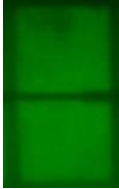
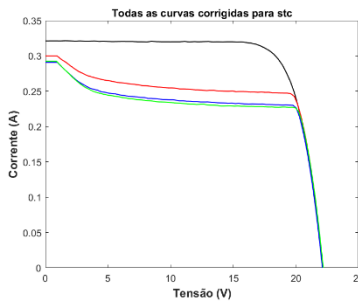
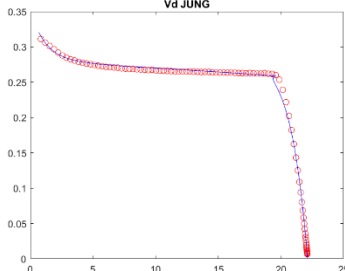
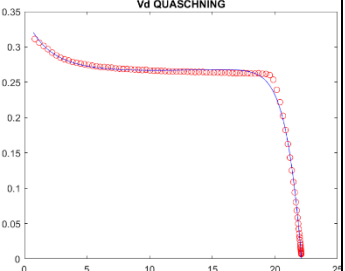
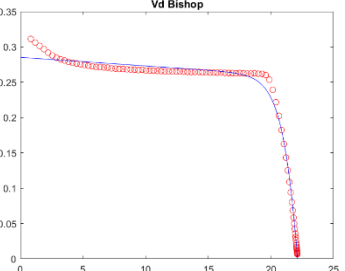
Experimento IV - Módulo B - Célula 35		
Sem Sujidade		
		Dados da Curva IV Vmp = 15.6850 Imp = 0.2786 Voc = 21.8728 Isc = 0.3165 E =1000 Tc = 25
		
VD_JUNG Ishade = 0.312793 Vb = 43.466667 alfa = 0.004912 beta = 0.000000 gama = 0.002394 Iph(A) = 0.315960 I0(uA) = 2.157473 n = 2.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 525.814884 RMSE = 0.010530	VD_QUASCHNING a = 0.100000 Vbr = -2.191200 m = 2.000000 I02(uA) = 1.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.411132 I0(uA) = 0.000007 n = 1.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 136.891136 RMSE = 0.017723	VD_BISHOP a = 0.000100 Vbr = -4.350406 m = 2.000000 Iph(A) = 0.320056 I0(uA) = 0.076198 n = 1.553011 Rs(ohms) = 10.412194 Rp(ohms) = 2000.000000 RMSE = 0.001321
Com Sujidade		
	Dados da Curva IV Vmp = 15.6988 Imp = 0.2776 Voc = 21.8826 Isc = 0.3144 E =1000 Tc = 25	

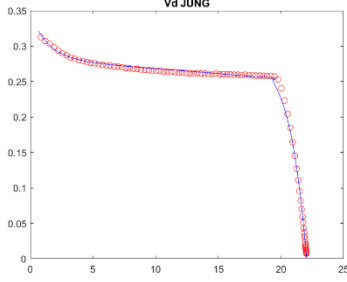
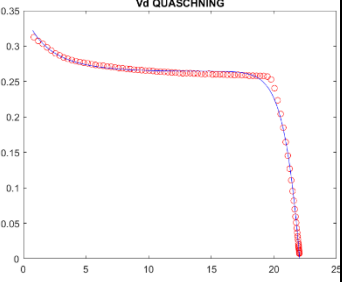
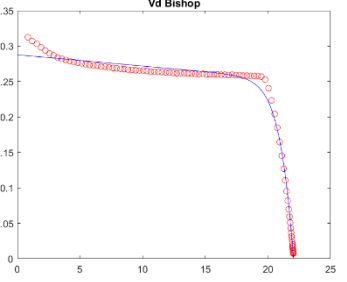
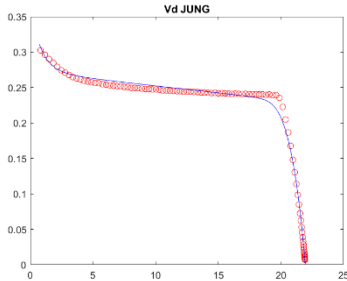
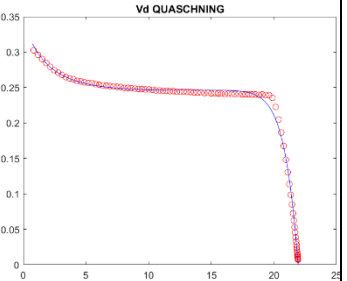
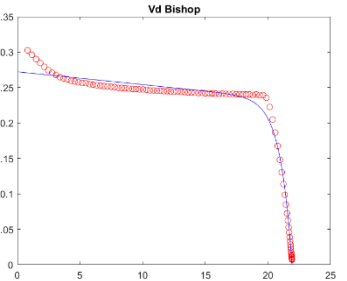
		
VD_JUNG Ishade = 0.311600 Vb = 41.477692 alfa = 0.000118 beta = 0.000000 gama = 0.001623 Iph(A) = 0.321171 I0(uA) = 2.849766 n = 2.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 628.856413 RMSE = 0.006339	VD_QUASCHNING a = 0.100000 Vbr = -2.445552 m = 2.000000 I02(uA) = 1.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.424670 I0(uA) = 0.000014 n = 1.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 136.576089 RMSE = 0.015561	VD_BISHOP a = 0.000035 Vbr = -13.914889 m = 2.000000 Iph(A) = 0.328854 I0(uA) = 0.128943 n = 1.576729 Rs(ohms) = 8.662880 Rp(ohms) = 1124.553343 RMSE = 0.001954

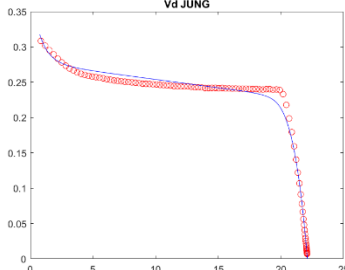
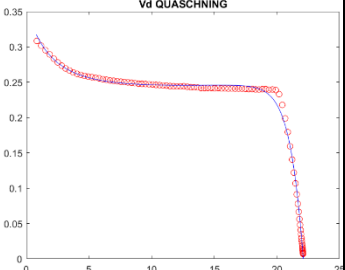
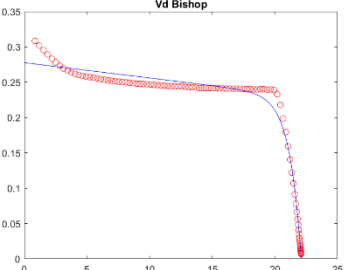
Experimento V - Módulo A - Célula 2					
Variação do espectro					
		S/Var	Vermelho	Azul	Verde
		Dados da Curva IV	Dados da Curva IV	Dados da Curva IV	Dados da Curva IV
		Vmp = 18.234 2 Imp = 0.3026 Voc = 22.115 0 Isc = 0.3212 E = 1000 Tc = 25	Vmp = 19.6080 3 Imp = 0.2498 Voc = 22.085 8 Isc = 0.2900 E = 1000 Tc = 25	Vmp = 19.844 3 Imp = 0.2327 Voc = 22.165 6 Isc = 0.2900 E = 1000 Tc = 25	Vmp = 19.921 1 Imp = 0.2295 Voc = 22.165 6 Isc = 0.2900 E = 1000 Tc = 25
Sem Variação					
					
VD_JUNG Ishade = 0.259496	VD_QUASCHNING a = 0.070360	VD_BISHOP a = 0.000100			

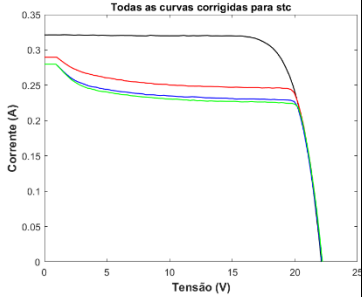
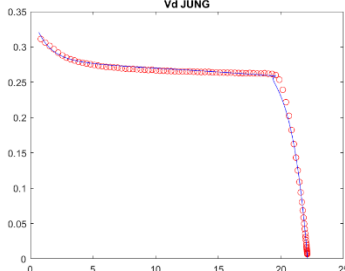
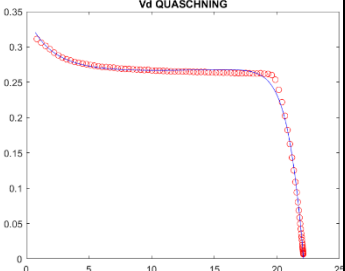
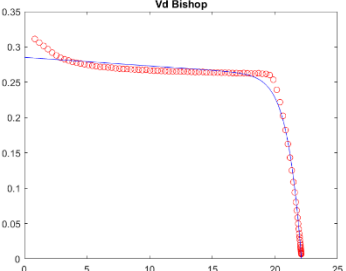
$V_b = 32.814414$ $\alpha = 0.000000$ $\beta = 9.844758$ $\gamma = 0.000000$ $I_{ph}(A) = 0.280170$ $I_0(uA) = 0.002324$ $n = 1.281173$ $R_s(ohms) = 0.444252$ $R_p(ohms) = 983.023366$ $RMSE = 0.002676$	$V_{br} = -2.969116$ $m = 1.286092$ $I_{02}(uA) = 0.000000$ $n_2 = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.373560$ $I_0(uA) = 0.000012$ $n = 1.000000$ $R_s(ohms) = 1.336845$ $R_p(ohms) = 10000.000000$ $RMSE = 0.004179$	$V_{br} = -10.414722$ $m = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.285534$ $I_0(uA) = 0.000012$ $n = 1.000000$ $R_s(ohms) = 0.893736$ $R_p(ohms) = 823.187705$ $RMSE = 0.007497$
Variação Vermelha		
		
VD_JUNG $I_{shade} = 0.259706$ $V_b = 33.574726$ $\alpha = 0.000000$ $\beta = 9.880697$ $\gamma = 0.000000$ $I_{ph}(A) = 0.280175$ $I_0(uA) = 0.002522$ $n = 1.286897$ $R_s(ohms) = 0.403139$ $R_p(ohms) = 980.823419$ $RMSE = 0.002690$	VD_QUASCHNING $a = 0.070360$ $V_{br} = -2.969116$ $m = 1.286092$ $I_{02}(uA) = 0.000000$ $n_2 = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.373560$ $I_0(uA) = 0.000012$ $n = 1.000000$ $R_s(ohms) = 1.336845$ $R_p(ohms) = 10000.000000$ $RMSE = 0.004179$	VD_BISHOP $a = 0.000100$ $V_{br} = -10.414732$ $m = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.285534$ $I_0(uA) = 0.000012$ $n = 1.000000$ $R_s(ohms) = 0.893702$ $R_p(ohms) = 823.183091$ $RMSE = 0.007497$
Variação Azul		
		
VD_JUNG $I_{shade} = 0.243508$ $V_b = 28.434873$ $\alpha = 0.000000$ $\beta = 9.848649$ $\gamma = 0.000000$ $I_{ph}(A) = 0.272070$ $I_0(uA) = 0.000971$ $n = 1.221174$ $R_s(ohms) = 0.397633$ $R_p(ohms) = 595.431486$ $RMSE = 0.004661$	VD_QUASCHNING $a = 0.073052$ $V_{br} = -3.225347$ $m = 1.324917$ $I_{02}(uA) = 0.000000$ $n_2 = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.362760$ $I_0(uA) = 0.000013$ $n = 1.000000$ $R_s(ohms) = 0.926400$ $R_p(ohms) = 10000.000000$ $RMSE = 0.004548$	VD_BISHOP $a = 0.000100$ $V_{br} = -10.244410$ $m = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.272070$ $I_0(uA) = 0.000012$ $n = 1.000000$ $R_s(ohms) = 0.249702$ $R_p(ohms) = 664.274730$ $RMSE = 0.008775$
Variação Verde		

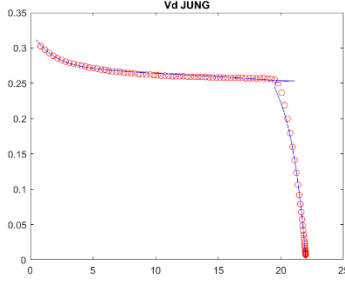
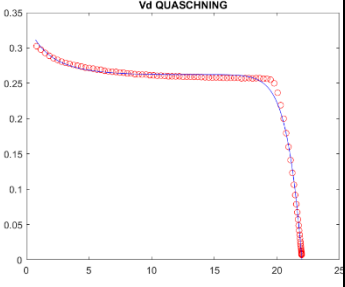
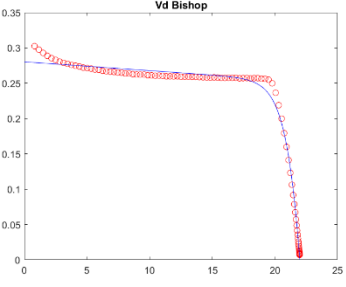
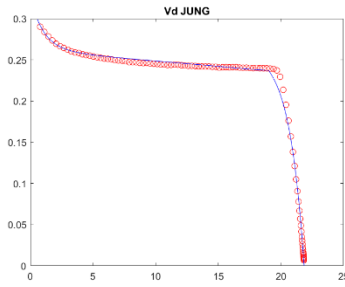
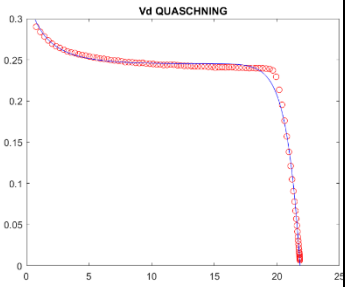
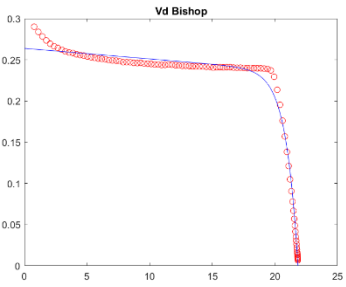
		
VD_JUNG Ishade = 0.241017 Vb = 28.203671 alfa = 0.000000 beta = 9.970274 gama = 0.000000 Iph(A) = 0.275131 I0(uA) = 0.000833 n = 1.221291 Rs(ohms) = 0.339851 Rp(ohms) = 480.984209 RMSE = 0.005837	VD_QUASCHNING a = 0.075332 Vbr = -3.282594 m = 1.318348 I02(uA) = 0.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.366840 I0(uA) = 0.000011 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.735570 Rp(ohms) = 10000.000000 RMSE = 0.004693	VD_BISHOP a = 0.000100 Vbr = -9.862174 m = 2.000000 Iph(A) = 0.275130 I0(uA) = 0.000010 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.000000 Rp(ohms) = 524.640827 RMSE = 0.009654

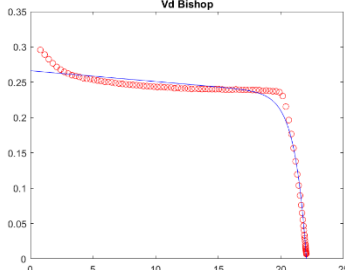
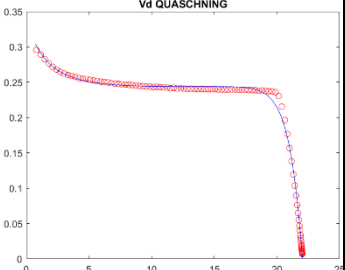
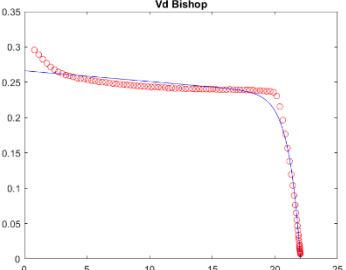
Experimento V - Módulo A - Célula 3					
Variação do espectro					
		S/Var	Vermel ha	Azul	Verde
		Dados da Curva IV	Dados da Curva IV	Dados da Curva IV	Dados da Curva IV
		Vmp = 18.234 2 Imp = 0.3026 Voc = 22.115 0 Isc = 0.3212 E = 1000 Tc = 25	Vmp = 19.5891 7 Imp = 0.2300 Voc = 22.116 3 Isc = 0.2300 E = 1000 Tc = 25	Vmp = 19.763 7 Imp = 0.2300 Voc = 22.116 3 Isc = 0.2908 E = 1000 Tc = 25	Vmp = 19.969 9 Imp = 0.2264 Voc = 22.184 0 Isc = 0.2924 E = 1000 Tc = 25
Sem Variação					
					
VD_JUNG Ishade = 0.259496	VD_QUASCHNING a = 0.070360	VD_BISHOP a = 0.000100			

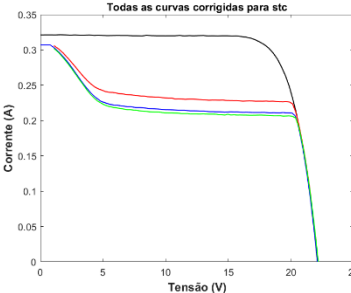
$V_b = 32.814414$ $\alpha = 0.000000$ $\beta = 9.844758$ $\gamma = 0.000000$ $I_{ph}(A) = 0.280170$ $I_0(uA) = 0.002324$ $n = 1.281173$ $R_s(ohms) = 0.444252$ $R_p(ohms) = 983.023366$ $RMSE = 0.002676$	$V_{br} = -2.969116$ $m = 1.286092$ $I_{02}(uA) = 0.000000$ $n_2 = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.373560$ $I_0(uA) = 0.000012$ $n = 1.000000$ $R_s(ohms) = 1.336845$ $R_p(ohms) = 10000.000000$ $RMSE = 0.004179$	$V_{br} = -10.414722$ $m = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.285534$ $I_0(uA) = 0.000012$ $n = 1.000000$ $R_s(ohms) = 0.893736$ $R_p(ohms) = 823.187705$ $RMSE = 0.007497$
Variação Vermelha		
		
VD_JUNG $I_{shade} = 0.255453$ $V_b = 35.268578$ $\alpha = 0.000000$ $\beta = 9.995110$ $\gamma = 0.000000$ $I_{ph}(A) = 0.281351$ $I_0(uA) = 0.001807$ $n = 1.255365$ $R_s(ohms) = 0.618421$ $R_p(ohms) = 761.299306$ $RMSE = 0.002428$	VD_QUASCHNING $a = 0.072972$ $V_{br} = -2.552973$ $m = 1.197225$ $I_{02}(uA) = 0.000000$ $I_{ph}(A) = 0.375120$ $I_0(uA) = 0.000014$ $n = 1.000000$ $R_s(ohms) = 1.188909$ $R_p(ohms) = 10000.000000$ $RMSE = 0.004573$	VD_BISHOP $a = 0.000093$ $V_{br} = -10.680397$ $m = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.288051$ $I_0(uA) = 0.000014$ $n = 1.000000$ $R_s(ohms) = 0.708546$ $R_p(ohms) = 630.703396$ $RMSE = 0.007725$
Variação Azul		
		
VD_JUNG $I_{shade} = 0.238633$ $V_b = 29.145384$ $\alpha = 0.000000$ $\beta = 9.964454$ $\gamma = 0.000000$ $I_{ph}(A) = 0.272251$ $I_0(uA) = 0.001887$ $n = 1.254172$ $R_s(ohms) = 0.332279$ $R_p(ohms) = 507.156874$ $RMSE = 0.004207$	VD_QUASCHNING $a = 0.077807$ $V_{br} = -2.607304$ $m = 1.212990$ $I_{02}(uA) = 0.000000$ $n_2 = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.363000$ $I_0(uA) = 0.000015$ $n = 1.000000$ $R_s(ohms) = 0.755741$ $R_p(ohms) = 10000.000000$ $RMSE = 0.004802$	VD_BISHOP $a = 0.000100$ $V_{br} = -9.052779$ $m = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.272250$ $I_0(uA) = 0.000015$ $n = 1.000000$ $R_s(ohms) = 0.066115$ $R_p(ohms) = 553.104298$ $RMSE = 0.008706$
Variação Verde		

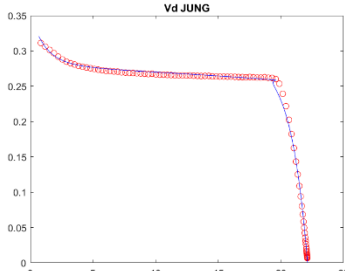
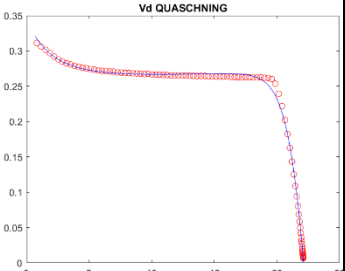
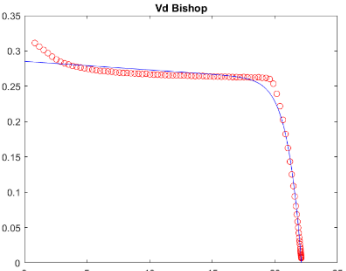
		
VD_JUNG Ishade = 0.238931 Vb = 28.509016 alfa = 0.000000 beta = 9.936826 gama = 0.000000 Iph(A) = 0.277655 I0(uA) = 0.001037 n = 1.227807 Rs(ohms) = 0.286578 Rp(ohms) = 424.602622 RMSE = 0.005603	VD_QUASCHNING a = 0.077575 Vbr = -2.931182 m = 1.241971 I02(uA) = 0.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.370200 I0(uA) = 0.000012 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.548844 Rp(ohms) = 10000.000000 RMSE = 0.004919	VD_BISHOP a = 0.000100 Vbr = -9.085080 m = 2.000000 Iph(A) = 0.277650 I0(uA) = 0.000011 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.000000 Rp(ohms) = 461.746576 RMSE = 0.009746

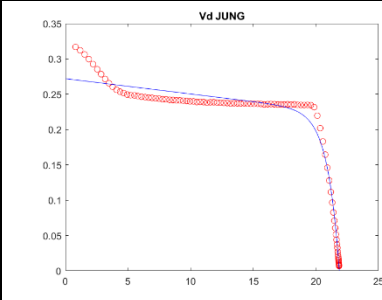
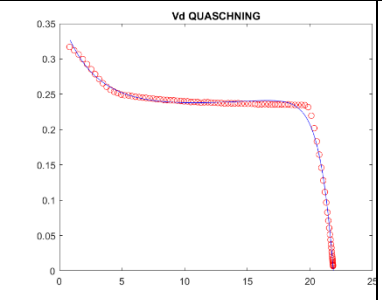
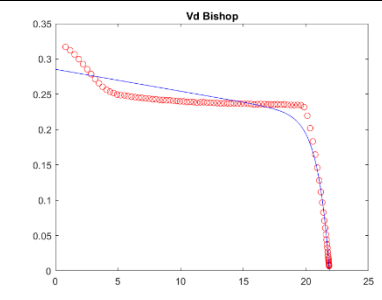
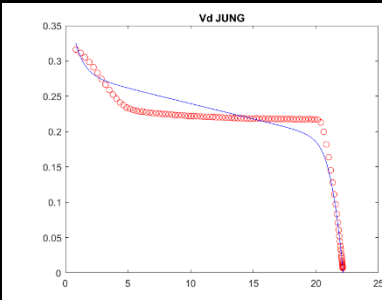
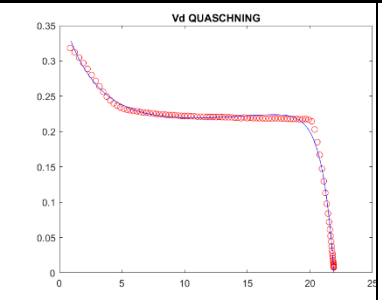
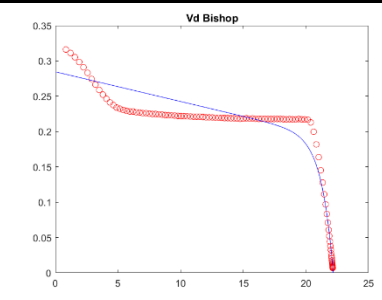
Experimento V - Módulo A - Célula 4					
Variação do espectro					
		S/Var	Vermel ha	Azul	Verde
		Dados da Curva IV	Dados da Curva IV	Dados da Curva IV	Dados da Curva IV
		Vmp = 18.234 2 Imp = 0.3026 Voc = 22.115 0 Isc = 0.3212 E = 1000 Tc = 25	Vmp = 19.6677 1 Imp = 0.2442 Voc = 22.1951 0 Isc = 0.2857 E = 1000 Tc = 25	Vmp = 19.943 1 Imp = 0.2270 Voc = 22.153 0 Isc = 0 E = 1000 Tc = 25	Vmp = 20.018 0 Imp = 0.2231 Voc = 22.196 1 Isc = 0.2797 E = 1000 Tc = 25
Sem Variação					
					

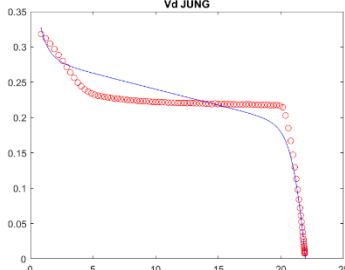
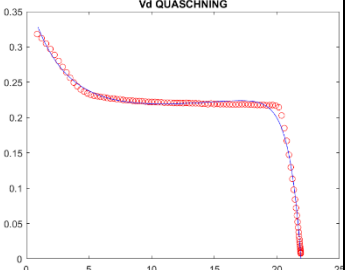
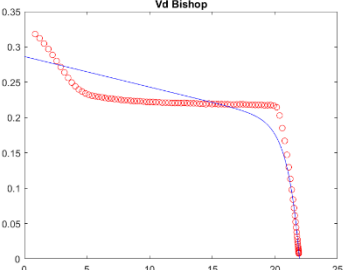
VD_JUNG Ishade = 0.259496 Vb = 32.814414 alfa = 0.000000 beta = 9.844758 gama = 0.000000 Iph(A) = 0.280170 I0(uA) = 0.002324 n = 1.281173 Rs(ohms) = 0.444252 Rp(ohms) = 983.023366 RMSE = 0.002676	VD_QUASCHNING a = 0.070360 Vbr = -2.969116 m = 1.286092 I02(uA) = 0.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.373560 I0(uA) = 0.000012 n = 1.000000 Rs(ohms) = 1.336845 Rp(ohms) = 10000.000000 RMSE = 0.004179	VD_BISHOP a = 0.000100 Vbr = -10.414722 m = 2.000000 Iph(A) = 0.285534 I0(uA) = 0.000012 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.893736 Rp(ohms) = 823.187705 RMSE = 0.007497
Variação Vermelha		
		
VD_JUNG Ishade = 0.253570 Vb = 38.259685 alfa = 0.000000 beta = 9.957131 gama = 0.000000 Iph(A) = 0.272254 I0(uA) = 0.001422 n = 1.234070 Rs(ohms) = 0.519391 Rp(ohms) = 1201.584428 RMSE = 0.002402	VD_QUASCHNING a = 0.076993 Vbr = -2.162412 m = 1.185580 I02(uA) = 0.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.363000 I0(uA) = 0.000016 n = 1.000000 Rs(ohms) = 1.103022 Rp(ohms) = 10000.000000 RMSE = 0.004723	VD_BISHOP a = 0.000100 Vbr = -10.474204 m = 2.000000 Iph(A) = 0.280528 I0(uA) = 0.000015 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.691004 Rp(ohms) = 802.658265 RMSE = 0.007206
Variação Azul		
		
VD_JUNG Ishade = 0.238633 Vb = 29.145384 alfa = 0.000000 beta = 9.964454 gama = 0.000000 Iph(A) = 0.272251 I0(uA) = 0.001887 n = 1.254172 Rs(ohms) = 0.332279 Rp(ohms) = 507.156874 RMSE = 0.004207	VD_QUASCHNING a = 0.077807 Vbr = -2.607304 m = 1.212990 I02(uA) = 0.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.363000 I0(uA) = 0.000015 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.755741 Rp(ohms) = 10000.000000 RMSE = 0.004802	VD_BISHOP a = 0.000100 Vbr = -9.052779 m = 2.000000 Iph(A) = 0.272250 I0(uA) = 0.000015 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.066115 Rp(ohms) = 553.104298 RMSE = 0.008706
Variação Verde		

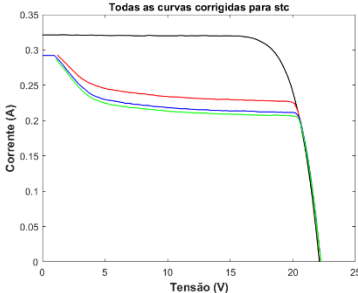
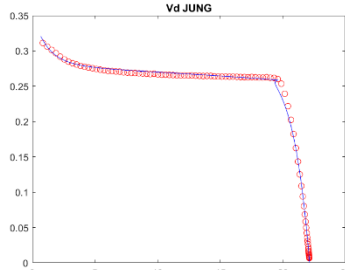
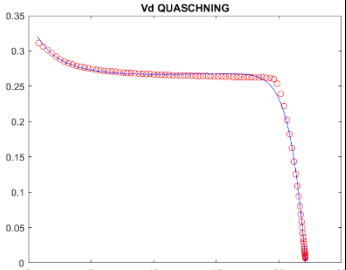
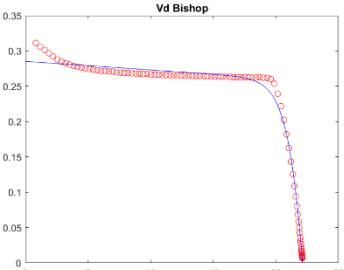
		
VD_JUNG Ishade = 0.235901 Vb = 28.890449 alfa = 0.000000 beta = 9.746147 gama = 0.000000 Iph(A) = 0.266224 I0(uA) = 0.001001 n = 1.218990 Rs(ohms) = 0.125536 Rp(ohms) = 580.764802 RMSE = 0.003955	VD_QUASCHNING a = 0.088722 Vbr = -2.023443 m = 1.172949 I02(uA) = 0.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.354960 I0(uA) = 0.000014 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.438138 Rp(ohms) = 10000.000000 RMSE = 0.004907	VD_BISHOP a = 0.000100 Vbr = -9.992275 m = 2.000000 Iph(A) = 0.266220 I0(uA) = 0.000013 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.000000 Rp(ohms) = 657.177823 RMSE = 0.008371

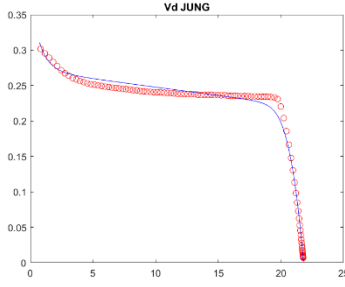
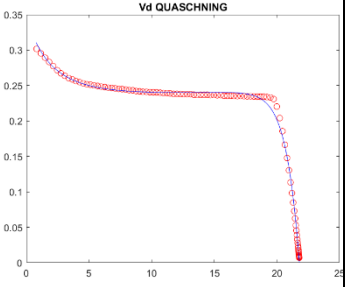
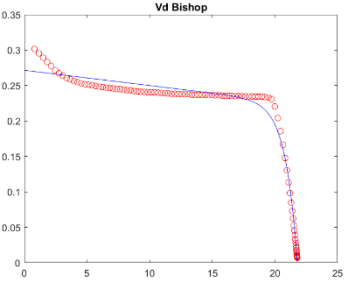
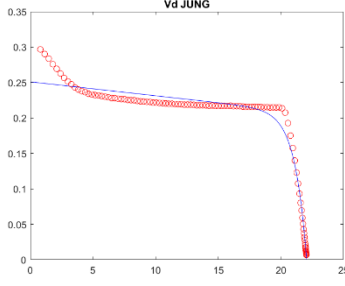
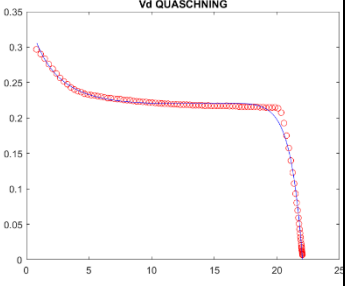
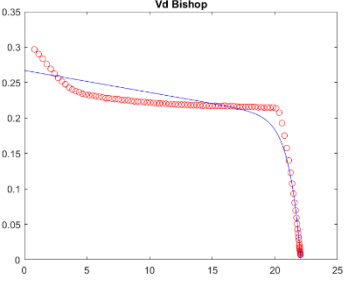
Experimento V - Módulo A - Célula 13					
Variação do espectro					
		S/Var	Vermel ha	Azul	Verde
		Dados da Curva IV Vmp = 18.234 2 Imp = 0.3026 Voc = 22.115 0 Isc = 0.3212 E =1000 Tc = 25	Dados da Curva IV Vmp = 20.1340 Vmp = 20.099 Imp = 0.2105 Imp = 0.2237 Voc = 22.125 3 Isc = 0 Isc = 0.3070 E =1000 Tc = 25	Dados da Curva IV Vmp = 20.099 3 Imp = 0.2105 Voc = 22.125 3 Isc = 0.3070 E =1000 Tc = 25	Dados da Curva IV Vmp = 20.374 3 Imp = 0.2038 Voc = 22.183 0 Isc = 0 E =1000 Tc = 25

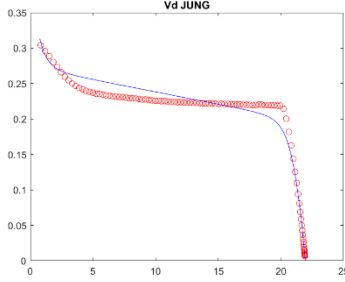
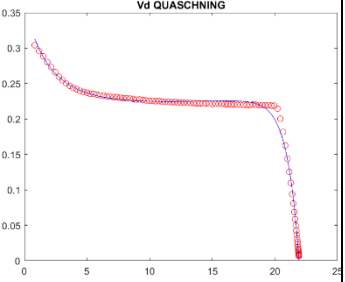
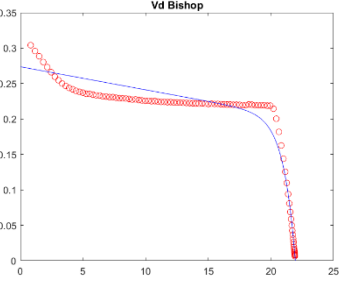
Sem Variação		
		

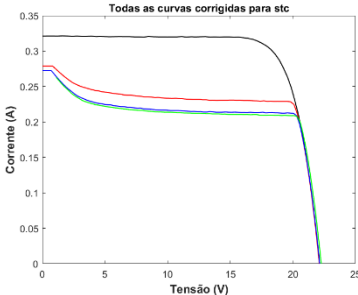
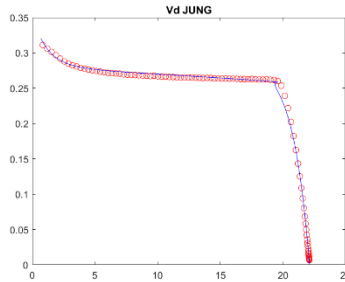
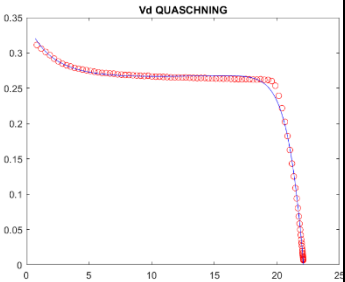
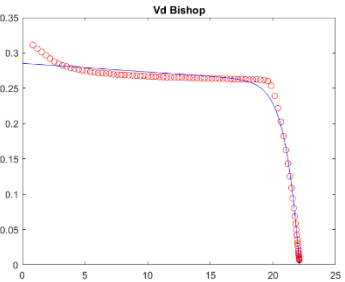
VD_JUNG Ishade = 0.259496 Vb = 32.814414 alfa = 0.000000 beta = 9.844758 gama = 0.000000 Iph(A) = 0.280170 I0(uA) = 0.002324 n = 1.281173 Rs(ohms) = 0.444252 Rp(ohms) = 983.023366 RMSE = 0.002676	VD_QUASCHNING a = 0.070360 Vbr = -2.969116 m = 1.286092 I02(uA) = 0.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.373560 I0(uA) = 0.000012 n = 1.000000 Rs(ohms) = 1.336845 Rp(ohms) = 10000.000000 RMSE = 0.004179	VD_BISHOP a = 0.000100 Vbr = -10.414722 m = 2.000000 Iph(A) = 0.285534 I0(uA) = 0.000012 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.893736 Rp(ohms) = 823.187705 RMSE = 0.007497
Variação Vermelha		
		
VD_JUNG Ishade = 0.232712 Vb = 28.037044 alfa = 0.000000 beta = 9.876255 gama = 0.000000 Iph(A) = 0.285300 I0(uA) = 0.000511 n = 1.162978 Rs(ohms) = 0.774695 Rp(ohms) = 304.253757 RMSE = 0.009959	VD_QUASCHNING a = 0.064458 Vbr = -6.184203 m = 1.577789 I02(uA) = 0.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.380400 I0(uA) = 0.000019 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.662617 Rp(ohms) = 10000.000000 RMSE = 0.004769	VD_BISHOP a = 0.000100 Vbr = -8.990903 m = 2.000000 Iph(A) = 0.285300 I0(uA) = 0.000016 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.000000 Rp(ohms) = 321.801435 RMSE = 0.013430
Variação Azul		
		
VD_JUNG Ishade = 0.214500 Vb = 27.081530 alfa = 0.000000 beta = 9.462715 gama = 0.000000 Iph(A) = 0.284580 I0(uA) = 0.000072 n = 1.091776 Rs(ohms) = 1.377451 Rp(ohms) = 229.271043 RMSE = 0.014809	VD_QUASCHNING a = 0.063091 Vbr = -8.510072 m = 1.770053 I02(uA) = 0.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.379440 I0(uA) = 0.000009 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.287800 Rp(ohms) = 10000.000000 RMSE = 0.005116	VD_BISHOP a = 0.000100 Vbr = -8.884595 m = 2.000000 Iph(A) = 0.284580 I0(uA) = 0.000007 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.000000 Rp(ohms) = 237.873163 RMSE = 0.018046
Variação Verde		

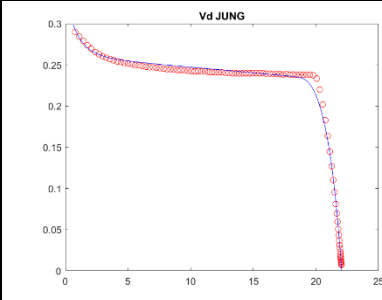
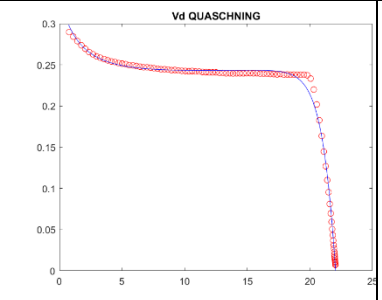
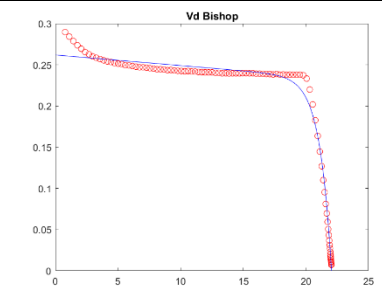
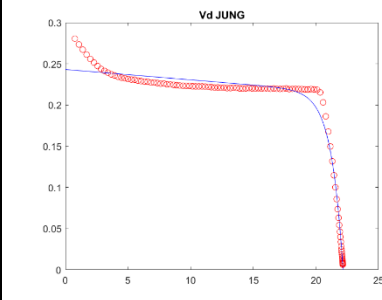
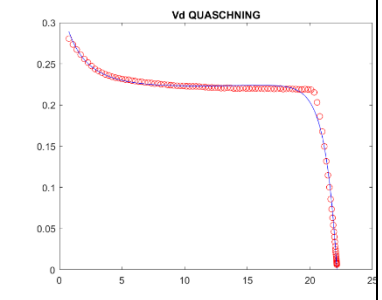
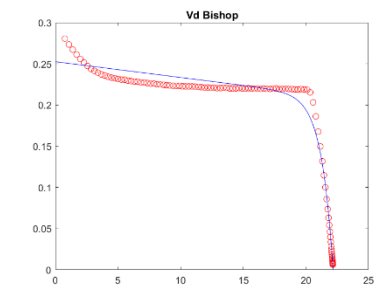
		
VD_JUNG Ishade = 0.214997 Vb = 26.045673 alfa = 0.000000 beta = 9.231634 gama = 0.000000 Iph(A) = 0.286382 I0(uA) = 0.000300 n = 1.140399 Rs(ohms) = 1.012874 Rp(ohms) = 221.149519 RMSE = 0.015481	VD_QUASCHNING a = 0.069409 Vbr = -7.150358 m = 1.668124 I02(uA) = 0.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.381840 I0(uA) = 0.000016 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.083668 Rp(ohms) = 10000.000000 RMSE = 0.005014	VD_BISHOP a = 0.000100 Vbr = -8.613981 m = 2.000000 Iph(A) = 0.286380 I0(uA) = 0.000013 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.000000 Rp(ohms) = 231.193066 RMSE = 0.018744

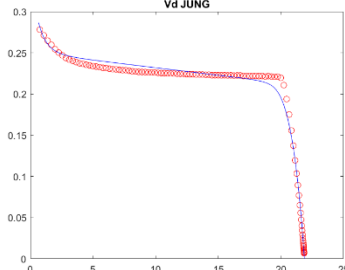
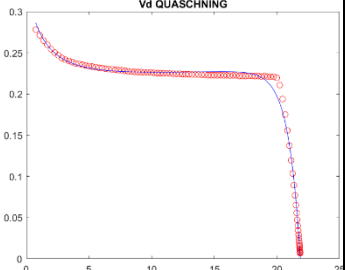
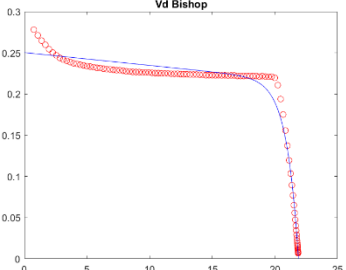
Experimento V - Módulo A - Célula 16					
Variação do espectro					
		S/Var	Vermel ha	Azul	Verde
		Dados da Curva IV Vmp = 18.234 2 Imp = 0.3026 Voc = 22.115 0 Isc = 0.3212 E = 1000 Tc = 25	Dados da Curva IV Vmp = 20.1308 Vmp = 20.264 3 Imp = 0.2103 Imp = 0.2243 Voc = 22.242 1 Voc = 22.2251 Isc = 0 Isc = 0.2921 E = 1000 Tc = 25	Dados da Curva IV Vmp = 20.235 1 Imp = 0.2063 Imp = 0.2103 Voc = 22.237 8 Voc = 22.242 1 Isc = 0 Isc = 0.2921 E = 1000 Tc = 25	Dados da Curva IV Vmp = 20.235 1 Imp = 0.2063 Imp = 0.2103 Voc = 22.237 8 Voc = 22.242 1 Isc = 0 Isc = 0.2921 E = 1000 Tc = 25
Sem Variação					
					

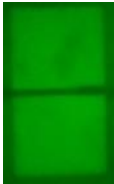
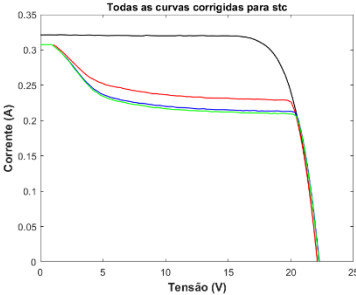
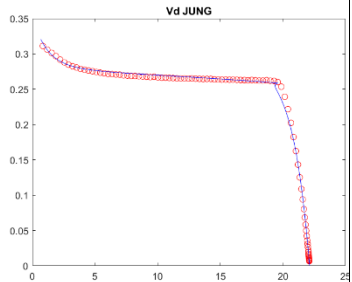
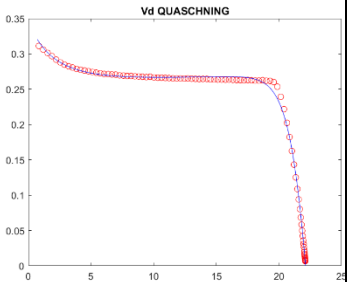
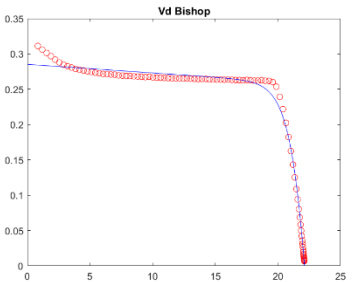
VD_JUNG Ishade = 0.259496 Vb = 32.814414 alfa = 0.000000 beta = 9.844758 gama = 0.000000 Iph(A) = 0.280170 I0(uA) = 0.002324 n = 1.281173 Rs(ohms) = 0.444252 Rp(ohms) = 983.023366 RMSE = 0.002676	VD_QUASCHNING a = 0.070360 Vbr = -2.969116 m = 1.286092 I02(uA) = 0.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.373560 I0(uA) = 0.000012 n = 1.000000 Rs(ohms) = 1.336845 Rp(ohms) = 10000.000000 RMSE = 0.004179	VD_BISHOP a = 0.000100 Vbr = -10.414722 m = 2.000000 Iph(A) = 0.285534 I0(uA) = 0.000012 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.893736 Rp(ohms) = 823.187705 RMSE = 0.007497
Variação Vermelha		
		
VD_JUNG Ishade = 0.233136 Vb = 27.885415 alfa = 0.000000 beta = 9.919456 gama = 0.000000 Iph(A) = 0.271531 I0(uA) = 0.000896 n = 1.187653 Rs(ohms) = 0.450680 Rp(ohms) = 425.230653 RMSE = 0.005510	VD_QUASCHNING a = 0.076654 Vbr = -2.949897 m = 1.251399 I02(uA) = 0.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.362040 I0(uA) = 0.000022 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.540332 Rp(ohms) = 10000.000000 RMSE = 0.004793	VD_BISHOP a = 0.000100 Vbr = -9.440546 m = 2.000000 Iph(A) = 0.271530 I0(uA) = 0.000021 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.000000 Rp(ohms) = 464.875887 RMSE = 0.009641
Variação Azul		
		
VD_JUNG Ishade = 0.268102 Vb = 33.350236 alfa = 0.010000 beta = 0.000000 gama = 0.010000 Iph(A) = 0.267120 I0(uA) = 0.000011 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.000000 Rp(ohms) = 367.454133 RMSE = 0.011744	VD_QUASCHNING a = 0.078533 Vbr = -3.416478 m = 1.291226 I02(uA) = 0.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.356160 I0(uA) = 0.000012 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.079269 Rp(ohms) = 10000.000000 RMSE = 0.004774	VD_BISHOP a = 0.000100 Vbr = -8.659145 m = 2.000000 Iph(A) = 0.267120 I0(uA) = 0.000011 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.000000 Rp(ohms) = 321.744207 RMSE = 0.013087
Variação Verde		

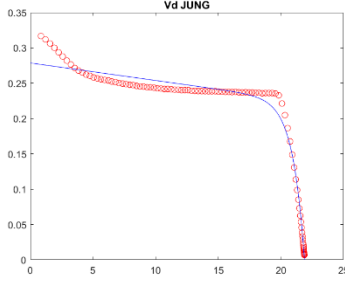
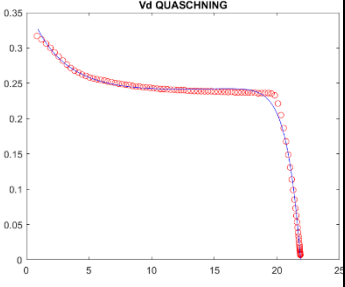
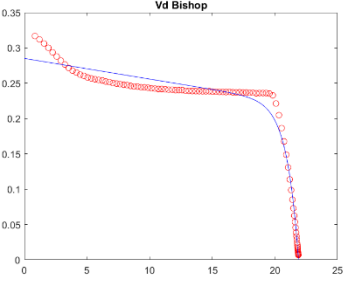
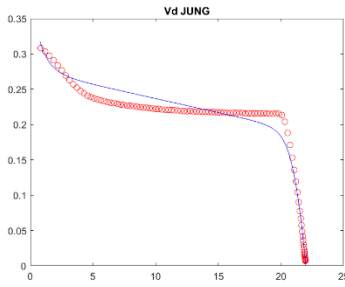
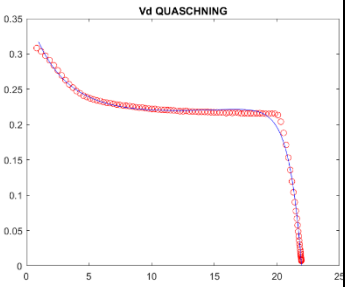
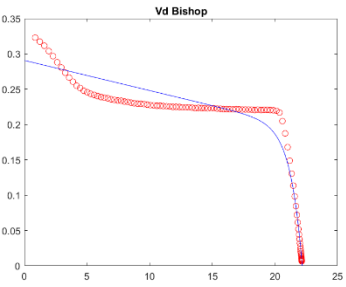
		
VD_JUNG Ishade = 0.218851 Vb = 26.163100 alfa = 0.000000 beta = 9.932532 gama = 0.000000 Iph(A) = 0.273692 I0(uA) = 0.000207 n = 1.117261 Rs(ohms) = 0.674700 Rp(ohms) = 286.391504 RMSE = 0.010369	VD_QUASCHNING a = 0.082798 Vbr = -3.407693 m = 1.303283 I02(uA) = 0.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.364920 I0(uA) = 0.000017 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.000000 Rp(ohms) = 10000.000000 RMSE = 0.005030	VD_BISHOP a = 0.000100 Vbr = -8.800425 m = 2.000000 Iph(A) = 0.273690 I0(uA) = 0.000015 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.000000 Rp(ohms) = 307.002713 RMSE = 0.014053

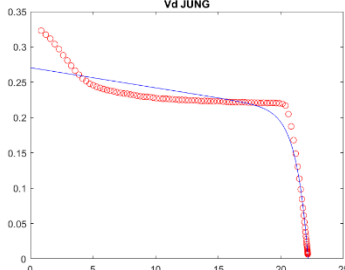
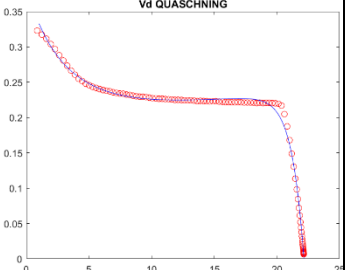
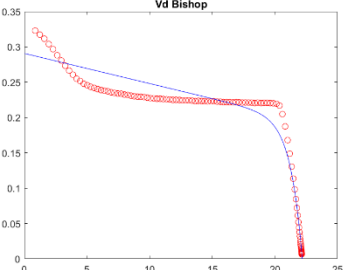
Experimento V - Módulo A - Célula 20					
Variação do espectro					
		S/Var	Vermelha	Azul	Verde
		Dados da Curva IV Vmp = 18.234 2 Imp = 0.3026 Voc = 22.115 0 Isc = 0.3212 E = 1000 Tc = 25	Dados da Curva IV Vmp = 19.8264 7 Imp = 0.2121 Voc = 22.1111 9 Isc = 0.2789 E = 1000 Tc = 25	Dados da Curva IV Vmp = 20.057 7 Imp = 0.2121 Voc = 22.139 9 Isc = 0.2724 E = 1000 Tc = 25	Dados da Curva IV Vmp = 20.346 6 Imp = 0.2076 Voc = 22.262 8 Isc = 0 E = 1000 Tc = 25
Sem Variação					
					

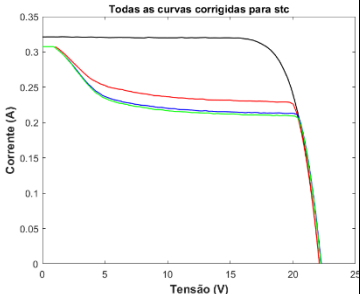
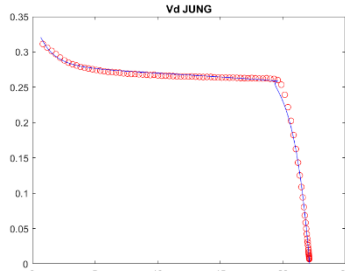
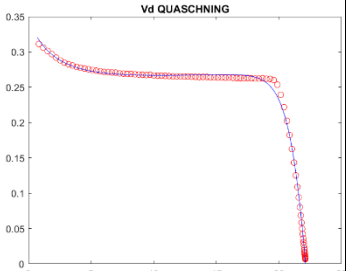
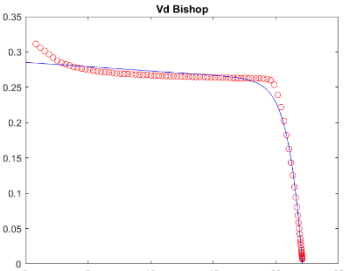
VD_JUNG Ishade = 0.259496 Vb = 32.814414 alfa = 0.000000 beta = 9.844758 gama = 0.000000 Iph(A) = 0.280170 I0(uA) = 0.002324 n = 1.281173 Rs(ohms) = 0.444252 Rp(ohms) = 983.023366 RMSE = 0.002676	VD_QUASCHNING a = 0.070360 Vbr = -2.969116 m = 1.286092 I02(uA) = 0.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.373560 I0(uA) = 0.000012 n = 1.000000 Rs(ohms) = 1.336845 Rp(ohms) = 10000.000000 RMSE = 0.004179	VD_BISHOP a = 0.000100 Vbr = -10.414722 m = 2.000000 Iph(A) = 0.285534 I0(uA) = 0.000012 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.893736 Rp(ohms) = 823.187705 RMSE = 0.007497
Variação Vermelha		
		
VD_JUNG Ishade = 0.236079 Vb = 30.663607 alfa = 0.000000 beta = 9.993740 gama = 0.000000 Iph(A) = 0.260730 I0(uA) = 0.000825 n = 1.214580 Rs(ohms) = 0.180155 Rp(ohms) = 739.309781 RMSE = 0.003386	VD_QUASCHNING a = 0.083602 Vbr = -2.091505 m = 1.191616 I02(uA) = 0.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.347640 I0(uA) = 0.000012 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.553345 Rp(ohms) = 10000.000000 RMSE = 0.004872	VD_BISHOP a = 0.000100 Vbr = -9.905012 m = 2.000000 Iph(A) = 0.261917 I0(uA) = 0.000012 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.001952 Rp(ohms) = 778.722671 RMSE = 0.007983
Variação Azul		
		
VD_JUNG Ishade = 0.252877 Vb = 40.410189 alfa = 0.010000 beta = 0.000000 gama = 0.010000 Iph(A) = 0.252540 I0(uA) = 0.000008 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.000000 Rp(ohms) = 589.910392 RMSE = 0.009464	VD_QUASCHNING a = 0.088665 Vbr = -2.214930 m = 1.209734 I02(uA) = 0.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.336720 I0(uA) = 0.000009 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.052392 Rp(ohms) = 10000.000000 RMSE = 0.004881	VD_BISHOP a = 0.000100 Vbr = -9.514028 m = 2.000000 Iph(A) = 0.252540 I0(uA) = 0.000008 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.000000 Rp(ohms) = 522.197970 RMSE = 0.010029
Variação Verde		

		
VD_JUNG Ishade = 0.219748 Vb = 27.136211 alfa = 0.000000 beta = 9.954205 gama = 0.000000 Iph(A) = 0.250290 I0(uA) = 0.000178 n = 1.103534 Rs(ohms) = 0.225742 Rp(ohms) = 547.024356 RMSE = 0.004948	VD_QUASCHNING a = 0.093466 Vbr = -1.932694 m = 1.194402 I02(uA) = 0.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.333720 I0(uA) = 0.000020 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.000000 Rp(ohms) = 10000.000000 RMSE = 0.005105	VD_BISHOP a = 0.000100 Vbr = -9.545256 m = 2.000000 Iph(A) = 0.250290 I0(uA) = 0.000018 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.000000 Rp(ohms) = 641.742886 RMSE = 0.009271

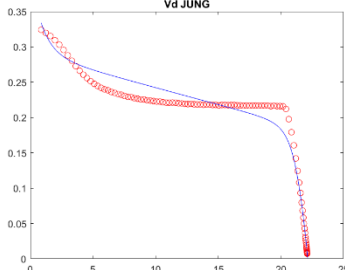
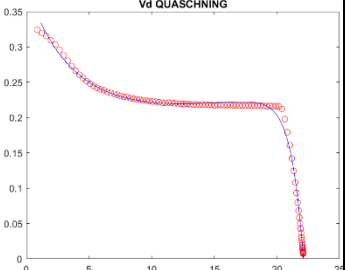
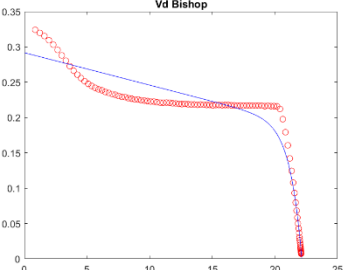
Experimento V - Módulo A - Célula 22					
Variação do espectro					
		S/Var	Vermelha	Azul	Verde
		Dados da Curva IV Vmp = 18.2342 Imp = 0.3026 Voc = 22.1150 Isc = 0.3212 E = 1000 Tc = 25	Dados da Curva IV Vmp = 20.0231 Imp = 0.2261 Voc = 22.1111 Isc = 0 E = 1000 Tc = 25	Dados da Curva IV Vmp = 20.3436 Imp = 0.2111 Voc = 22.2679 Isc = 0 E = 1000 Tc = 25	Dados da Curva IV Vmp = 20.4210 Imp = 0.2065 Voc = 22.2339 Isc = 0.3074 E = 1000 Tc = 25
Sem Variação					
					

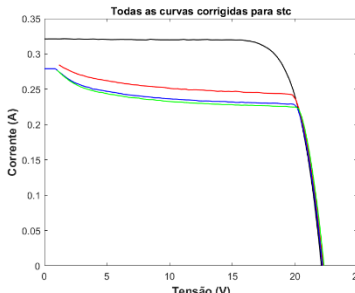
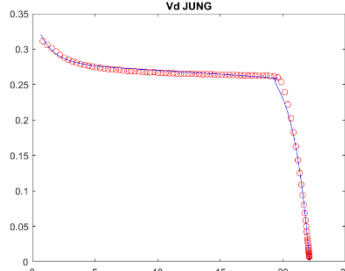
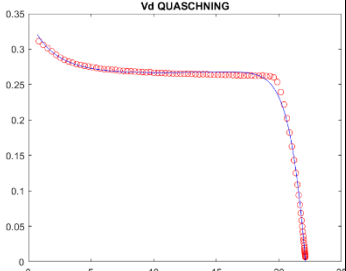
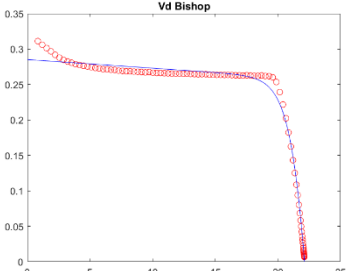
VD_JUNG Ishade = 0.259496 Vb = 32.814414 alfa = 0.000000 beta = 9.844758 gama = 0.000000 Iph(A) = 0.280170 I0(uA) = 0.002324 n = 1.281173 Rs(ohms) = 0.444252 Rp(ohms) = 983.023366 RMSE = 0.002676	VD_QUASCHNING a = 0.070360 Vbr = -2.969116 m = 1.286092 I02(uA) = 0.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.373560 I0(uA) = 0.000012 n = 1.000000 Rs(ohms) = 1.336845 Rp(ohms) = 10000.000000 RMSE = 0.004179	VD_BISHOP a = 0.000100 Vbr = -10.414722 m = 2.000000 Iph(A) = 0.285534 I0(uA) = 0.000012 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.893736 Rp(ohms) = 823.187705 RMSE = 0.007497
Variação Vermelha		
		
VD_JUNG Ishade = 0.285554 Vb = 36.671384 alfa = 0.010000 beta = 0.000000 gama = 0.010000 Iph(A) = 0.285120 I0(uA) = 0.000015 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.000000 Rp(ohms) = 359.585039 RMSE = 0.011390	VD_QUASCHNING a = 0.061096 Vbr = -5.561806 m = 1.457001 I02(uA) = 0.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.380160 I0(uA) = 0.000017 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.718743 Rp(ohms) = 10000.000000 RMSE = 0.004747	VD_BISHOP a = 0.000100 Vbr = -9.173821 m = 2.000000 Iph(A) = 0.285120 I0(uA) = 0.000015 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.000000 Rp(ohms) = 342.143924 RMSE = 0.011446
Variação Azul		
		
VD_JUNG Ishade = 0.213602 Vb = 28.032824 alfa = 0.000000 beta = 9.821279 gama = 0.000000 Iph(A) = 0.277473 I0(uA) = 0.000156 n = 1.108885 Rs(ohms) = 1.027314 Rp(ohms) = 251.537355 RMSE = 0.011368	VD_QUASCHNING a = 0.063639 Vbr = -6.300945 m = 1.533252 I02(uA) = 0.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.369960 I0(uA) = 0.000015 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.247772 Rp(ohms) = 10000.000000 RMSE = 0.004907	VD_BISHOP a = 0.000100 Vbr = -8.874784 m = 2.000000 Iph(A) = 0.277470 I0(uA) = 0.000012 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.000000 Rp(ohms) = 264.856055 RMSE = 0.015015
Variação Verde		

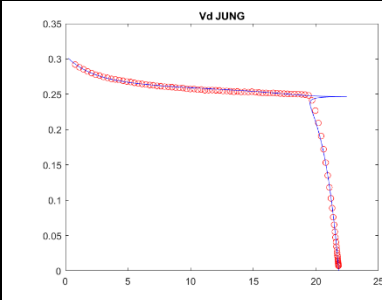
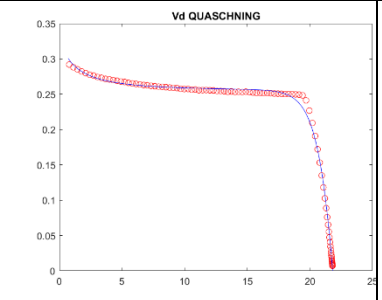
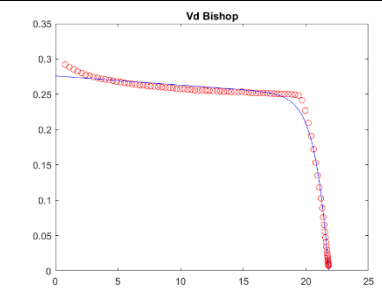
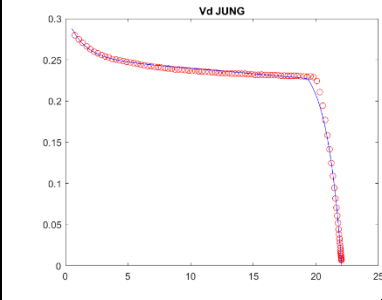
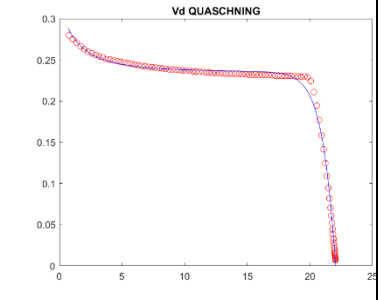
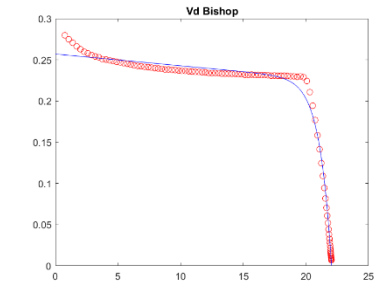
		
VD_JUNG Ishade = 0.292651 Vb = 36.767292 alfa = 0.010000 beta = 0.000000 gama = 0.010000 Iph(A) = 0.290790 I0(uA) = 0.000009 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.000000 Rp(ohms) = 263.946725 RMSE = 0.015258	VD_QUASCHNING a = 0.063335 Vbr = -7.587675 m = 1.631560 I02(uA) = 0.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.387720 I0(uA) = 0.000011 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.195852 Rp(ohms) = 10000.000000 RMSE = 0.005032	VD_BISHOP a = 0.000100 Vbr = -8.898872 m = 2.000000 Iph(A) = 0.290790 I0(uA) = 0.000009 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.000000 Rp(ohms) = 234.501540 RMSE = 0.016740

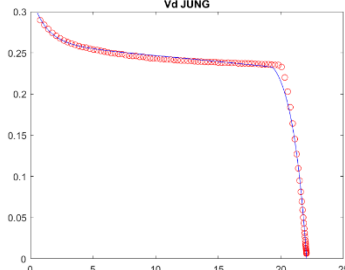
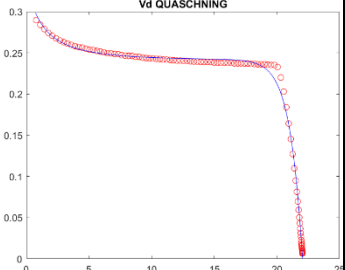
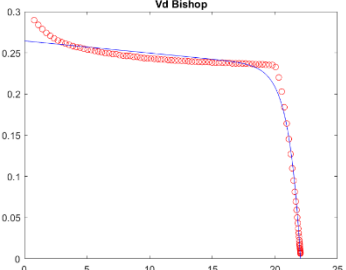
Experimento V - Módulo A - Célula 24					
Variação do espectro					
		S/Var	Vermel ha	Azul	Verde
		Dados da Curva IV Vmp = 18.234 2 Imp = 0.3026 Voc = 22.115 0 Isc = 0.3212 E = 1000 Tc = 25	Dados da Curva IV Vmp = 20.0748 Imp = 0.2264 Voc = 22.2285 Isc = 0 E = 1000 Tc = 25	Dados da Curva IV Vmp = 20.229 9 Imp = 0.2116 Voc = 22.505 1 Isc = 0 E = 1000 Tc = 25	Dados da Curva IV Vmp = 20.310 3 Imp = 0.2075 Voc = 22.280 4 Isc = 0.3116 E = 1000 Tc = 25
Sem Variação					
					

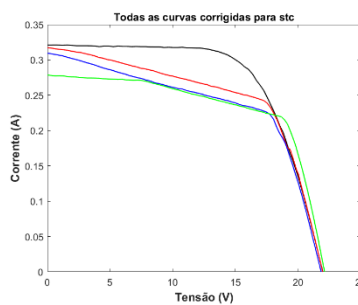
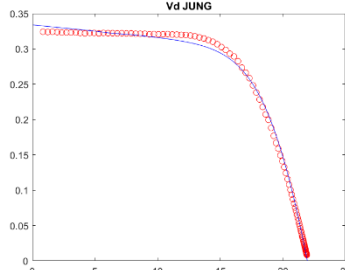
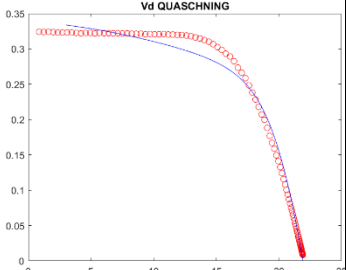
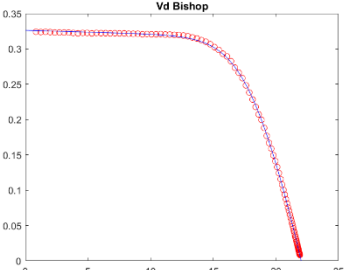
VD_JUNG Ishade = 0.259496 Vb = 32.814414 alfa = 0.000000 beta = 9.844758 gama = 0.000000 Iph(A) = 0.280170 I0(uA) = 0.002324 n = 1.281173 Rs(ohms) = 0.444252 Rp(ohms) = 983.023366 RMSE = 0.002676	VD_QUASCHNING a = 0.070360 Vbr = -2.969116 m = 1.286092 I02(uA) = 0.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.373560 I0(uA) = 0.000012 n = 1.000000 Rs(ohms) = 1.336845 Rp(ohms) = 10000.000000 RMSE = 0.004179	VD_BISHOP a = 0.000100 Vbr = -10.414722 m = 2.000000 Iph(A) = 0.285534 I0(uA) = 0.000012 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.893736 Rp(ohms) = 823.187705 RMSE = 0.007497
Variação Vermelha		
VD_JUNG Ishade = 0.288539 Vb = 25.933544 alfa = 0.010000 beta = 0.000000 gama = 0.010000 Iph(A) = 0.288090 I0(uA) = 0.000016 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.000000 Rp(ohms) = 318.268611 RMSE = 0.013058	VD_QUASCHNING a = 0.048762 Vbr = -11.916111 m = 2.000000 I02(uA) = 0.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.384120 I0(uA) = 0.000019 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.811241 Rp(ohms) = 10000.000000 RMSE = 0.004988	VD_BISHOP a = 0.000100 Vbr = -9.507037 m = 2.000000 Iph(A) = 0.288090 I0(uA) = 0.000016 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.000000 Rp(ohms) = 306.583826 RMSE = 0.012962
Variação Azul		
VD_JUNG Ishade = 0.217251 Vb = 29.023538 alfa = 0.000000 beta = 9.817029 gama = 0.000000 Iph(A) = 0.283500 I0(uA) = 0.000262 n = 1.119775 Rs(ohms) = 0.817793 Rp(ohms) = 233.153517 RMSE = 0.011978	VD_QUASCHNING a = 0.053511 Vbr = -11.683783 m = 2.000000 I02(uA) = 0.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.378000 I0(uA) = 0.000021 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.432482 Rp(ohms) = 10000.000000 RMSE = 0.005052	VD_BISHOP a = 0.000100 Vbr = -9.057183 m = 2.000000 Iph(A) = 0.283500 I0(uA) = 0.000017 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.000000 Rp(ohms) = 245.836685 RMSE = 0.015782
Variação Verde		

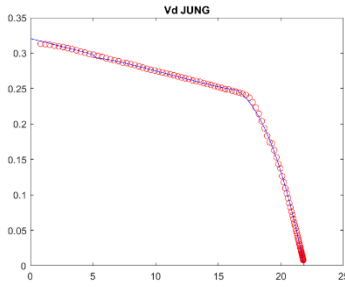
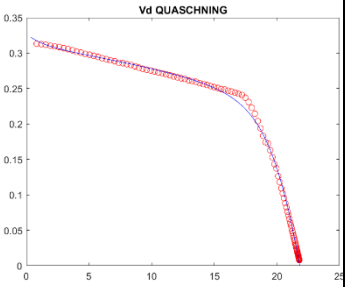
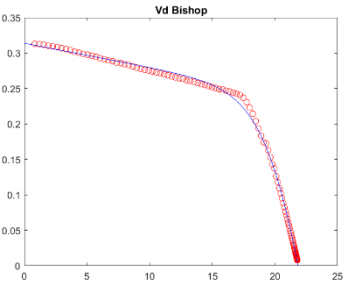
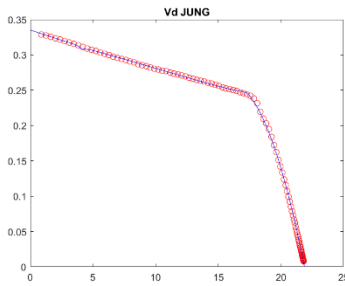
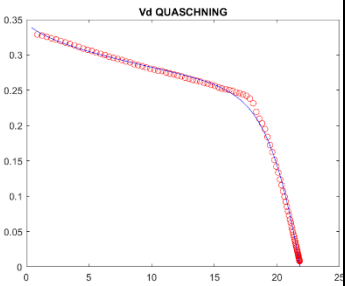
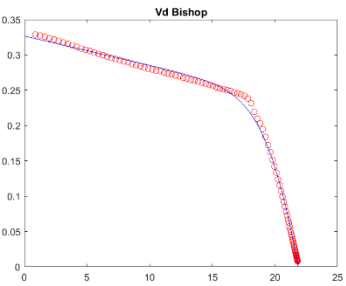
		
VD_JUNG Ishade = 0.214900 Vb = 29.960429 alfa = 0.000000 beta = 9.905426 gama = 0.000000 Iph(A) = 0.291784 I0(uA) = 0.000132 n = 1.110512 Rs(ohms) = 1.065934 Rp(ohms) = 207.367457 RMSE = 0.013780	VD_QUASCHNING a = 0.054323 Vbr = -12.386034 m = 2.000000 I02(uA) = 0.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.389040 I0(uA) = 0.000012 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.195096 Rp(ohms) = 10000.000000 RMSE = 0.005331	VD_BISHOP a = 0.000100 Vbr = -9.452617 m = 2.000000 Iph(A) = 0.291780 I0(uA) = 0.000009 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.000000 Rp(ohms) = 218.018636 RMSE = 0.017731

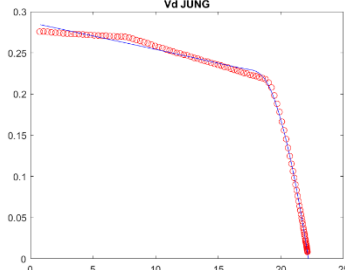
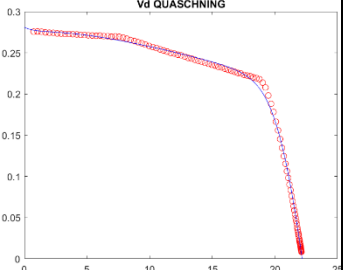
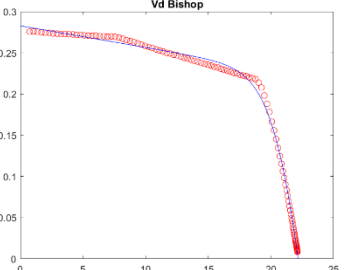
Experimento V - Módulo A - Célula 32					
Variação do espectro					
		S/Var	Vermelha	Azul	Verde
		Dados da Curva IV	Dados da Curva IV	Dados da Curva IV	Dados da Curva IV
		Vmp = 18.234 2 Imp = 0.3026 Voc = 22.115 0 Isc = 0.3212 E = 1000 Tc = 25	Vmp = 19.8001 Imp = 0.2420 Voc = 22.2453 Isc = 0 E = 1000 Tc = 25	Vmp = 19.935 6 Imp = 0.2284 Voc = 22.201 1 Isc = 0.2792 E = 1000 Tc = 25	Vmp = 20.301 0 Imp = 0.2225 Voc = 22.325 1 Isc = 0 E = 1000 Tc = 25
Sem Variação					
					

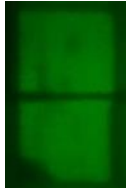
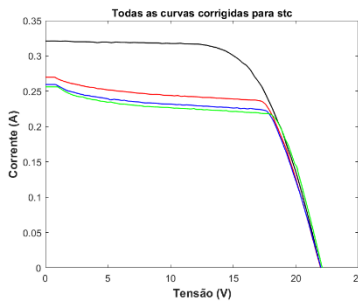
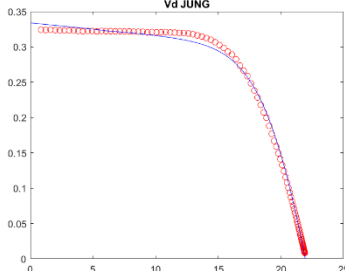
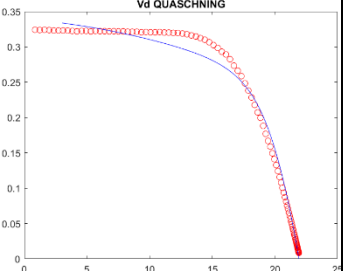
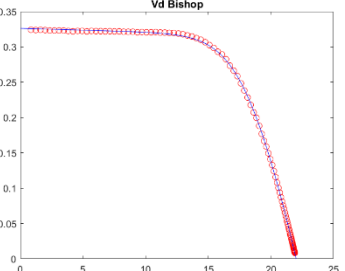
VD_JUNG Ishade = 0.259496 Vb = 32.814414 alfa = 0.000000 beta = 9.844758 gama = 0.000000 Iph(A) = 0.280170 I0(uA) = 0.002324 n = 1.281173 Rs(ohms) = 0.444252 Rp(ohms) = 983.023366 RMSE = 0.002676	VD_QUASCHNING a = 0.070360 Vbr = -2.969116 m = 1.286092 I02(uA) = 0.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.373560 I0(uA) = 0.000012 n = 1.000000 Rs(ohms) = 1.336845 Rp(ohms) = 10000.000000 RMSE = 0.004179	VD_BISHOP a = 0.000100 Vbr = -10.414722 m = 2.000000 Iph(A) = 0.285534 I0(uA) = 0.000012 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.893736 Rp(ohms) = 823.187705 RMSE = 0.007497
Variação Vermelha		
		
VD_JUNG Ishade = 0.246584 Vb = 43.354609 alfa = 0.000001 beta = 9.504527 gama = 0.000000 Iph(A) = 0.266777 I0(uA) = 0.004034 n = 1.285148 Rs(ohms) = 0.327607 Rp(ohms) = 1238.149060 RMSE = 0.001902	VD_QUASCHNING a = 0.094331 Vbr = -1.203925 m = 1.052045 I02(uA) = 0.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.350400 I0(uA) = 0.000023 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.971561 Rp(ohms) = 10000.000000 RMSE = 0.004720	VD_BISHOP a = 0.000100 Vbr = -9.993562 m = 2.000000 Iph(A) = 0.276146 I0(uA) = 0.000022 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.647133 Rp(ohms) = 767.879251 RMSE = 0.006345
Variação Azul		
		
VD_JUNG Ishade = 0.227880 Vb = 34.851404 alfa = 0.000000 beta = 9.996396 gama = 0.000000 Iph(A) = 0.251821 I0(uA) = 0.001105 n = 1.233659 Rs(ohms) = 0.238305 Rp(ohms) = 813.922117 RMSE = 0.002310	VD_QUASCHNING a = 0.089968 Vbr = -1.479662 m = 1.087941 I02(uA) = 0.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.335760 I0(uA) = 0.000012 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.594208 Rp(ohms) = 10000.000000 RMSE = 0.004800	VD_BISHOP a = 0.000092 Vbr = -9.994099 m = 2.000000 Iph(A) = 0.257023 I0(uA) = 0.000011 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.094902 Rp(ohms) = 702.419547 RMSE = 0.007199
Variação Verde		

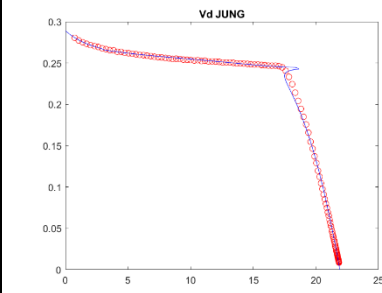
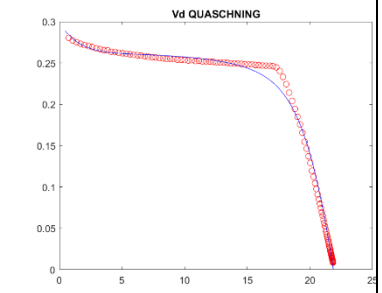
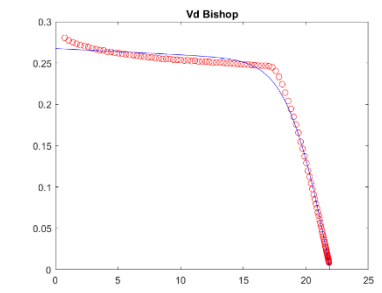
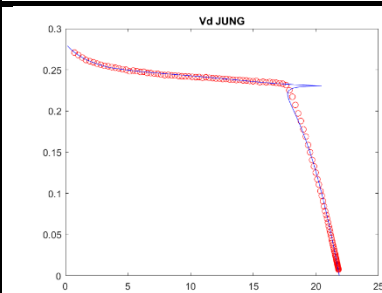
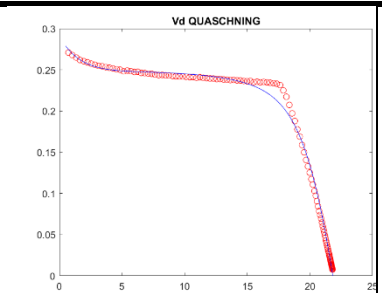
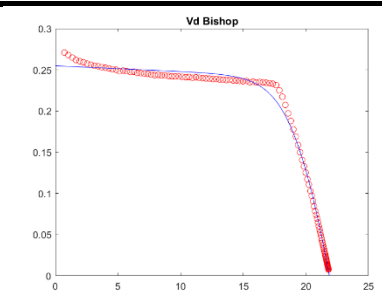
		
VD_JUNG Ishade = 0.233622 Vb = 33.351086 alfa = 0.000000 beta = 9.942248 gama = 0.000000 Iph(A) = 0.260643 I0(uA) = 0.000834 n = 1.203242 Rs(ohms) = 0.201356 Rp(ohms) = 711.414693 RMSE = 0.002558	VD_QUASCHNING a = 0.097802 Vbr = -1.403550 m = 1.078294 I02(uA) = 0.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.347520 I0(uA) = 0.000015 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.309158 Rp(ohms) = 10000.000000 RMSE = 0.005089	VD_BISHOP a = 0.000100 Vbr = -9.687944 m = 2.000000 Iph(A) = 0.264412 I0(uA) = 0.000014 n = 1.000000 Rs(ohms) = 0.000000 Rp(ohms) = 678.768372 RMSE = 0.007692

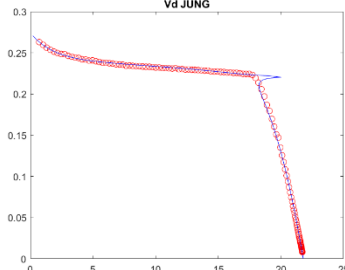
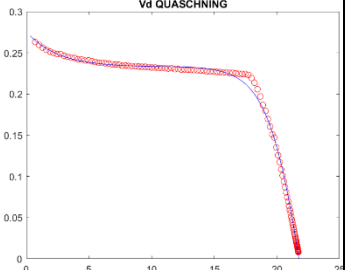
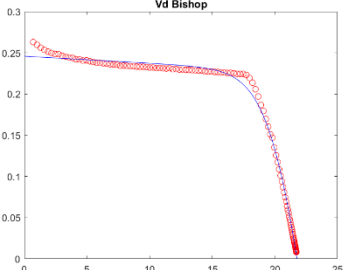
Experimento V - Módulo B - Célula 2					
Variação do espectro					
		S/Var	Vermelha	Azul	Verde
		Dados da Curva IV Vmp = 16.057 5 Imp = 0.2866 Voc = 22.990 6 Isc = 0.3210 E = 1000 Tc = 25	Dados da Curva IV Vmp = 17.2889 Vmp = 1 Imp = 0.2260 Voc = 21.857 9 Isc = 0.3175 E = 1000 Tc = 25	Dados da Curva IV Vmp = 17.518 Imp = 0.2260 Voc = 21.857 9 Isc = 0.3097 E = 1000 Tc = 25	Dados da Curva IV Vmp = 18.688 1 Imp = 0.2193 Voc = 22.129 3 Isc = 0.2785 E = 1000 Tc = 25
Sem Variação					
					
VD_JUNG Ishade = 0.319900	VD_QUASCHNING a = 0.100000	VD_BISHOP a = 0.000100			

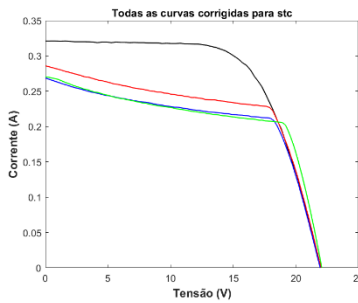
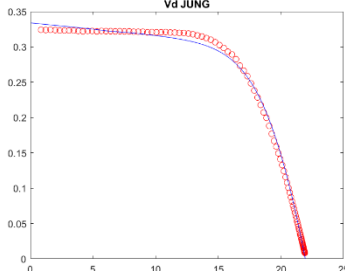
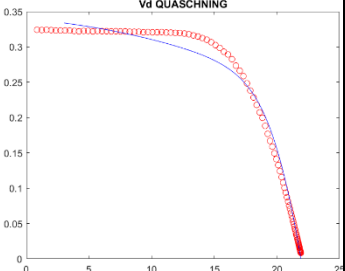
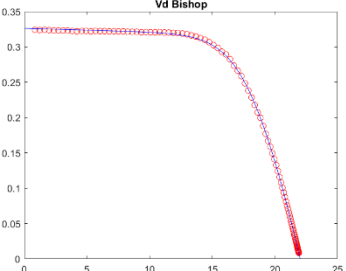
$V_b = 38.772583$ $\alpha = 0.000000$ $\beta = 0.000003$ $\gamma = 0.002443$ $I_{ph}(A) = 0.323288$ $I_0(uA) = 2.103325$ $n = 2.000000$ $R_s(ohms) = 5.000000$ $R_p(ohms) = 897.300002$ $RMSE = 0.006935$	$V_{br} = -2.447440$ $m = 2.000000$ $I_{02}(uA) = 1.000000$ $n_2 = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.418247$ $I_0(uA) = 0.000006$ $n = 1.000000$ $R_s(ohms) = 5.000000$ $R_p(ohms) = 160.521348$ $RMSE = 0.014605$	$V_{br} = -7.012661$ $m = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.327649$ $I_0(uA) = 0.134998$ $n = 1.623983$ $R_s(ohms) = 8.473653$ $R_p(ohms) = 2000.000000$ $RMSE = 0.001412$
Variação Vermelha		
		
VD_JUNG $I_{shade} = 0.247686$ $V_b = 42.210660$ $\alpha = 0.000045$ $\beta = 0.000000$ $\gamma = 0.001013$ $I_{ph}(A) = 0.293779$ $I_0(uA) = 2.085221$ $n = 2.000000$ $R_s(ohms) = 5.000000$ $R_p(ohms) = 343.095457$ $RMSE = 0.001865$	VD_QUASCHNING $a = 0.057551$ $V_{br} = -3.535641$ $m = 2.000000$ $I_{02}(uA) = 1.000000$ $n_2 = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.380333$ $I_0(uA) = 0.000006$ $n = 1.000000$ $R_s(ohms) = 5.000000$ $R_p(ohms) = 174.749319$ $RMSE = 0.006120$	VD_BISHOP $a = 0.000019$ $V_{br} = -13.002287$ $m = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.318323$ $I_0(uA) = 0.697407$ $n = 1.844507$ $R_s(ohms) = 4.133634$ $R_p(ohms) = 290.817087$ $RMSE = 0.004801$
Variação Azul		
		
VD_JUNG $I_{shade} = 0.247247$ $V_b = 43.624400$ $\alpha = 0.000034$ $\beta = 3.344692$ $\gamma = 0.000754$ $I_{ph}(A) = 0.310126$ $I_0(uA) = 2.175676$ $n = 2.000000$ $R_s(ohms) = 5.000000$ $R_p(ohms) = 278.317928$ $RMSE = 0.001470$	VD_QUASCHNING $a = 0.055764$ $V_{br} = -1.522339$ $m = 1.000000$ $I_{02}(uA) = 1.000000$ $n_2 = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.394680$ $I_0(uA) = 0.000007$ $n = 1.000000$ $R_s(ohms) = 5.000000$ $R_p(ohms) = 310.759632$ $RMSE = 0.005878$	VD_BISHOP $a = 0.000012$ $V_{br} = -13.682994$ $m = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.332589$ $I_0(uA) = 0.123916$ $n = 1.628271$ $R_s(ohms) = 4.342512$ $R_p(ohms) = 238.703767$ $RMSE = 0.005497$
Variação Verde		

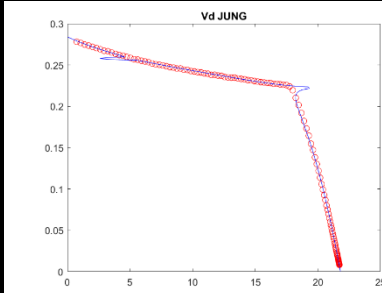
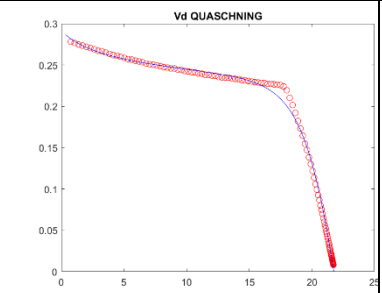
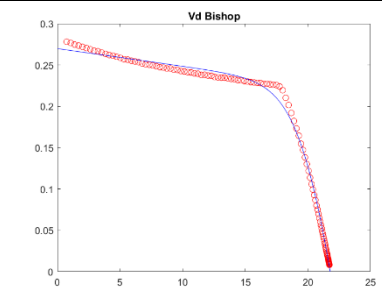
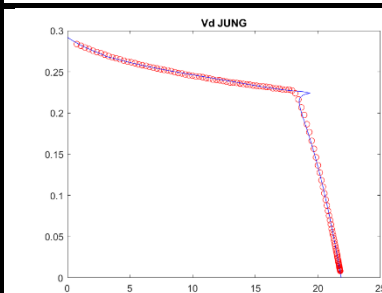
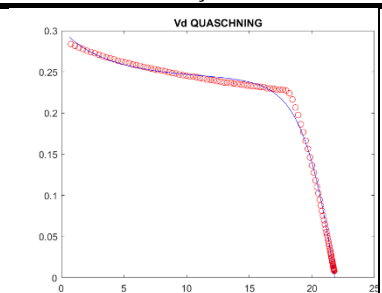
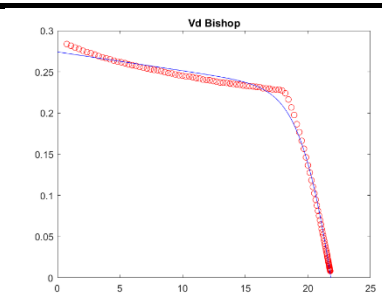
		
VD_JUNG Ishade = 0.228960 Vb = 36.660520 alfa = 0.000000 beta = 0.014549 gama = 0.000000 Iph(A) = 0.291427 I0(uA) = 0.078922 n = 1.598711 Rs(ohms) = 4.999844 Rp(ohms) = 303.448982 RMSE = 0.003254	VD_QUASCHNING a = 0.100000 Vbr = -1.762540 m = 2.000000 I02(uA) = 0.055057 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.331080 I0(uA) = 0.000007 n = 1.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 213.348309 RMSE = 0.004500	VD_BISHOP a = 0.000014 Vbr = -15.673017 m = 2.000000 Iph(A) = 0.285399 I0(uA) = 0.005583 n = 1.374071 Rs(ohms) = 3.577261 Rp(ohms) = 377.120282 RMSE = 0.004939

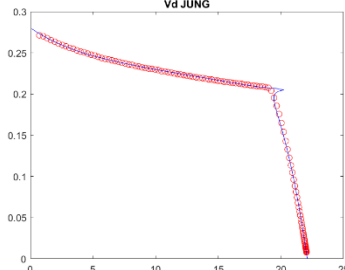
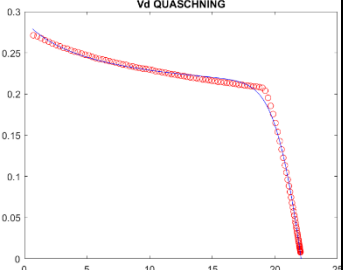
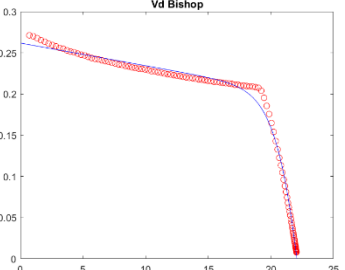
Experimento V - Módulo B - Célula 10					
Variação do espectro					
		S/Var	Vermel ha	Azul	Verde
		Dados da Curva IV	Dados da Curva IV	Dados da Curva IV	Dados da Curva IV
		Vmp = 16.057 5 Imp = 0.2866 Voc = 22.990 6 Isc = 0.3210 E = 1000 Tc = 25	Vmp = 17.3146 8 Imp = 0.2355 Voc = 21.9710 1 Isc = 0.32699 E = 1000 Tc = 25	Vmp = 17.694 8 Imp = 0.2218 Voc = 21.997 1 Isc = 0.2596 E = 1000 Tc = 25	Vmp = 17.997 2 Imp = 0.2174 Voc = 22.100 1 Isc = 0.2562 E = 1000 Tc = 25
Sem Variação					
					
VD_JUNG Ishade = 0.319900	VD_QUASCHNING a = 0.100000	VD_BISHOP a = 0.000100			

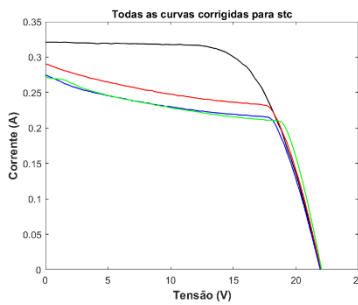
$V_b = 38.772583$ $\alpha = 0.000000$ $\beta = 0.000003$ $\gamma = 0.002443$ $I_{ph}(A) = 0.323288$ $I_0(uA) = 2.103325$ $n = 2.000000$ $R_s(ohms) = 5.000000$ $R_p(ohms) = 897.300002$ $RMSE = 0.006935$	$V_{br} = -2.447440$ $m = 2.000000$ $I_{02}(uA) = 1.000000$ $n_2 = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.418247$ $I_0(uA) = 0.000006$ $n = 1.000000$ $R_s(ohms) = 5.000000$ $R_p(ohms) = 160.521348$ $RMSE = 0.014605$	$V_{br} = -7.012661$ $m = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.327649$ $I_0(uA) = 0.134998$ $n = 1.623983$ $R_s(ohms) = 8.473653$ $R_p(ohms) = 2000.000000$ $RMSE = 0.001412$
Variação Vermelha		
		
VD_JUNG $I_{shade} = 0.243848$ $V_b = 39.576513$ $\alpha = 0.000000$ $\beta = 10.000000$ $\gamma = 0.000000$ $I_{ph}(A) = 0.266186$ $I_0(uA) = 1.980122$ $n = 2.000000$ $R_s(ohms) = 5.000000$ $R_p(ohms) = 1040.672938$ $RMSE = 0.002897$	VD_QUASCHNING $a = 0.100000$ $V_{br} = -4.052470$ $m = 2.000000$ $I_{02}(uA) = 1.000000$ $n_2 = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.385309$ $I_0(uA) = 0.000006$ $n = 1.000000$ $R_s(ohms) = 5.000000$ $R_p(ohms) = 231.182544$ $RMSE = 0.009024$	VD_BISHOP $a = 0.000094$ $V_{br} = -12.766171$ $m = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.268936$ $I_0(uA) = 0.018725$ $n = 1.439879$ $R_s(ohms) = 6.972784$ $R_p(ohms) = 1317.759326$ $RMSE = 0.006485$
Variação Azul		
		
VD_JUNG $I_{shade} = 0.231000$ $V_b = 37.354410$ $\alpha = 0.000000$ $\beta = 10.000000$ $\gamma = 0.000000$ $I_{ph}(A) = 0.253687$ $I_0(uA) = 2.031585$ $n = 2.000000$ $R_s(ohms) = 5.000000$ $R_p(ohms) = 1096.044199$ $RMSE = 0.002416$	VD_QUASCHNING $a = 0.100000$ $V_{br} = -4.257016$ $m = 2.000000$ $I_{02}(uA) = 1.000000$ $n_2 = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.377658$ $I_0(uA) = 0.000007$ $n = 1.000000$ $R_s(ohms) = 5.000000$ $R_p(ohms) = 237.354172$ $RMSE = 0.008419$	VD_BISHOP $a = 0.000089$ $V_{br} = -13.159412$ $m = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.255956$ $I_0(uA) = 0.043201$ $n = 1.512690$ $R_s(ohms) = 6.426675$ $R_p(ohms) = 1458.603248$ $RMSE = 0.006710$
Variação Verde		

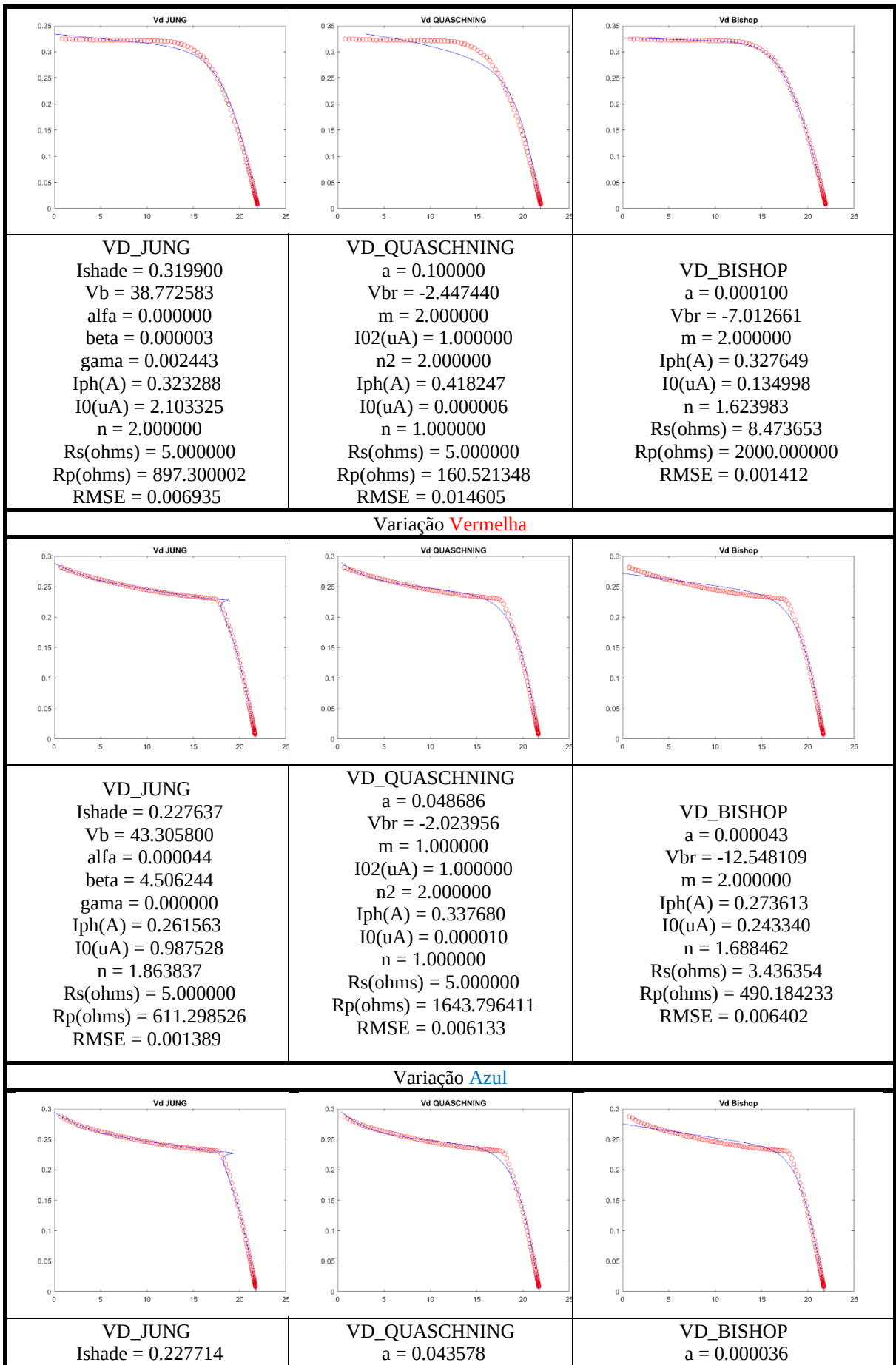
		
VD_JUNG Ishade = 0.221062 Vb = 37.408093 alfa = 0.000000 beta = 9.897812 gama = 0.000000 Iph(A) = 0.242936 I0(uA) = 0.318379 n = 1.712536 Rs(ohms) = 4.782315 Rp(ohms) = 1215.565672 RMSE = 0.001859	VD_QUASCHNING a = 0.042469 Vbr = -4.354514 m = 1.395472 I02(uA) = 1.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.315600 I0(uA) = 0.000011 n = 1.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 10000.000000 RMSE = 0.005457	VD_BISHOP a = 0.000078 Vbr = -10.945449 m = 2.000000 Iph(A) = 0.246772 I0(uA) = 0.022708 n = 1.439172 Rs(ohms) = 4.613797 Rp(ohms) = 1180.568841 RMSE = 0.006012

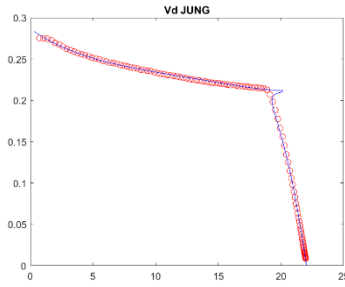
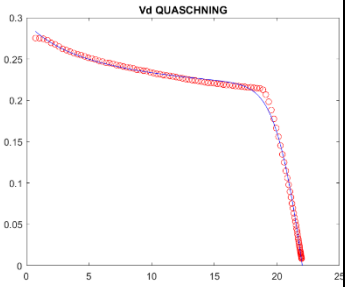
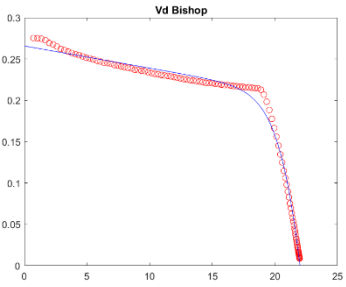
Experimento V - Módulo B - Célula 11					
Variação do espectro					
		S/Var	Vermel ha	Azul	Verde
		Dados da Curva IV	Dados da Curva IV	Dados da Curva IV	Dados da Curva IV
		Vmp = 16.057 5 Imp = 0.2866 Voc = 22.990 6 Isc = 0.3210 E = 1000 Tc = 25	Vmp = 17.9103 9 Imp = 0.2268 Voc = 21.937 9 Isc = 0.2860 E = 1000 Tc = 25	Vmp = 17.988 9 Imp = 0.2115 Voc = 21.937 9 Isc = 0.2687 E = 1000 Tc = 25	Vmp = 18.949 9 Imp = 0.2053 Voc = 22.072 4 Isc = 0.2707 E = 1000 Tc = 25
Sem Variação					
					
VD_JUNG Ishade = 0.319900	VD_QUASCHNING a = 0.100000	VD_BISHOP a = 0.000100			

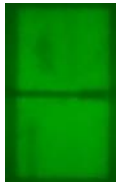
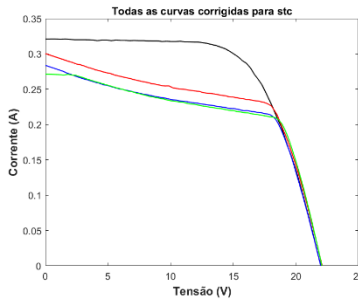
$V_b = 38.772583$ $\alpha = 0.000000$ $\beta = 0.000003$ $\gamma = 0.002443$ $I_{ph}(A) = 0.323288$ $I_0(uA) = 2.103325$ $n = 2.000000$ $R_s(ohms) = 5.000000$ $R_p(ohms) = 897.300002$ $RMSE = 0.006935$	$V_{br} = -2.447440$ $m = 2.000000$ $I_{02}(uA) = 1.000000$ $n_2 = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.418247$ $I_0(uA) = 0.000006$ $n = 1.000000$ $R_s(ohms) = 5.000000$ $R_p(ohms) = 160.521348$ $RMSE = 0.014605$	$V_{br} = -7.012661$ $m = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.327649$ $I_0(uA) = 0.134998$ $n = 1.623983$ $R_s(ohms) = 8.473653$ $R_p(ohms) = 2000.000000$ $RMSE = 0.001412$
Variação Vermelha		
		
VD_JUNG $I_{shade} = 0.222803$ $V_b = 43.435800$ $\alpha = 0.000072$ $\beta = 3.497090$ $\gamma = 0.000000$ $I_{ph}(A) = 0.257846$ $I_0(uA) = 2.132592$ $n = 2.000000$ $R_s(ohms) = 5.000000$ $R_p(ohms) = 633.888943$ $RMSE = 0.001383$	VD_QUASCHNING $a = 0.052715$ $V_{br} = -1.689763$ $m = 1.000000$ $I_{02}(uA) = 1.000000$ $n_2 = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.333840$ $I_0(uA) = 0.000008$ $n = 1.000000$ $R_s(ohms) = 5.000000$ $R_p(ohms) = 1003.185446$ $RMSE = 0.006709$	VD_BISHOP $a = 0.000033$ $V_{br} = -12.872738$ $m = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.272895$ $I_0(uA) = 0.033222$ $n = 1.486854$ $R_s(ohms) = 5.283022$ $R_p(ohms) = 464.406284$ $RMSE = 0.006188$
Variação Azul		
		
VD_JUNG $I_{shade} = 0.225002$ $V_b = 43.565800$ $\alpha = 0.000011$ $\beta = 6.588366$ $\gamma = 0.000000$ $I_{ph}(A) = 0.268398$ $I_0(uA) = 1.004691$ $n = 1.878229$ $R_s(ohms) = 5.000000$ $R_p(ohms) = 492.111787$ $RMSE = 0.001458$	VD_QUASCHNING $a = 0.035507$ $V_{br} = -5.042175$ $m = 1.251680$ $I_{02}(uA) = 1.000000$ $n_2 = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.340440$ $I_0(uA) = 0.000008$ $n = 1.000000$ $R_s(ohms) = 5.000000$ $R_p(ohms) = 10000.000000$ $RMSE = 0.006329$	VD_BISHOP $a = 0.000035$ $V_{br} = -12.870836$ $m = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.277089$ $I_0(uA) = 0.011139$ $n = 1.392389$ $R_s(ohms) = 4.659509$ $R_p(ohms) = 433.342256$ $RMSE = 0.006651$
Variação Verde		

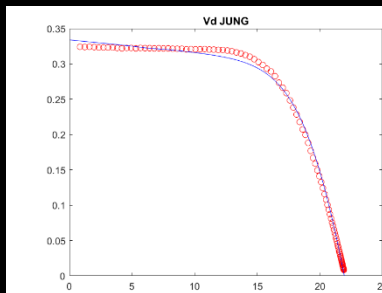
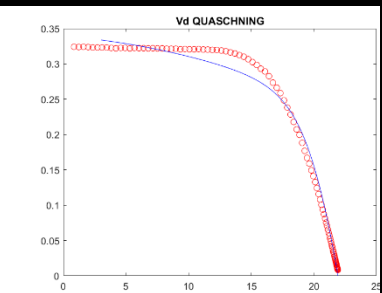
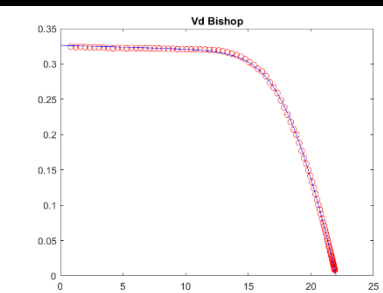
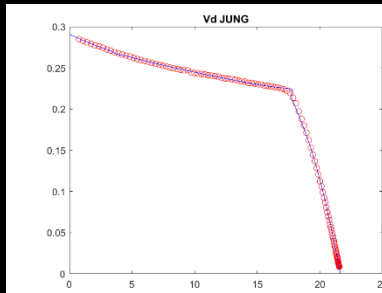
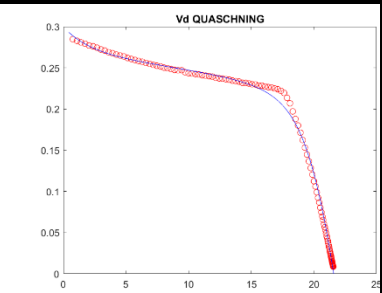
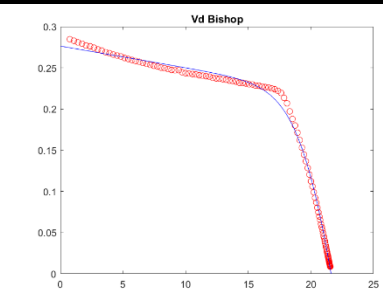
		
VD_JUNG Ishade = 0.205751 Vb = 43.989759 alfa = 0.000025 beta = 5.240772 gama = 0.000000 Iph(A) = 0.248446 I0(uA) = 0.263057 n = 1.740205 Rs(ohms) = 3.198947 Rp(ohms) = 506.980724 RMSE = 0.001066	VD_QUASCHNING a = 0.036058 Vbr = -3.409683 m = 1.000000 I02(uA) = 0.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.325440 I0(uA) = 0.000009 n = 1.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 4752.442908 RMSE = 0.004323	VD_BISHOP a = 0.000026 Vbr = -11.160879 m = 2.000000 Iph(A) = 0.263596 I0(uA) = 0.001378 n = 1.270895 Rs(ohms) = 2.415613 Rp(ohms) = 361.097313 RMSE = 0.006378

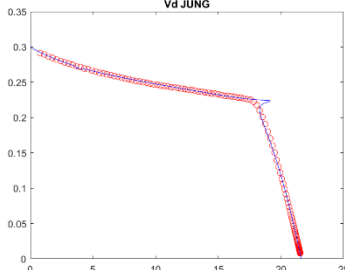
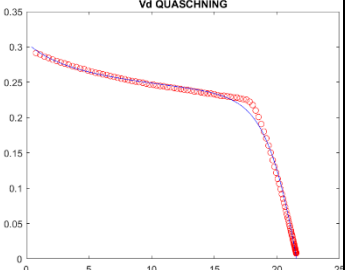
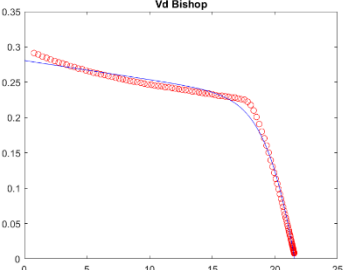
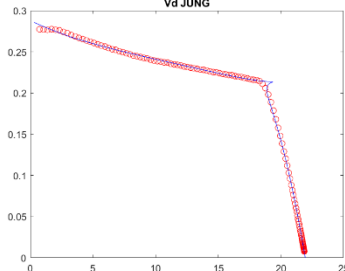
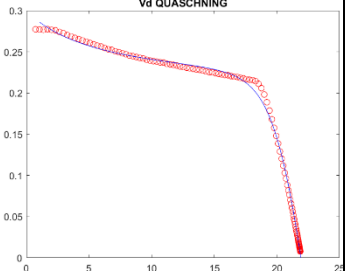
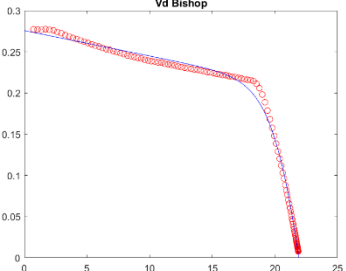
Experimento V - Módulo B - Célula 12					
Variação do espectro					
		S/Var	Vermel ha	Azul	Verde
		Dados da Curva IV	Dados da Curva IV	Dados da Curva IV	Dados da Curva IV
		Vmp = 16.057	Vmp = 17.879	Vmp = 18.867	Vmp = 18.867
		5	9	4	4
		Imp = 0.2866	Imp = 0.2147	Imp = 0.2084	Imp = 0.2084
		Voc = 22.990	Voc = 21.943	Voc = 22.051	Voc = 22.051
		6	6	4	4
		Isc = 0.3210	Isc = 0.2749	Isc = 0.2715	Isc = 0.2715
		E = 1000	E = 1000	E = 1000	E = 1000
		Tc = 25	Tc = 25	Tc = 25	Tc = 25
Sem Variação					

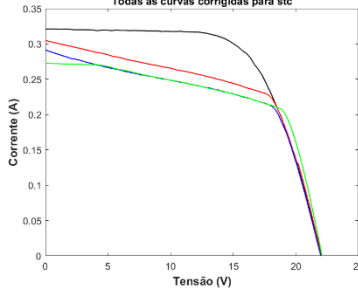


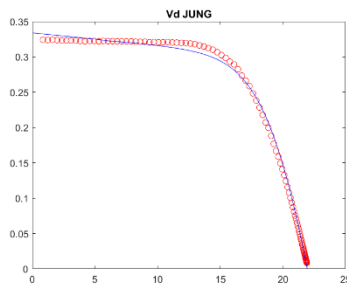
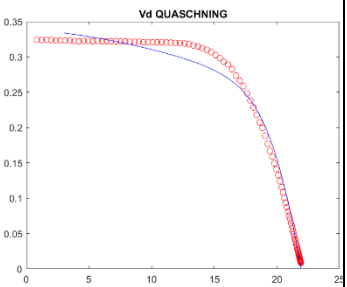
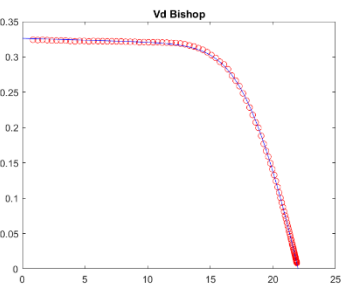
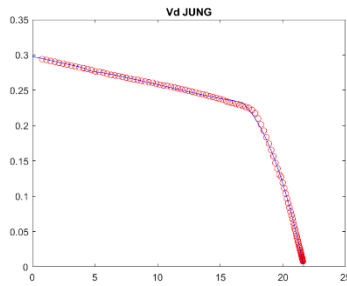
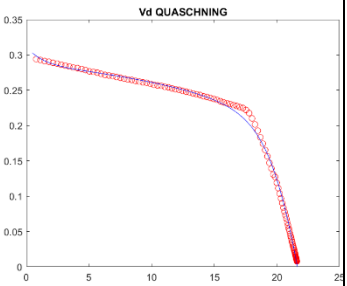
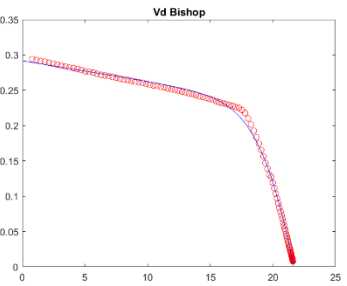
$V_b = 43.403200$ $\alpha = 0.000039$ $\beta = 4.951844$ $\gamma = 0.000000$ $I_{ph}(A) = 0.260648$ $I_0(uA) = 0.856026$ $n = 1.845220$ $R_s(ohms) = 5.000000$ $R_p(ohms) = 677.344616$ $RMSE = 0.001606$	$V_{br} = -3.008313$ $m = 1.051725$ $I_{02}(uA) = 1.000000$ $n_2 = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.344640$ $I_0(uA) = 0.000010$ $n = 1.000000$ $R_s(ohms) = 5.000000$ $R_p(ohms) = 10000.000000$ $RMSE = 0.006587$	$V_{br} = -12.650322$ $m = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.278727$ $I_0(uA) = 0.002487$ $n = 1.270184$ $R_s(ohms) = 5.855277$ $R_p(ohms) = 432.005653$ $RMSE = 0.006454$
Variação Verde		
		
VD_JUNG $I_{shade} = 0.211163$ $V_b = 43.729981$ $\alpha = 0.000041$ $\beta = 4.691960$ $\gamma = 0.000000$ $I_{ph}(A) = 0.248835$ $I_0(uA) = 0.184807$ $n = 1.686750$ $R_s(ohms) = 3.463411$ $R_p(ohms) = 590.981083$ $RMSE = 0.001366$	VD_QUASCHNING $a = 0.034625$ $V_{br} = -3.613440$ $m = 1.000000$ $I_{02}(uA) = 0.000000$ $n_2 = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.330360$ $I_0(uA) = 0.000010$ $n = 1.000000$ $R_s(ohms) = 5.000000$ $R_p(ohms) = 4732.951652$ $RMSE = 0.004521$	VD_BISHOP $a = 0.000037$ $V_{br} = -10.503716$ $m = 2.000000$ $I_{ph}(A) = 0.267263$ $I_0(uA) = 0.005039$ $n = 1.355352$ $R_s(ohms) = 2.122673$ $R_p(ohms) = 371.891914$ $RMSE = 0.006866$

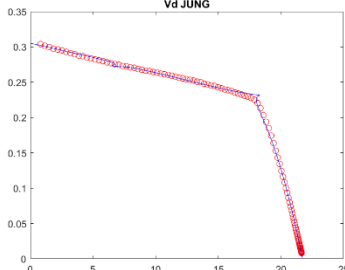
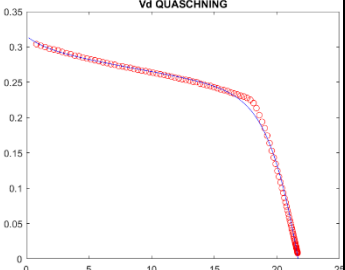
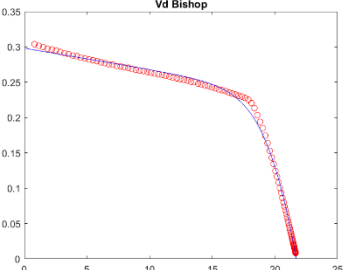
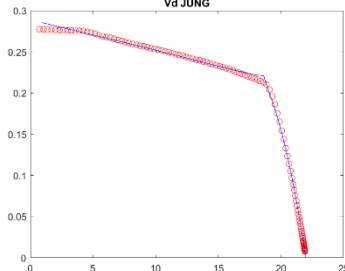
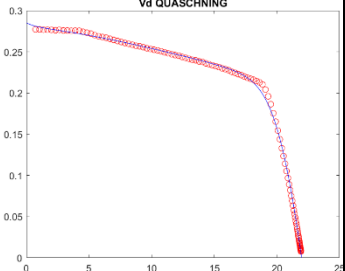
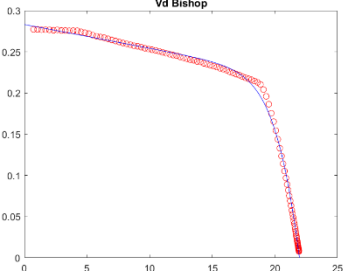
Experimento V - Módulo B - Célula 23					
Variação do espectro					
		S/Var	Vermel ha	Azul	Verde
		Dados da Curva IV	Dados da Curva IV	Dados da Curva IV	Dados da Curva IV
		$V_{mp} = 16.0575$	$V_{mp} = 18.0354$	$V_{mp} = 18.1498$	$V_{mp} = 18.4059$
		$I_{mp} = 0.2866$	$I_{mp} = 0.2264$	$I_{mp} = 0.2116$	$I_{mp} = 0.2094$
		$V_{oc} = 22.9906$	$V_{oc} = 22.0990$	$V_{oc} = 21.9826$	$V_{oc} = 22.0807$
		$I_{sc} = 0.3210$	$I_{sc} = 0.3005$	$I_{sc} = 0.2838$	$I_{sc} = 0.2713$
		$E = 1000$	$E = 1000$	$E = 1000$	$E = 1000$
			$T_c = 25$		

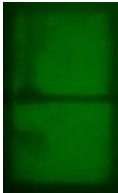
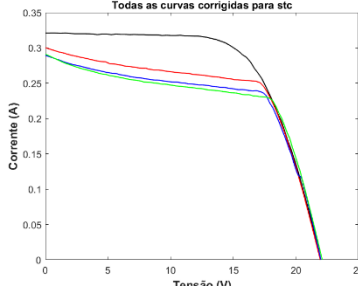
		Tc = 25		Tc = 25	Tc = 25
Sem Variação					
					
VD_JUNG Ishade = 0.319900 Vb = 38.772583 alfa = 0.000000 beta = 0.000003 gama = 0.002443 Iph(A) = 0.323288 I0(uA) = 2.103325 n = 2.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 897.300002 RMSE = 0.006935	VD_QUASCHNING a = 0.100000 Vbr = -2.447440 m = 2.000000 I02(uA) = 1.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.418247 I0(uA) = 0.000006 n = 1.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 160.521348 RMSE = 0.014605	VD_BISHOP a = 0.000100 Vbr = -7.012661 m = 2.000000 Iph(A) = 0.327649 I0(uA) = 0.134998 n = 1.623983 Rs(ohms) = 8.473653 Rp(ohms) = 2000.000000 RMSE = 0.001412			
Variação Vermelha					
					
VD_JUNG Ishade = 0.224305 Vb = 43.091200 alfa = 0.000076 beta = 3.689488 gama = 0.000000 Iph(A) = 0.266961 I0(uA) = 2.638702 n = 2.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 447.282231 RMSE = 0.001265	VD_QUASCHNING a = 0.037986 Vbr = -5.841595 m = 2.000000 I02(uA) = 1.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.341640 I0(uA) = 0.000013 n = 1.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 253.550585 RMSE = 0.006631	VD_BISHOP a = 0.000033 Vbr = -11.379112 m = 2.000000 Iph(A) = 0.280129 I0(uA) = 0.047742 n = 1.496530 Rs(ohms) = 5.164497 Rp(ohms) = 376.199595 RMSE = 0.005751			
Variação Azul					

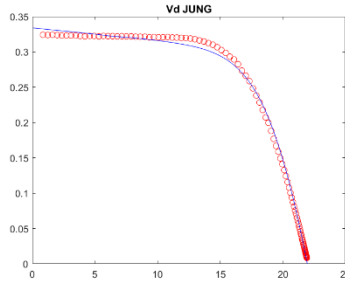
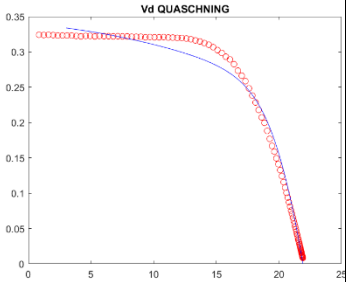
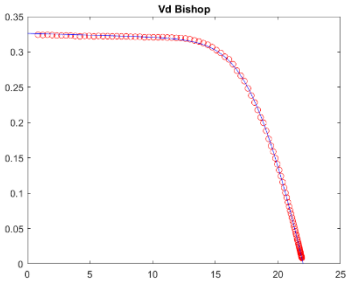
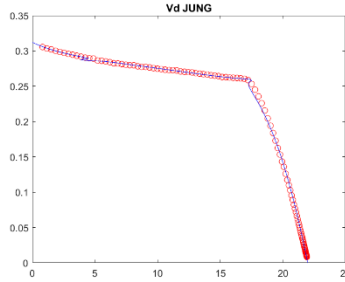
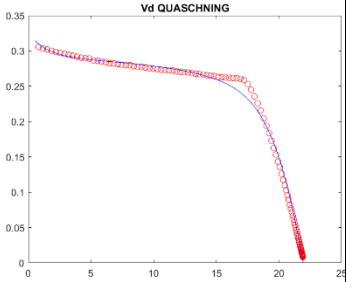
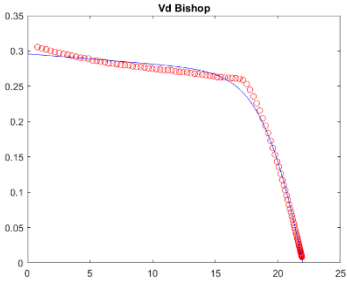
		
VD_JUNG Ishade = 0.223585 Vb = 43.068400 alfa = 0.000042 beta = 4.827748 gama = 0.000000 Iph(A) = 0.270623 I0(uA) = 2.100004 n = 1.951089 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 449.113909 RMSE = 0.001335	VD_QUASCHNING a = 0.043914 Vbr = -2.571152 m = 1.000000 I02(uA) = 1.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.349680 I0(uA) = 0.000016 n = 1.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 1308.187588 RMSE = 0.006529	VD_BISHOP a = 0.000037 Vbr = -10.886926 m = 2.000000 Iph(A) = 0.283479 I0(uA) = 0.092642 n = 1.558103 Rs(ohms) = 3.626223 Rp(ohms) = 366.841281 RMSE = 0.006930
Variação Verde		
		
VD_JUNG Ishade = 0.213336 Vb = 43.731800 alfa = 0.000059 beta = 3.724410 gama = 0.000000 Iph(A) = 0.267759 I0(uA) = 0.453341 n = 1.776183 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 376.214862 RMSE = 0.001458	VD_QUASCHNING a = 0.030202 Vbr = -4.113469 m = 1.000000 I02(uA) = 0.585930 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.333000 I0(uA) = 0.000009 n = 1.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 10000.000000 RMSE = 0.005672	VD_BISHOP a = 0.000036 Vbr = -10.891952 m = 2.000000 Iph(A) = 0.278870 I0(uA) = 0.006498 n = 1.360623 Rs(ohms) = 3.693475 Rp(ohms) = 321.479530 RMSE = 0.006195

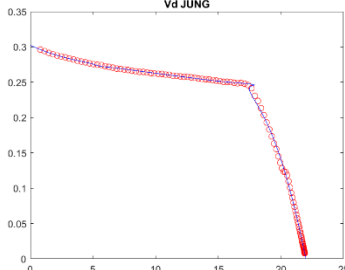
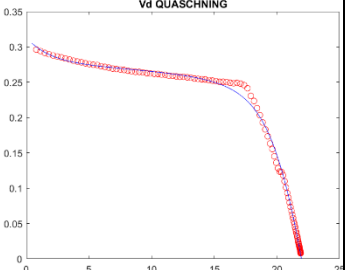
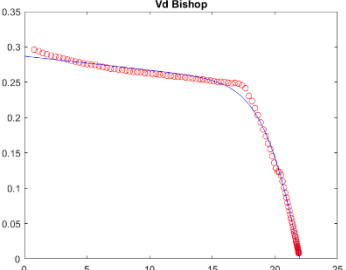
Experimento V - Módulo B - Célula 24				
Variação do espectro				
		S/Var	Vermel ha	Azul
		Dados da Curva IV	Dados da Curva IV	Dados da Curva IV
		Vmp = 16.057 5	Vmp = 17.8759	Vmp = 18.096 6
				Verde
				Dados da Curva IV
				Vmp = 18.925 1

		Imp = 0.2866 Voc = 22.990 6 Isc = 0.3210 E = 1000 Tc = 25	Imp = 0.2267 Voc = 22.0548 Isc = 0.3048 E = 1000 Tc = 25	Imp = 0.2115 Voc = 21.987 5 Isc = 0.2914 E = 1000 Tc = 25	Imp = 0.2065 Voc = 22.089 0 Isc = 0.2725 E = 1000 Tc = 25
Sem Variação					
					
VD_JUNG Ishade = 0.319900 Vb = 38.772583 alfa = 0.000000 beta = 0.000003 gama = 0.002443 Iph(A) = 0.323288 I0(uA) = 2.103325 n = 2.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 897.300002 RMSE = 0.006935	VD_QUASCHNING a = 0.100000 Vbr = -2.447440 m = 2.000000 I02(uA) = 1.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.418247 I0(uA) = 0.000006 n = 1.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 160.521348 RMSE = 0.014605	VD_BISHOP a = 0.000100 Vbr = -7.012661 m = 2.000000 Iph(A) = 0.327649 I0(uA) = 0.134998 n = 1.623983 Rs(ohms) = 8.473653 Rp(ohms) = 2000.000000 RMSE = 0.001412			
Variação Vermelha					
					
VD_JUNG Ishade = 0.233409 Vb = 35.791047 alfa = 0.000115 beta = 0.000000 gama = 0.000625 Iph(A) = 0.277683 I0(uA) = 2.487820 n = 2.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 371.828655 RMSE = 0.001624	VD_QUASCHNING a = 0.096505 Vbr = -3.445615 m = 2.000000 I02(uA) = 1.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.392723 I0(uA) = 0.000011 n = 1.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 157.701778 RMSE = 0.006018	VD_BISHOP a = 0.000011 Vbr = -14.283411 m = 2.000000 Iph(A) = 0.295492 I0(uA) = 0.376961 n = 1.733003 Rs(ohms) = 4.464553 Rp(ohms) = 338.875758 RMSE = 0.004520			
Variação Azul					

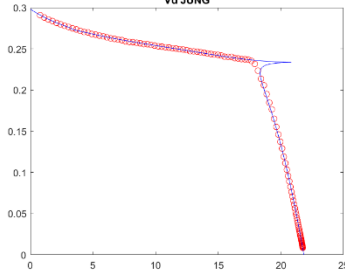
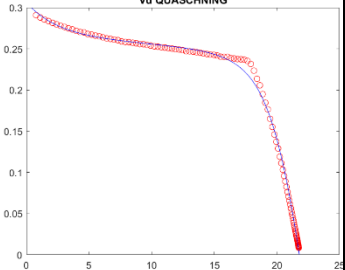
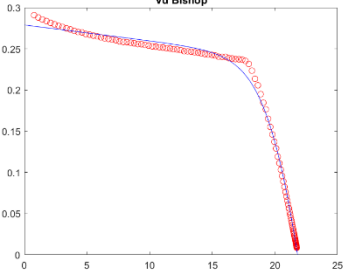
		
VD_JUNG Ishade = 0.231974 Vb = 40.376045 alfa = 0.000009 beta = 0.000000 gama = 0.000936 Iph(A) = 0.273955 I0(uA) = 0.917173 n = 1.842345 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 437.449801 RMSE = 0.002122	VD_QUASCHNING a = 0.061207 Vbr = -1.677254 m = 1.183882 I02(uA) = 1.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.364680 I0(uA) = 0.000012 n = 1.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 298.924103 RMSE = 0.006007	VD_BISHOP a = 0.000018 Vbr = -13.238710 m = 2.000000 Iph(A) = 0.301461 I0(uA) = 0.270488 n = 1.691351 Rs(ohms) = 3.681672 Rp(ohms) = 328.029106 RMSE = 0.005632
Variação Verde		
		
VD_JUNG Ishade = 0.213336 Vb = 43.731800 alfa = 0.000059 beta = 3.724410 gama = 0.000000 Iph(A) = 0.267759 I0(uA) = 0.453341 n = 1.776183 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 376.214862 RMSE = 0.001458	VD_QUASCHNING a = 0.030202 Vbr = -4.113469 m = 1.000000 I02(uA) = 0.585930 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.333000 I0(uA) = 0.000009 n = 1.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 10000.000000 RMSE = 0.005672	VD_BISHOP a = 0.000036 Vbr = -10.891952 m = 2.000000 Iph(A) = 0.278870 I0(uA) = 0.006498 n = 1.360623 Rs(ohms) = 3.693475 Rp(ohms) = 321.479530 RMSE = 0.006195

Experimento V - Módulo B - Célula 28				
Variação do espectro				
		S/Var	Vermel ha	Azul
		Dados da Curva IV	Dados da Curva IV	Dados da Curva IV
		Vmp = 16.057 5	Vmp = 17.1398	Vmp = 17.382 3
				Verde
				Dados da Curva IV
				Vmp = 17.884 4

		Imp = 0.2866 Voc = 22.990 6 Isc = 0.3210 E = 1000 Tc = 25	Imp = 0.2508 Voc = 21.9452 Isc = 0.3003 E = 1000 Tc = 25	Imp = 0.2365 Voc = 21.998 8 Isc = 0.2894 E = 1000 Tc = 25	Imp = 0.2289 Voc = 22.102 9 Isc = 0.2912 E = 1000 Tc = 25
Sem Variação					
					
VD_JUNG Ishade = 0.319900 Vb = 38.772583 alfa = 0.000000 beta = 0.000003 gama = 0.002443 Iph(A) = 0.323288 I0(uA) = 2.103325 n = 2.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 897.300002 RMSE = 0.006935	VD_QUASCHNING a = 0.100000 Vbr = -2.447440 m = 2.000000 I02(uA) = 1.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.418247 I0(uA) = 0.000006 n = 1.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 160.521348 RMSE = 0.014605	VD_BISHOP a = 0.000100 Vbr = -7.012661 m = 2.000000 Iph(A) = 0.327649 I0(uA) = 0.134998 n = 1.623983 Rs(ohms) = 8.473653 Rp(ohms) = 2000.000000 RMSE = 0.001412			
Variação Vermelha					
					
VD_JUNG Ishade = 0.259537 Vb = 43.829165 alfa = 0.000001 beta = 9.833592 gama = 0.000343 Iph(A) = 0.287206 I0(uA) = 1.921557 n = 2.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 668.073937 RMSE = 0.002471	VD_QUASCHNING a = 0.100000 Vbr = -3.983930 m = 2.000000 I02(uA) = 1.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.415569 I0(uA) = 0.000005 n = 1.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 189.416513 RMSE = 0.008552	VD_BISHOP a = 0.000047 Vbr = -13.766493 m = 2.000000 Iph(A) = 0.298054 I0(uA) = 0.282088 n = 1.728673 Rs(ohms) = 5.491623 Rp(ohms) = 707.394057 RMSE = 0.006373			
Variação Azul					

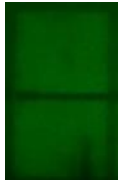
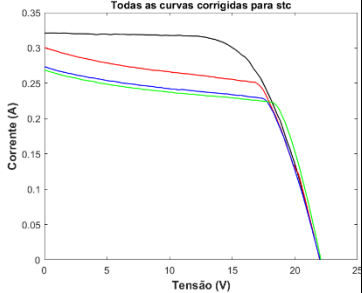
		
VD_JUNG Ishade = 0.247253 Vb = 43.270925 alfa = 0.000009 beta = 6.714220 gama = 0.000244 Iph(A) = 0.273464 I0(uA) = 1.909970 n = 1.999997 Rs(ohms) = 4.644710 Rp(ohms) = 728.613468 RMSE = 0.002119	VD_QUASCHNING a = 0.058800 Vbr = -5.092276 m = 2.000000 I02(uA) = 1.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.372948 I0(uA) = 0.000006 n = 1.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 262.140513 RMSE = 0.006218	VD_BISHOP a = 0.000052 Vbr = -11.118140 m = 2.000000 Iph(A) = 0.289812 I0(uA) = 0.074981 n = 1.579100 Rs(ohms) = 5.189305 Rp(ohms) = 505.632857 RMSE = 0.005540

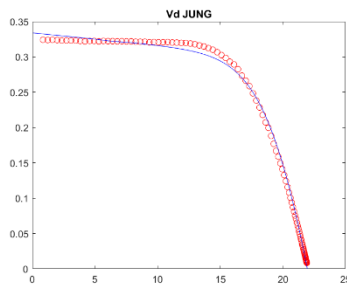
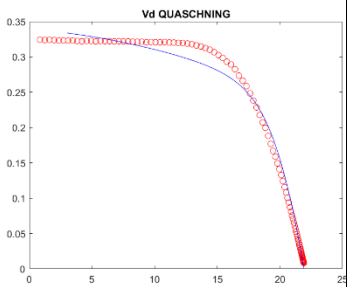
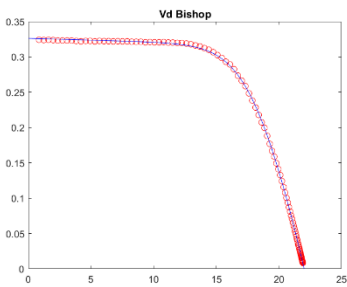
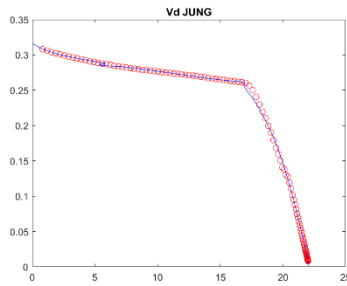
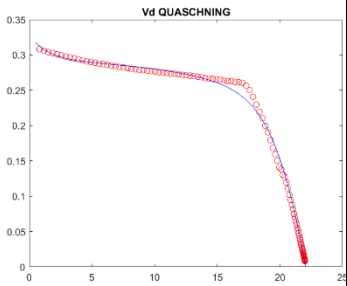
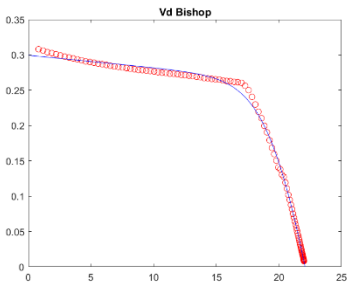
Variação Verde

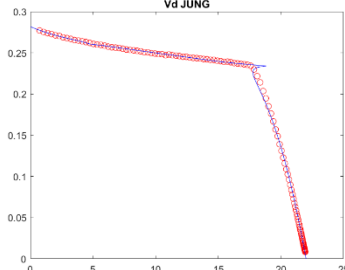
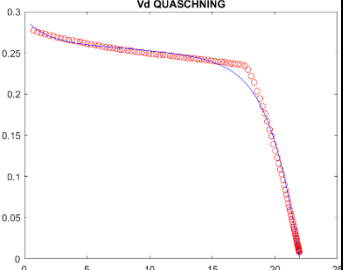
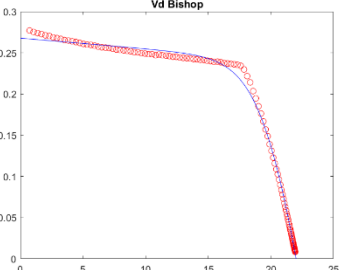
		
VD_JUNG Ishade = 0.233780 Vb = 43.494400 alfa = 0.000013 beta = 6.471128 gama = 0.000000 Iph(A) = 0.272825 I0(uA) = 1.724842 n = 1.946828 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 578.434811 RMSE = 0.001252	VD_QUASCHNING a = 0.037232 Vbr = -7.069442 m = 2.000000 I02(uA) = 1.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.348960 I0(uA) = 0.000010 n = 1.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 369.445457 RMSE = 0.006299	VD_BISHOP a = 0.000032 Vbr = -11.987434 m = 2.000000 Iph(A) = 0.281207 I0(uA) = 0.098672 n = 1.584280 Rs(ohms) = 4.278997 Rp(ohms) = 516.852575 RMSE = 0.006301

Experimento V - Módulo B - Célula 29

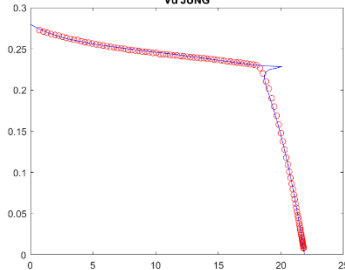
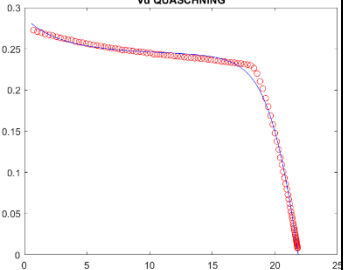
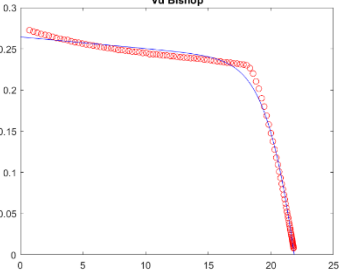
Variação do espectro

		S/Var	Vermelha	Azul	Verde
		Dados da Curva IV	Dados da Curva IV	Dados da Curva IV	Dados da Curva IV
		Vmp = 16.057 5	Vmp = 17.1770 Imp = 0.2469	Vmp = 17.539 8	Vmp = 18.235 3

		Imp = 0.2866 Voc = 22.990 6 Isc = 0.3210 E = 1000 Tc = 25	Voc = 21.9788 Isc = 0.3003 E = 1000 Tc = 25	Imp = 0.2279 Voc = 22.004 7 Isc = 0.2734 E = 1000 Tc = 25	Imp = 0.2228 Voc = 22.080 5 Isc = 0.2687 E = 1000 Tc = 25
Sem Variação					
					
VD_JUNG Ishade = 0.319900 Vb = 38.772583 alfa = 0.000000 beta = 0.000003 gama = 0.002443 Iph(A) = 0.323288 I0(uA) = 2.103325 n = 2.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 897.300002 RMSE = 0.006935	VD_QUASCHNING a = 0.100000 Vbr = -2.447440 m = 2.000000 I02(uA) = 1.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.418247 I0(uA) = 0.000006 n = 1.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 160.521348 RMSE = 0.014605	VD_BISHOP a = 0.000100 Vbr = -7.012661 m = 2.000000 Iph(A) = 0.327649 I0(uA) = 0.134998 n = 1.623983 Rs(ohms) = 8.473653 Rp(ohms) = 2000.000000 RMSE = 0.001412			
Variação Vermelha					
					
VD_JUNG Ishade = 0.261485 Vb = 35.709293 alfa = 0.000000 beta = 10.000000 gama = 0.000582 Iph(A) = 0.285257 I0(uA) = 1.744230 n = 2.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 698.326448 RMSE = 0.002100	VD_QUASCHNING a = 0.100000 Vbr = -4.005518 m = 2.000000 I02(uA) = 1.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.418796 I0(uA) = 0.000004 n = 1.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 185.565668 RMSE = 0.007102	VD_BISHOP a = 0.000051 Vbr = -12.096198 m = 2.000000 Iph(A) = 0.302496 I0(uA) = 0.172159 n = 1.681357 Rs(ohms) = 5.748091 Rp(ohms) = 566.689979 RMSE = 0.005265			
Variação Azul					

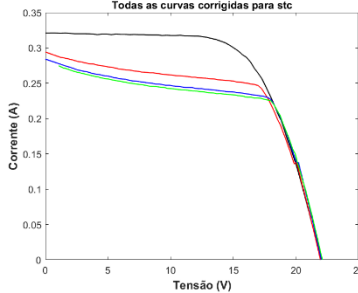
		
VD_JUNG Ishade = 0.234585 Vb = 43.884600 alfa = 0.000005 beta = 6.886415 gama = 0.000159 Iph(A) = 0.261390 I0(uA) = 1.751426 n = 2.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 765.866230 RMSE = 0.002066	VD_QUASCHNING a = 0.050808 Vbr = -4.848471 m = 2.000000 I02(uA) = 1.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.340304 I0(uA) = 0.000004 n = 1.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 316.569348 RMSE = 0.007316	VD_BISHOP a = 0.000068 Vbr = -12.111967 m = 2.000000 Iph(A) = 0.269848 I0(uA) = 0.080719 n = 1.596699 Rs(ohms) = 5.873956 Rp(ohms) = 768.322412 RMSE = 0.005967

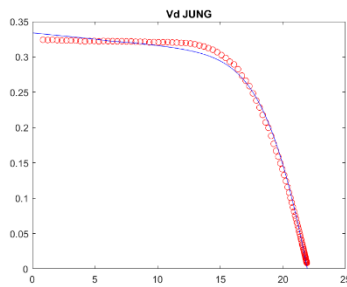
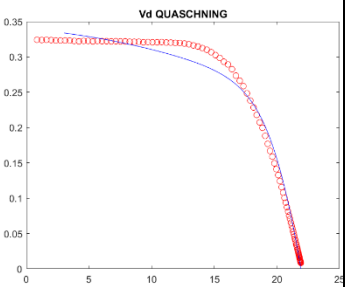
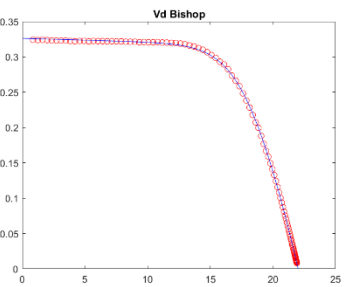
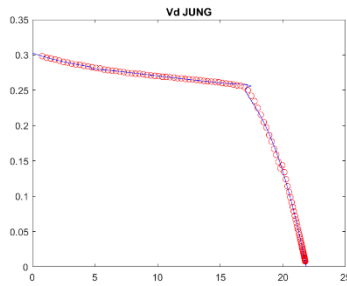
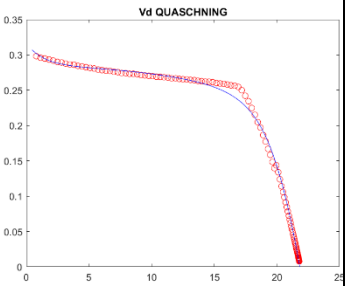
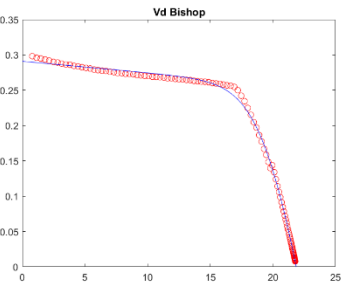
Variação Verde

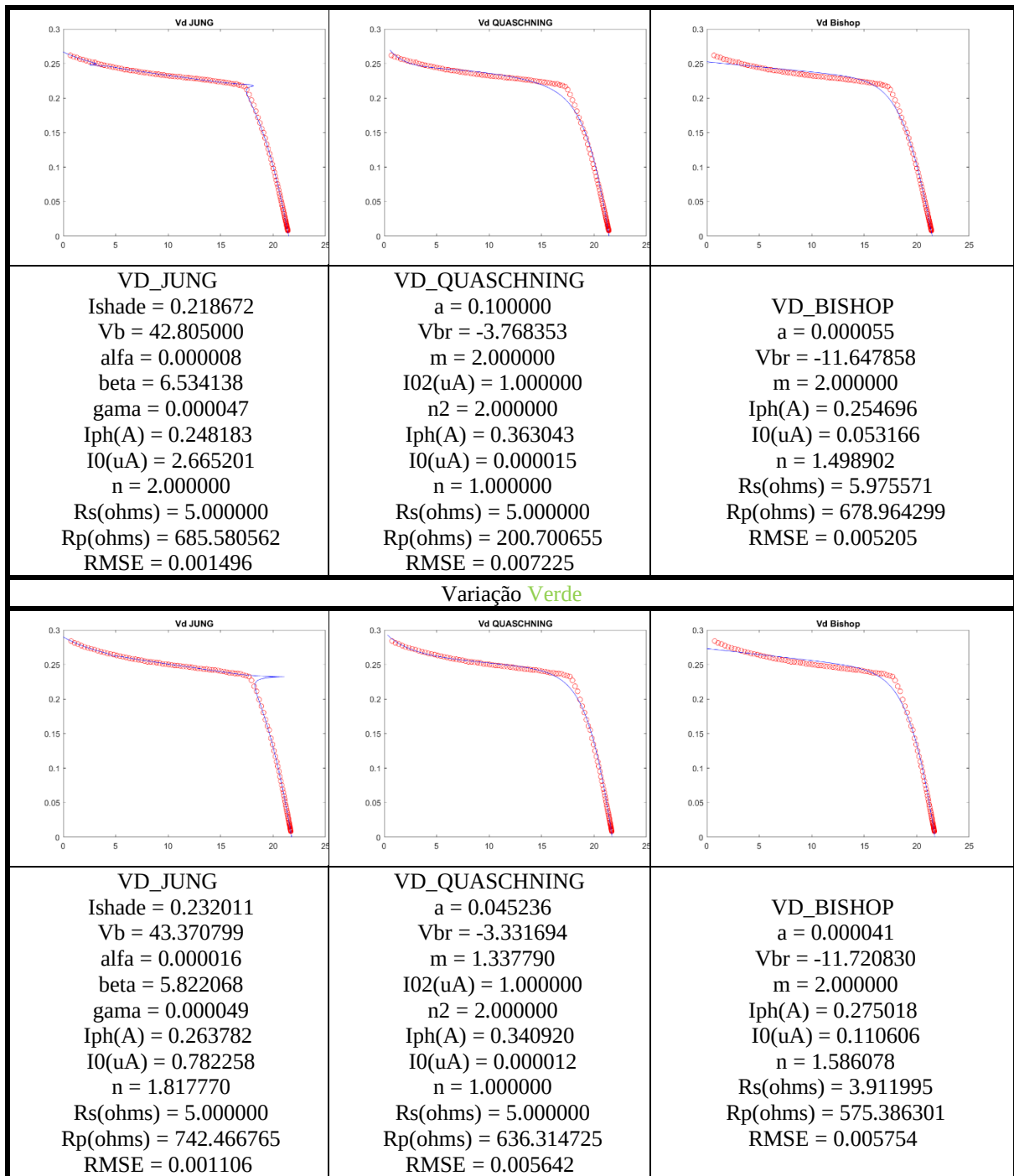
		
VD_JUNG Ishade = 0.227908 Vb = 43.163098 alfa = 0.000002 beta = 8.610964 gama = 0.000001 Iph(A) = 0.262681 I0(uA) = 0.397851 n = 1.748137 Rs(ohms) = 4.329951 Rp(ohms) = 656.545580 RMSE = 0.001373	VD_QUASCHNING a = 0.040455 Vbr = -3.457953 m = 1.205131 I02(uA) = 0.702459 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.327120 I0(uA) = 0.000011 n = 1.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 10000.000000 RMSE = 0.005339	VD_BISHOP a = 0.000054 Vbr = -11.276618 m = 2.000000 Iph(A) = 0.265648 I0(uA) = 0.033352 n = 1.484679 Rs(ohms) = 3.443979 Rp(ohms) = 709.793154 RMSE = 0.006099

Experimento V - Módulo B - Célula 35

Variação do espectro

		S/Var	Vermel ha	Azul	Verde
		Dados da Curva IV	Dados da Curva IV	Dados da Curva IV	Dados da Curva IV
		Vmp = 16.057 5	Vmp = 16.9866 Imp = 0.2467	Vmp = 17.984 6	Vmp = 17.999 7

		Imp = 0.2866 Voc = 22.990 6 Isc = 0.3210 E = 1000 Tc = 25	Voc = 21.9589 Isc = 0.2942 E = 1000 Tc = 25	Imp = 0.2274 Voc = 22.032 8 Isc = 0.2841 E = 1000 Tc = 25	Imp = 0.2225 Voc = 22.110 5 Isc = 0 E = 1000 Tc = 25
Sem Variação					
					
VD_JUNG Ishade = 0.319900 Vb = 38.772583 alfa = 0.000000 beta = 0.000003 gama = 0.002443 Iph(A) = 0.323288 I0(uA) = 2.103325 n = 2.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 897.300002 RMSE = 0.006935	VD_QUASCHNING a = 0.100000 Vbr = -2.447440 m = 2.000000 I02(uA) = 1.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.418247 I0(uA) = 0.000006 n = 1.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 160.521348 RMSE = 0.014605	VD_BISHOP a = 0.000100 Vbr = -7.012661 m = 2.000000 Iph(A) = 0.327649 I0(uA) = 0.134998 n = 1.623983 Rs(ohms) = 8.473653 Rp(ohms) = 2000.000000 RMSE = 0.001412			
Variação Vermelha					
					
VD_JUNG Ishade = 0.257247 Vb = 37.282130 alfa = 0.000013 beta = 4.685059 gama = 0.000223 Iph(A) = 0.280084 I0(uA) = 2.167210 n = 1.999987 Rs(ohms) = 4.856122 Rp(ohms) = 830.831296 RMSE = 0.001822	VD_QUASCHNING a = 0.100000 Vbr = -3.729665 m = 2.000000 I02(uA) = 1.000000 n2 = 2.000000 Iph(A) = 0.401878 I0(uA) = 0.000008 n = 1.000000 Rs(ohms) = 5.000000 Rp(ohms) = 192.867584 RMSE = 0.006852	VD_BISHOP a = 0.000048 Vbr = -12.155195 m = 2.000000 Iph(A) = 0.293873 I0(uA) = 0.053704 n = 1.527808 Rs(ohms) = 6.017311 Rp(ohms) = 607.892241 RMSE = 0.004457			
Variação Azul					



Apêndice B

Implementação dos modelos Bishop (1988), Quaschnig (1996) e Jung *et al.* (2013) no Matlab®

```
numCurva = 1; % escolher uma curva
for j = 1:1
V = IVCurves(numCurva).V;
I = IVCurves(numCurva).I;
Ns = Specs.Ns;
Tc = IVCurves(numCurva).Tc;
Isc = max(I);
Voc = max(V);

IVdata.Vmed = V;
IVdata.Imed = I;
IVdata.Ns = Ns;
IVdata.Tc = Tc;

% Escolher um modelo
if length(IVCurves) > 1
    if mod(numCurva,2) == 0
        tipo = {'VD_JUNG','VD_QUASCHNING','VD_BISHOP'} ; % 'VD_FIXO' ou 'VD_LOG' 'VD_LOG_EZ'
        'VD_BISHOP', VD_QUASCHNING, SumAbsError_POWER_VD_BISHOP
    else
        tipo = {'SEM SOMBREAMENTO'};
    end
else
    tipo = {'VD_JUNG','VD_QUASCHNING','VD_BISHOP'} ;
end

for i = 1:length(tipo)
switch tipo{i}
case 'VD_JUNG'
    % var = [Iph      I0   n   Rs   Rp   Ishade   Vb   alfa   beta   gama ];
    % Vb - (Ns-1)*Voc + Vmed + Imed*Rs > 0, caso contrario, surge
    % numeros complexos
    LB = [max(I)*0.9, 0*10^-9, 1, 0, 100, 0, min(V), 0, 0, 0]; % limite inferior
    max(I)*0.9
    UB = [max(I)*1.5, 50*10^-6, 2, 5, 10000, max(I), 2*max(V), 10e-3, 10, 10e-3]; % limite
    superior max(I)*1.1
    % LB = [Iph_, 0*10^-9, 1, 0, 100, 0, min(V), 0, 0, 0]; % limite inferior max(I)*0.9
    % UB = [Iph_, 50*10^-6, 2, 5, 10000, max(I), 2*max(V), 10e-3, 10, 10e-3]; % limite superior
    max(I)*1.1
    PARAM.Vbmin = @(Rs) (Ns-1)*Voc/Ns + Isc*Rs; % pior caso é na corrente de curto (tem certeza?)
    fobj = @(x) Sombreamento_RMSE_VD_JUNG(x, IVdata);
case 'VD_QUASCHNING'
    % var = [Iph      I0   n   Rs   Rp   a   Vbr   m   I02      n2];
    LB = [max(I)*1.2, 0*10^-9, 1, 0, 1e-9, 0, -25, 1, 0, 2]; % limite inferior max(I)*0.9
    UB = [max(I)*1.5, 50*10^-6, 1, 5, 1e4, 0.1, 0, 2, 10^-6, 2]; % limite superior max(I)*1.1
    % LB = [Iph_, 0*10^-9, 1, 0, 1e-9, 0, -25, .1, 0, 2]; % limite inferior max(I)*0.9
    % UB = [Iph_, 50*10^-6, 2, 5, 1e4, 0.1, 0, 10, 10^-6, 2]; % limite superior max(I)*1.1
    fobj = @(x) Sombreamento_RMSE_VD_QUASCHNING(x, IVdata);
case 'SumAbsError_POWER_VD_QUASCHNING'
    % var = [Iph      I0   n   Rs   Rp   a   Vbr   m   I02      n2];
    LB = [max(I)*1.2, 0*10^-9, 1, 0, 1e99, 0, -25, 1, 0, 2]; % limite inferior max(I)*0.9
    UB = [max(I)*1.5, 50*10^-6, 2, 5, 1e99, 0.1, 0, 2, 10^-6, 2]; % limite superior
    max(I)*1.1
```

```

fobj = @(x) Sombreamento_SumAbsError_POWER_VD_QUASCHNING(x, IVdata);
case 'VD_BISHOP'
    % var = [Iph      I0      n      Rs      Rp      a      Vbr      m];
    LB = [max(I)*0.9, 0*10^-6, 1, 0, 0, 0, -20, 2]; % limite inferior max(I)*0.9
    UB = [max(I)*1.1, 50*10^-6, 3, 50, 2000, 1e-4, 20, 2]; % limite superior max(I)*1.1
    fobj = @(x) Sombreamento_RMSE_VD_BISHOP(x, IVdata);
case 'SumAbsError_POWER_VD_BISHOP'
    % var = [Iph      I0      n      Rs      Rp      a      Vbr      m];
    LB = [max(I)*0.9, 0*10^-6, 1, 0, 0, 0, -20, 1]; % limite inferior max(I)*0.9
    UB = [max(I)*1.1, 50*10^-6, 3, 50, 2000, 3e-2, -15, 5]; % limite superior max(I)*1.1
    fobj = @(x) Sombreamento_SumAbsError_POWER_VD_BISHOP(x, IVdata);
case 'VD_LOG'
    % var = [Iph      I0      n      Rs      Rp,      a,      b];
    LB = [0.340292, 0, 1, 0, 0, -20, 0]; % limite inferior
    UB = [0.340292, 50*10^-6, 2, 50, 2000, 0, 200]; % limite superior
    fobj = @(x) Sombreamento_RMSE_VD_LOG(x, IVdata);
case 'VD_LOG_EZ'
    % var = [Iph      I0      n      Rs      Rp,      a,      b];
    LB = [max(I)*0.9, 0, 1, 0, 0, -20, 0]; % limite inferior
    UB = [max(I)*1.1, 50*10^-6, 2, 50, 2000, 0, 200]; % limite superior
    fobj = @(x) Sombreamento_RMSE_VD_LOG_EZ(x, IVdata);
case 'VD_FIXO'
    % var = [Iph      I0      n      Rs      Rp,      vd];
    LB = [max(I)*0.9, 0, 1, 0, 0, 0]; % limite inferior
    UB = [max(I)*1.1, 50*10^-6, 3, 50, 2000, 0]; % limite superior
    fobj = @(x) Sombreamento_RMSE_VD_FIXO(x, IVdata);
case 'SEM SOMBREAMENTO'
    % var = [Iph      I0      n      Rs      Rp];
    LB = [max(I)*0.9, 0, 1, 0, 0]; % limite inferior
    UB = [max(I)*1.1, 50*10^-6, 3, 50, 2000]; % limite superior
    fobj = @(x) SEM_Sombreamento_RMSE_CURRENT_SINGLE_DIODE(x, IVdata);
end

```

```

PARAM.pop = 20;
MAX_FES = 50000;

```

```

switch tipo{i}
case 'VD_JUNG'
    [xBest, fBest, ~, ~] = SEDE2(fobj, LB, UB, PARAM, MAX_FES, 0);
otherwise
    [xBest, fBest, ~, ~] = SEDE(fobj, LB, UB, PARAM, MAX_FES, 0);
end

```

```

%print saida
run = 1;
Iph(run) = xBest(1);
I0(run) = xBest(2);
n(run) = xBest(3);
Rs(run) = xBest(4);
Rp(run) = xBest(5);

```

```

switch tipo{i}
case 'SEM SOMBREAMENTO'
    Iph_ = xBest(1);
    I0_ = xBest(2);
    n_ = xBest(3);
    Rs_ = xBest(4);
    Rp_ = xBest(5);

```

```

case 'VD_JUNG'
    fprintf("\n VD_JUNG')
    Ishade = xBest(i,6);
    Vb    = xBest(i,7);
    alfa  = xBest(i,8);
    beta  = xBest(i,9);
    gama  = xBest(i,10);
    fprintf("\n Ishade = %f', Ishade);
    fprintf("\n Vb = %f', Vb(run));
    fprintf("\n alfa = %f', alfa(run));
    fprintf("\n beta = %f', beta(run));
    fprintf("\n gama = %f\n', gama(run));
case 'VD_QUASCHNING'
    fprintf("\n VD_QUASCHNING')
    a(run) = xBest(6);
    Vbr(run) = xBest(7);
    m(run) = xBest(8);
    I02(run) = xBest(9);
    n2(run) = xBest(10);
    fprintf("\n a = %f', a(run));
    fprintf("\n Vbr = %f', Vbr(run));
    fprintf("\n m = %f', m(run));
    fprintf("\n I02(uA) = %f', I02(run)*10^6);
    fprintf("\n n2 = %f\n', n2(run));
case 'SumAbsError_POWER_VD_QUASCHNING'
    fprintf("\n SumAbsError_POWER_VD_QUASCHNING')
    a(run) = xBest(6);
    Vbr(run) = xBest(7);
    m(run) = xBest(8);
    I02(run) = xBest(9);
    n2(run) = xBest(10);
    fprintf("\n a = %f', a(run));
    fprintf("\n Vbr = %f', Vbr(run));
    fprintf("\n m = %f', m(run));
    fprintf("\n I02(uA) = %f', I02(run)*10^6);
    fprintf("\n n2 = %f\n', n2(run));
case 'VD_BISHOP'
    fprintf("\n VD_BISHOP')
    a(run) = xBest(6);
    Vbr(run) = xBest(7);
    m(run) = xBest(8);
    fprintf("\n a = %f', a(run));
    fprintf("\n Vbr = %f', Vbr(run));
    fprintf("\n m = %f\n', m(run));
case 'SumAbsError_POWER_VD_BISHOP'
    fprintf("\n VD_BISHOP')
    a(run) = xBest(6);
    Vbr(run) = xBest(7);
    m(run) = xBest(8);
    fprintf("\n a = %f', a(run));
    fprintf("\n Vbr = %f', Vbr(run));
    fprintf("\n m = %f\n', m(run));
case 'VD_LOG'
    fprintf("\n VD LOG')
    a(run) = xBest(6);
    b(run) = xBest(7);
    fprintf("\n a = %f', a(run));
    fprintf("\n b = %f\n', b(run));
case 'VD_LOG_EZ'
    fprintf("\n LOG_EZ')

```

```

a(run) = xBest(6);
b(run) = xBest(7);
fprintf('\n a = %f', a(run));
fprintf('\n b = %f\n', b(run));
case 'VD_FIXO'
disp('Vd FIXO')
vd(run) = xBest(6);
fprintf('vd (V) = %f\n', vd(run));
end

fprintf('Iph(A) = %f', Iph(run));
fprintf('\n I0(uA) = %f', I0(run)*10^6);
fprintf('\n n = %f', n(run));
fprintf('\n Rs(ohms) = %f', Rs(run));
fprintf('\n Rp(ohms) = %f\n', Rp(run));
fprintf('RMSE = %f\n', fBest);

figure
plot(V, I, 'or');
hold on
k = 1.3806503e-23; % Boltzmann [J/K]
q = 1.60217646e-19; % Electron charge [C]
T = IVdata.Tc + 273.15; % Temperature [K]
Ns = IVdata.Ns;
switch tipo{i}
case 'VD_JUNG'
Vt = (Ns)*k*T/q;
M=1;
fun = @(Vmed, Imed) Imed - Iph + I0*abs((Ishade - Imed)./(Iph-Imed)).*(exp((Vmed+Imed*Rs)/(n*Vt))-1)...
+ (Vmed+Imed*Rs)/Rp...
- alfa*(Iph - Ishade)/Iph*(((Ns-1)*Voc/Ns - (Vmed +Rs*Imed))/M*((Rs+Rp)/Ns)).*((M*Vb./(Vb - (Ns-1)*Voc/Ns + Vmed + Imed*Rs)).^beta)...
- gama*(Iph - Ishade)/Iph*(((Ns-1)*Voc/Ns - (Vmed +Rs*Imed))/M*((Rs+Rp)/Ns));
fimplicit(fun, [0 Voc*1.03 0 Isc*1.03],'-b')
% Imodelo = calc_I_secante(V, I, fun, Iph, I0, n, Vt, 500, 10^-5, 1.1*I, 0.9*I);
% plot(V, Imodelo,'-b');
title('Vd JUNG');

case 'VD_QUASCHNING'
Vt = (Ns)*k*T/q;
fun = @(Vmed, Imed) Imed - Iph + I0*(exp((Vmed+Imed*Rs)/(n*Vt))-1) +
I02*(exp((Vmed+Imed*Rs)/(n2*Vt))-1) + (Vmed+Imed*Rs)/Rp + a*(Vmed+Imed*Rs)*(1-
(Vmed+Imed*Rs)/Vbr).^(-m); % Bishop (1988)
fimplicit(fun, [0 Voc*1.03 0 Isc*1.03],'-b')
title('Vd QUASCHNING');
case 'SumAbsError_POWER_VD_QUASCHNING'
Vt = (Ns)*k*T/q;
fun = @(Vmed, Imed) Imed - Iph + I0*(exp((Vmed+Imed*Rs)/(n*Vt))-1) +
I02*(exp((Vmed+Imed*Rs)/(n2*Vt))-1) + (Vmed+Imed*Rs)/Rp + a*(Vmed+Imed*Rs)*(1-
(Vmed+Imed*Rs)/Vbr).^(-m); % Bishop (1988)
fimplicit(fun, [0 Voc*1.03 0 Isc*1.03],'-b')
Imodelo = calc_I_secante(V, I, fun, Iph, I0, n, Vt, 10, 10^-5);
plot(V, Imodelo,'b');

title('Vd SumAbsError POWER QUASCHNING');
case 'VD_BISHOP'
Vt = (Ns)*k*T/q;
fun = @(Vmed, Imed) Imed - Iph + I0*(exp((Vmed+Imed*Rs)/(n*Vt))-1) + (Vmed+Imed*Rs)/Rp*(1+a*(1-
(Vmed+Imed*Rs)/Vbr).^(-m)); % Bishop (1988)

```

```

    fimplicit(fun, [0 Voc*1.03 0 Isc*1.03], '-b')
    title('Vd Bishop');
case 'SumAbsError_POWER_VD_BISHOP'
    Vt = (Ns)*k*T/q;
    fun = @(Vmed, Imed) Imed - Iph + I0*(exp((Vmed+Imed*Rs)/(n*Vt))-1) + (Vmed+Imed*Rs)/Rp*(1+a*(1-
(Vmed+Imed*Rs)/Vbr)^(-m)); % Bishop (1988)
    fimplicit(fun, [0 Voc*1.03 0 Isc*1.03], '-b')
    title('Vd Bishop');
case 'VD_LOG'
    Vt = (Ns-1)*k*T/q;
    fun = @(Vmed, Imed) Imed - Iph + I0*(exp((Vmed+Imed*Rs - a*log(b*Imed + 1))/(n*Vt))-1) +
(Vmed+Imed*Rs - a*log(b*Imed + 1))/Rp;
    fimplicit(fun, [0 Voc*1.03 0 Isc*1.03], '-b')
    title('Vd LOG');
case 'VD_LOG_EZ'
    Vt = (Ns-1)*k*T/q;
    fun = @(Vmed, Imed) Imed - Iph + I0*(exp((Vmed+Imed*Rs - a*log(-b*Imed)-a)/(n*Vt))-1) +
(Vmed+Imed*Rs - a*log(-b*Imed)-a)/Rp; % - a*log(-b*Imed)-a
    fimplicit(fun, [0 Voc*1.03 0 Isc*1.03], 'b.')
    title('Vd LOG');
case 'VD_FIXO'
    Vt = (Ns-1)*k*T/q;
    fun = @(Vmed, Imed) Imed - Iph + I0*(exp((Vmed+Imed*Rs + vd)/(n*Vt))-1) + (Vmed+Imed*Rs + vd)/Rp;
    fimplicit(fun, [0 Voc*1.03 0 Isc*1.03], '-b')
    title('Vd fixo');
case 'SEM SOMBREAMENTO'
    Vt = Ns*k*T/q;
    fun = @(Vmed, Imed) Imed - Iph + I0*(exp((Vmed+Imed*Rs)/(n*Vt))-1) + (Vmed+Imed*Rs)/Rp;
    fimplicit(fun, [0 Voc*1.03 0 Isc*1.03], '-b')
    title('Sem sombreamento');
end
end
%
```

Apêndice C

Produções Científicas

Durante o período do mestrado, o autor publicou dois artigos no Congresso Brasileiro de Energia Solar (CBENS):

- i. **MORAES, A. S.**; MOURA, E. S.; MARQUES, H. S. A.; ALCANTARA NETO, J. R.; RIFFEL, D. B.. Estudo do Comportamento Espectral em Banda Larga de Módulos Fotovoltaicos. In: Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2020, Fortaleza, CE. VIII Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2020.
- ii. MARQUES, H. S. A.; MOURA, E. S.; ALCANTARA NETO, J. R.; **MORAES, A. S.**; RIFFEL, D. B.. Influência de Pontos Quentes na Curva Característica de Módulos Fotovoltaicos. In: Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2020, Fortaleza, CE. VIII Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2020.