



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá

FERNANDA AKEMI SUZUKI

Comparação de desempenho entre esquemas de interconexão de painéis solares

Guaratinguetá
2023

Fernanda Akemi Suzuki

Comparação de desempenho entre esquemas de interconexão de painéis solares

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia e Ciências do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador : Prof. Dr. Evaldo Chagas Gouvêa

Guaratinguetá
2023

S968c	Suzuki, Fernanda Akemi Comparação de desempenho entre esquemas de interconexão de painéis solares / Fernanda Akemi Suzuki – Guaratinguetá, 2023. 54 f : il. Bibliografia: f. 54 Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá, 2023. Orientador: Prof. Dr. Evaldo Chagas Gouvêa 1. Geração de energia fotovoltaica. 2. Células fotoelétricas. 3. Energia solar. I. Título. CDU 620.91
-------	--

Pâmella Benevides Gonçalves
Bibliotecária CRB-8: 9203

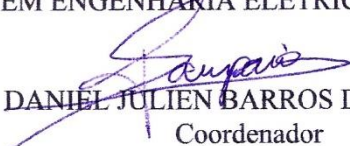


UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá

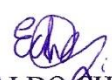
FERNANDA AKEMI SUZUKI

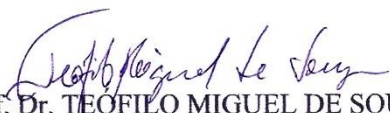
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO PARTE
DO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
"GRADUADA EM ENGENHARIA ELÉTRICA"

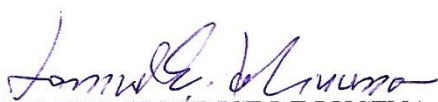
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA


Prof. Dr. DANIEL JULIEN BARROS DA SILVA SAMPAIO
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. EVALDO CHAGAS GOUVÊA
Orientador/UNESP-FEG


Prof. Dr. TEOFILO MIGUEL DE SOUZA
UNESP-FEG


Prof. Dr. SAMUEL EUZÉDICE DE LUCENA
UNESP-FEG

Fevereiro de 2023

Dedico este trabalho à minha família e amigos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais Keiko Hayashiuchi Suzuki e Sérgio Yukikazu Suzuki por todo auxílio, apoio e carinho durante a faculdade, as minhas irmãs Fabiana Mayumi Suzuki e Priscila Tiemi Suzuki pelo apoio, aos meus avós que já partiram Massahe Hayashiuchi e Kisoji Hayashiuchi por sempre torcerem e acreditarem em mim, e ao meu noivo Renan Moreno Pedro por estar ao meu lado em todos os momentos e por todo o apoio sempre.

Agradeço aos meus amigos que fiz durante a graduação por toda a ajuda, ensinamentos e por deixarem tudo mais leve. Aos amigos anteriores a faculdade por estarem ao meu lado.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Evaldo Chagas Gouvêa, por sempre acreditar em mim, por todo auxílio, paciência, e apoio ao longo dos anos, principalmente no TG. Aos demais professores da Faculdade de Engenharia e Ciências do Câmpus de Guaratinguetá que me deram apoio, foram pacientes, e forneceram tanto conhecimento ao longo dos anos.

RESUMO

Este trabalho consiste em comparar o desempenho de formas de conexão de painéis fotovoltaicos em uma instalação fotovoltaica em diferentes condições de iluminação. Porém, nem todo esquema de interconexão pode ser usado com qualquer quantidade de painéis solares. Após a realização de testes visuais foi determinado a melhor quantidade de painéis para que o esquema pudesse abordar os quatro principais tipos de interconexão. A realização das simulações foi feita no programa *LTspice*, no qual foi desenhado cada um dos quatro tipos de interconexão e simulado os diferentes níveis e locais de sombreamento, gerando desta forma gráficos de potência por tensão de saída e corrente de saída por tensão de saída. Com estes dados foi possível a análise do tipo de interconexão que gera o melhor rendimento.

PALAVRAS-CHAVE: interconexão; *LTspice*; sombreamento; painel fotovoltaico.

ABSTRACT

This work consists of comparing the performance of ways of connecting photovoltaic panels in a photovoltaic installation under different lighting conditions. However, not every interconnection scheme can be used with every volume of solar panels. After performing visual tests, the best number of panels was determined so that the scheme could address the four main types of interconnection. The simulations were carried out using the *LTspice* program, in which each of the four types of interconnection was designed and the different levels and locations of shading were simulated, thus generating graphs of power versus output voltage and output current versus output voltage. With these data it was possible to analyze the type of interconnection that generates the best performance.

KEYWORDS: interconnection; *LTspice*; shading; photovoltaic panel.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modelo de célula fotovoltaica.....	17
Figura 2 - Configuração da interligação dos painéis fotovoltaicos no <i>Bridge-Link</i>	18
Figura 3 - Configuração da interligação dos painéis fotovoltaicos no <i>Honey-Comb</i>	19
Figura 4 - Configuração <i>Honey-Comb</i> como colmeia de abelha.....	19
Figura 5 - Configuração da interligação dos painéis fotovoltaicos no <i>Total-Cross-Tied</i>	20
Figura 6 - Configuração da interligação dos painéis fotovoltaicos no Série-Paralelo.....	21
Figura 7 - Esquemático simples <i>Total-Cross-Tied</i> 2x2 e Série-Paralelo 2x2.....	22
Figura 8 - Esquemático simples das interconexões 3x3.....	23
Figura 9 - Esquemático simples das interconexões 4x4.....	23
Figura 10 - Esquemático simples das interconexões 5x5.....	23
Figura 11 - Esquemático simples das interconexões 6x6.....	24
Figura 12 - Esquemático do <i>Bridge-Link</i> 6x6.....	25
Figura 13 - Esquemático do <i>Honey-Comb</i> 6x6.....	25
Figura 14 - Esquemático do <i>Total-Cross-Tied</i> 6x6.....	25
Figura 15 - Esquemático do Série-Paralelo 6x6.....	26
Figura 16 - Esquemático do Série-Paralelo 6x6 com diodo.....	26
Figura 17 - Esquemático do <i>Bridge-Link</i> 6x6 com iluminação total.....	28
Figura 18 - Esquemático do <i>Honey-Comb</i> 6x6 com iluminação total.....	29
Figura 19 - Esquemático do <i>Total-Cross-Tied</i> 6x6 com iluminação total.....	29
Figura 20 - Esquemático do Série-Paralelo 6x6 com iluminação total.....	30
Figura 21 - Esquemático do Série-Paralelo 6x6 com diodo com iluminação total.....	30
Figura 22 - Gráfico da potência de saída com iluminação total dos painéis.....	31
Figura 23 - Gráfico da corrente de saída com iluminação total dos painéis.....	31
Figura 24 - Esquemático do <i>Bridge-Link</i> 6x6 com 1 linha na sombra.....	32
Figura 25 - Esquemático do <i>Honey-Comb</i> 6x6 com 1 linha na sombra.....	32
Figura 26 - Esquemático do <i>Total-Cross-Tied</i> 6x6 com 1 linha na sombra.....	33
Figura 27 - Esquemático do Série-Paralelo 6x6 com 1 linha na sombra.....	33
Figura 28 - Esquemático do Série-Paralelo 6x6 com diodo com 1 linha na sombra.....	34
Figura 29 - Gráfico da potência de saída com 1 linha na sombra do Série-Paralelo com diodo.....	34

Figura 30 - Gráfico da corrente de saída com 1 linha na sombra do Série-Paralelo com diodo.....	35
Figura 31 - Gráfico da potência de saída com 1 linha na sombra.....	35
Figura 32 - Gráfico da corrente de saída com 1 linha na sombra.....	35
Figura 33 - Esquemático do <i>Bridge-Link</i> 6x6 com 3 linhas na sombra.....	36
Figura 34 - Esquemático do <i>Honey-Comb</i> 6x6 com 3 linhas na sombra.....	37
Figura 35 - Esquemático do <i>Total-Cross-Tied</i> 6x6 com 3 linhas na sombra.....	37
Figura 36 - Esquemático do Série-Paralelo 6x6 com 3 linhas na sombra.....	38
Figura 37 - Esquemático do Série-Paralelo com diodo 6x6 com 3 linhas na sombra.....	38
Figura 38 - Gráfico da potência de saída com 3 linhas na sombra.....	39
Figura 39 - Gráfico da corrente de saída com 3 linhas na sombra.....	39
Figura 40 - Gráfico da potência de saída com 3 linhas na sombra Série-Paralelo com diodo.....	39
Figura 41 - Gráfico da corrente de saída com 3 linhas na sombra Série-Paralelo com diodo.....	39
Figura 42 - Esquemático do <i>Bridge-Link</i> 6x6 com 1 coluna na sombra.....	40
Figura 43 - Esquemático do <i>Honey-Comb</i> 6x6 com 1 coluna na sombra.....	41
Figura 44 - Esquemático do <i>Total-Cross-Tied</i> 6x6 com 1 coluna na sombra.....	41
Figura 45 - Esquemático do Série-Paralelo 6x6 com 1 coluna na sombra.....	42
Figura 46 - Esquemático do Série-Paralelo com diodo 6x6 com 1 coluna na sombra.....	42
Figura 47 - Gráfico da potência de saída com 1 coluna na sombra.....	43
Figura 48 - Gráfico da corrente de saída com 1 coluna na sombra.....	43
Figura 49 - Esquemático do <i>Bridge-Link</i> 6x6 com 3 colunas na sombra.....	44
Figura 50 - Esquemático do <i>Honey-Comb</i> 6x6 com 3 colunas na sombra.....	44
Figura 51 - Esquemático do <i>Total-Cross-Tied</i> 6x6 com 3 colunas na sombra.....	45
Figura 52 - Esquemático do Série-Paralelo 6x6 com 3 colunas na sombra.....	45
Figura 53 - Esquemático do Série-Paralelo com diodo 6x6 com 3 colunas na sombra.....	46
Figura 54 - Gráfico da potência de saída com 3 colunas na sombra.....	46
Figura 55 - Gráfico da corrente de saída com 3 colunas na sombra.....	46
Figura 56 - Esquemático do <i>Bridge-Link</i> 6x6 com metade diagonal na sombra.....	47
Figura 57 - Esquemático do <i>Honey-Comb</i> 6x6 com metade diagonal na sombra.....	48
Figura 58 - Esquemático do <i>Total-Cross-Tied</i> 6x6 com metade diagonal na sombra.....	48
Figura 59 - Esquemático do Série-Paralelo 6x6 com metade diagonal na sombra.....	49

Figura 60 - Esquemático do Série-Paralelo 6x6 com diodo com metade diagonal na sombra.....	49
Figura 61 - Gráfico da potência de saída com metade diagonal na sombra.....	50
Figura 62 - Gráfico da corrente de saída com metade diagonal na sombra.....	50
Figura 63 - Gráfico da potência de saída Série-Paralelo com diodo com metade diagonal na sombra	50
Figura 64 - Gráfico da corrente de saída Série-Paralelo com diodo com metade diagonal na sombra.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação entre esquemas de interconexão com iluminação total.....	31
Tabela 2 - Comparação entre esquemas de interconexão com 1 linha na sombra.....	35
Tabela 3 - Comparação entre esquemas de interconexão com 3 linhas na sombra.....	40
Tabela 4 - Comparação entre esquemas de interconexão com 1 coluna na sombra.....	43
Tabela 5 - Comparação entre esquemas de interconexão com 3 colunas na sombra.....	47
Tabela 6 - Comparação entre esquemas de interconexão com metade diagonal na sombra.....	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

TCT	Total-Cross-Tied
-----	------------------

LISTA DE SÍMBOLOS

I	corrente máxima [A]
I_d	corrente no diodo [A]
I_L	fonte de corrente [A]
P	potência máxima [W]
R_s	resistência série da célula fotovoltaica [Ω]
R_p	resistência paralelo da célula fotovoltaica [Ω]
V	tensão de saída [V]
V_d	tensão no diodo [V]

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO.....	14
1.2	OBJETIVOS.....	15
1.3	DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS.....	15
2	TEORIA	16
2.1	CÉLULAS FOTOVOLTAICAS.....	16
2.2	ESQUEMAS DE INTERCONEXÃO.....	17
3	MÉTODO.....	22
3.1	ESCOLHA DO TAMANHO DA MATRIZ DAS INTERCONEXÕES.....	22
3.2	SOFTWARE E MONTAGEM DOS ARRANJOS.....	24
3.3	PARÂMETROS PARA AS SIMULAÇÕES.....	26
3.4	SIMULAÇÕES DAS INTERCONEXÕES.....	27
4	RESULTADOS.....	28
4.1	SIMULAÇÕES COM ILUMINAÇÃO TOTAL.....	28
4.2	SIMULAÇÕES COM 1 LINHA NA SOMBRA.....	31
4.3	SIMULAÇÕES COM 3 LINHAS NA SOMBRA.....	36
4.4	SIMULAÇÕES COM 1 COLUNA NA SOMBRA.....	40
4.5	SIMULAÇÕES COM 3 COLUNAS NA SOMBRA.....	43
4.6	SIMULAÇÕES COM METADE DIAGONAL NA SOMBRA.....	47
5	CONCLUSÃO.....	52
	REFERÊNCIAS.....	54

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo são apresentadas a importância da energia solar, que é uma energia limpa, renovável, e sem emissão de CO₂, os objetivos que levaram os estudos realizados neste trabalho, e a descrição dos capítulos.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Sustentabilidade é um tema de grande importância, pois fornecer recursos para a geração atual de forma que não afete gerações futuras não é simples. No Brasil 56,8% da produção de energia elétrica é realizada por usinas hidrelétricas, enquanto apenas 2,5% desta produção é realizada pela captação da energia solar, segundo a Matriz Elétrica Brasileira 2021 (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2022).

A hidreletricidade é uma energia limpa, barata, e renovável, porém, a construção de usinas hidrelétricas causa impactos ambientais, como a mudança de todo o ecossistema e das vidas da região. Sua construção é feita em áreas extensas, sendo necessário o desmatamento de grandes superfícies, ou seja, retirada da vegetação nativa e aumento da emissão de CO₂, alagamento da região, e muitas vezes o desvio do curso dos rios, gerando desta forma o desequilíbrio do ecossistema.

Já a energia solar não causa todo esse impacto. Esta é uma energia limpa, sem emissão de CO₂, nunca esgota, renovável, e de fácil instalação. Um outro ponto importante é que com a energia solar o consumidor não precisa pagar diversas tarifas das distribuidoras de energia. Através do efeito fotovoltaico a energia solar é transformada em energia elétrica e “com um investimento, que tem retorno médio de 5 anos, o consumidor tem a geração própria pelos próximos 25 anos no mínimo, sendo desta forma um investimento muito rentável” (ASSOCIAÇÃO COMERCIAL E INDUSTRIAL DE FLORIANÓPOLIS, 2020).

Porém, a energia solar também possui pontos negativos, como por exemplo sua produção ser exclusivamente durante o dia, ou ser afetada pelo sombreamento dos painéis fotovoltaicos, causando a diminuição da eficiência do sistema. Existem dois tipos de sombreamento: o total e o parcial. O Sombreamento total ocorre quando todos os painéis de uma instalação ficam igualmente na sombra, já o parcial acontece quando apenas parte da instalação fotovoltaica fica na sombra. Este último é o pior tipo, pois isso resulta em um efeito no qual os painéis que estão recebendo iluminação parcial superaquecem, danificando as células fotovoltaicas ou até mesmo os módulos. “Isto ocorre porque a célula com menor

iluminação é que irá determinar a corrente de operação de todas as células que estiverem na mesma série que ela” (Santos, 2013).

Para evitar os problemas advindos destas situações indesejadas, mas que ocorrem ao longo da vida útil do sistema, deve-se acrescentar dispositivos de proteção, geralmente diodos, que são colocados em pontos estratégicos do circuito do sistema com o objetivo de evitar o aparecimento de pontos quentes nos módulos e consequente perdas de potência. (Hecktheuer e Krenzinger, 2000, p. 1)

Porém, os diodos, chamados também de diodo *by-pass*, resultam em múltiplos picos de potência. De acordo com Krishna e Moger (2021) estes múltiplos picos geram uma perda de energia adicional no sistema fotovoltaico, e um modo de contornar este problema são os vários tipos de interconexão entre os painéis fotovoltaicos. Neste trabalho são analisados quatro tipos de interconexão: *Bridge-Link*, *Honey-Comb*, *Total-Cross-Tied*, e Série-Paralelo. Através do estudo dos gráficos de potência e corrente é possível verificar a interconexão que fornece maior potência e maior corrente de saída.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral do presente trabalho é determinar qual tipo de interconexão fornece a maior potência máxima em diferentes níveis e locais de sombreamento.

Os objetivos específicos são:

- Analisar o tamanho mínimo de arranjo fotovoltaico que permite realizar a montagem dos quatro tipos principais de interconexões;
- Analisar o rendimento de cada tipo de interconexão quando submetidas a diferentes padrões regulares de sombreamento.

1.3 DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS

O capítulo 2 (Teoria) aborda o funcionamento de uma célula fotovoltaica. O capítulo 3 (Métodos) descreve como foi feita a escolha do tamanho da matriz das interconexões, a montagem dos arranjos no software, os parâmetros utilizados nas simulações, e as simulações das interconexões. O capítulo 4 (Resultados) mostra os esquemáticos, gráficos, e tabela de resultados obtidos nas simulações. O capítulo 5 (Conclusão) apresenta as conclusões deste trabalho.

2 TEORIA

Este capítulo aborda o funcionamento das células fotovoltaicas e são mostrados os quatro principais esquemas de interconexão estudados neste trabalho.

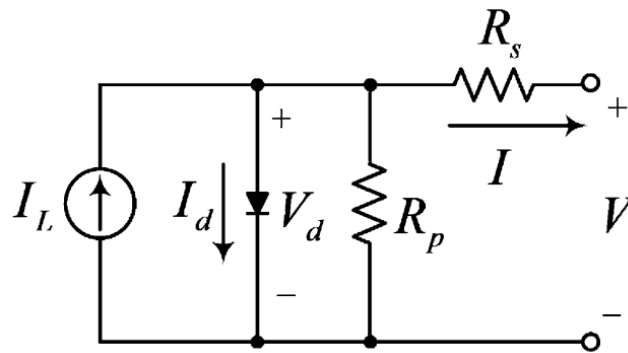
2.1 CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

A célula fotovoltaica é o dispositivo elétrico mais importante de uma instalação fotovoltaica, pois é nela que ocorre o efeito fotovoltaico, onde materiais semicondutores, quando em contato com fótons de luz com frequência definida, gera uma perturbação entre os elétrons da banda de valência e os da banda de condução. No entanto, acontece o efeito de recombinação que diz que os elétrons separados de um átomo são instantaneamente incorporados a outro, fazendo com que os materiais semicondutores permaneçam no estado neutro.

Existem dois tipos de materiais semicondutores, os de Tipo-N e os de Tipo-P. O que varia é o processo de criação de cada um deles, processo este chamado de dopagem, no qual a estrutura original dos semicondutores é modificada quando entra em contato com elementos químicos. O Tipo-N é um material semicondutor carregado negativamente, já o de Tipo-P é semelhante, porém carregado positivamente. A célula fotovoltaica é fabricada com estes dois tipos de semicondutores. Para seu correto funcionamento é preciso gerar uma corrente elétrica dentro dela, e com esse propósito são utilizados os dois tipos de semicondutores, para que os elétrons se conduzam do Tipo-N para o Tipo-P, sempre que atingidos pelos fótons de luz solar. "Os semicondutores mais apropriados à conversão da luz solar são os mais sensíveis, ou melhor, aqueles que geram o maior produto corrente-tensão para a luz visível, já que a maior parcela de energia fornecida pelos raios do sol está dentro da faixa visível do espectro" (PINHO; GALDINO, 2004). Cada célula só é capaz de produzir 0,4 V na condição de máxima potência. Desta forma é necessário um arranjo entre as células para obter tensões e correntes maiores e capazes de suprir as necessidades do local onde são instaladas.

Na Figura 1 é representado o modelo de uma célula fotovoltaica, sendo V_d e I_d a tensão e corrente do diodo, R_s e R_p as resistências série e paralela do circuito, I_L a fonte de corrente, I a corrente da célula, e V a tensão da célula.

Figura 1 - Modelo de célula fotovoltaica



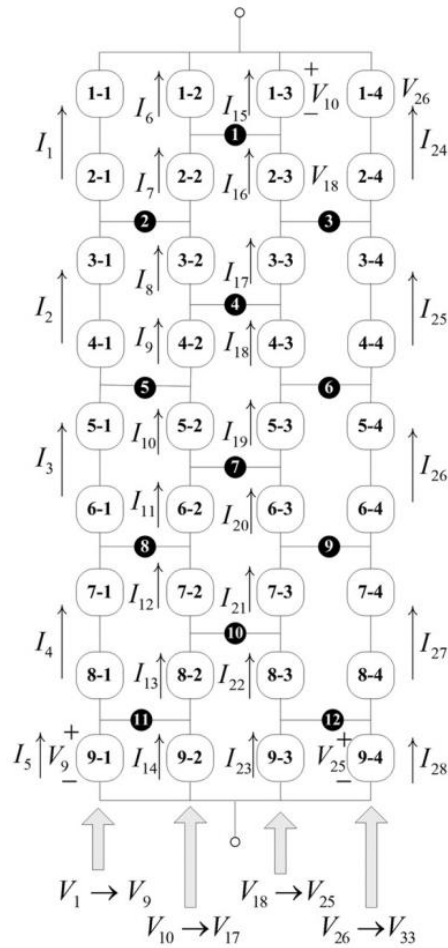
Fonte: Wang; Hsu (2011)

2.2 ESQUEMAS DE INTERCONEXÃO

O sombreamento parcial das instalações fotovoltaicas gera superaquecimento e danos nos painéis fotovoltaicos. Uma solução para este problema seria acrescentar diodos *by-pass* para proteção do sistema, porém, estes geram múltiplos picos de potência. Desta forma utiliza-se os esquemas de interconexões para reduzir o problema dos múltiplos picos e aumentar a produção total de energia em condições não-ideais de iluminação. Os quatro principais tipos de interconexões são *Bridge-Link*, *Honey-Comb*, *Total-Cross-Tied*, e Série-Paralelo. Com o intuito de estudar as quatro interconexões num mesmo tamanho de arranjo fotovoltaico, foi realizado um estudo para determinar o tamanho mínimo da matriz quadrada que pudesse representá-los, e o resultado foi uma matriz quadrada 6x6.

O *Bridge-Link*, mostrado na Figura 2, é representado por painéis fotovoltaicos interligados formando uma espécie de conjunto de retângulos alinhados de forma diagonal. Na figura o arranjo possui 36 painéis como no estudo deste trabalho, porém, estes estão dispostos de maneira diferente, apenas para o entendimento do formato das interligações.

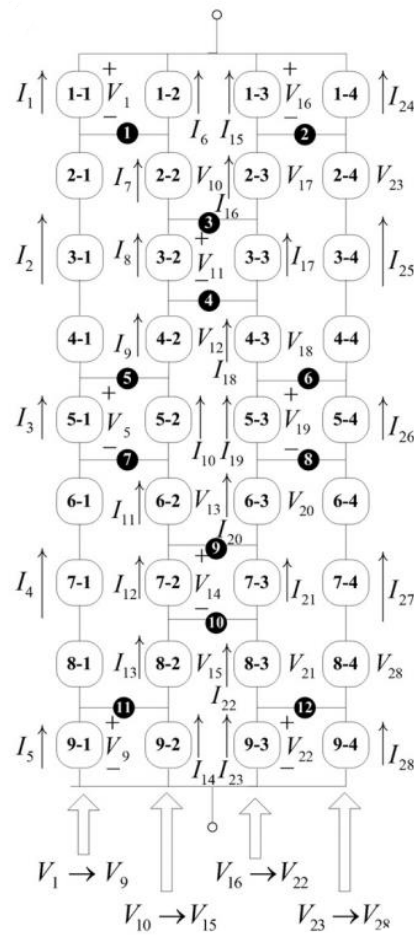
Figura 2 - Configuração da interligação dos painéis fotovoltaicos no *Bridge-Link*



Fonte: Wang; Hsu (2011)

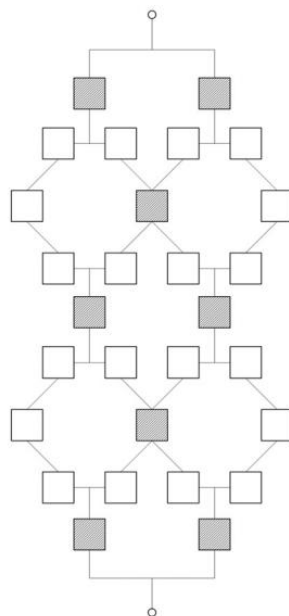
Na Figura 3 é mostrado a configuração da interconexão *Honey-Comb*, com uma configuração diferente do presente trabalho. Ela possui este nome pois se parece com uma colmeia de abelha, como mostrado na Figura 4.

Figura 3 - Configuração da interligação dos painéis fotovoltaicos no *Honey-Comb*



Fonte: Wang; Hsu (2011)

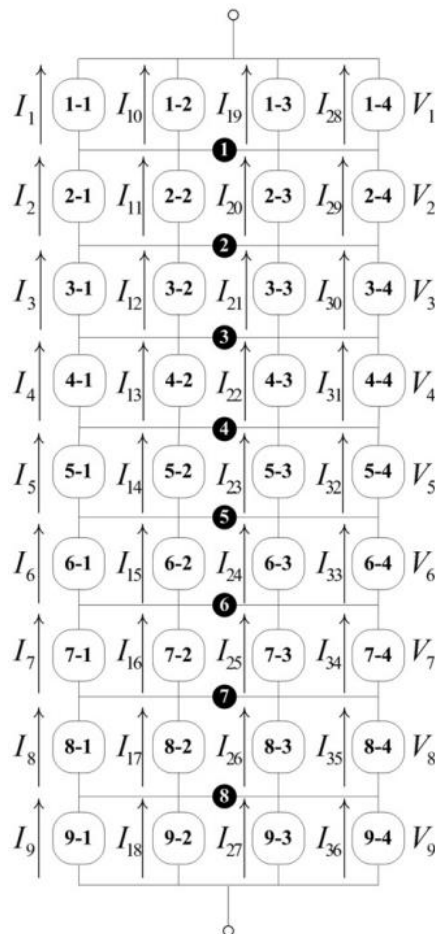
Figura 4 - Configuração *Honey-Comb* como colmeia de abelha



Fonte: Wang; Hsu (2011)

O *Total-Cross-Tied* é representado na Figura 5. Nesta interconexão os painéis fotovoltaicos são dispostos de forma quadricular, apresentando diversas correntes e tensões.

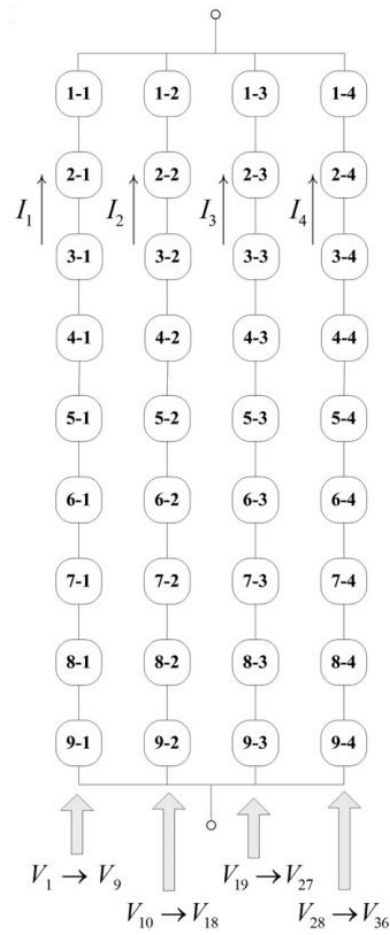
Figura 5 - Configuração da interligação dos painéis fotovoltaicos no *Total-Cross-Tied*



Fonte: Wang; Hsu (2011)

Por último tem-se o Série-Paralelo. Neste os painéis fotovoltaicos são dispostos em várias colunas paralelas, e em cada coluna existe vários painéis ligados em série, por isso o nome Série-Paralelo. Na Figura 6 é mostrada sua configuração.

Figura 6 - Configuração da interligação dos painéis fotovoltaicos no Série-Paralelo



Fonte: Wang; Hsu (2011)

3 MÉTODO

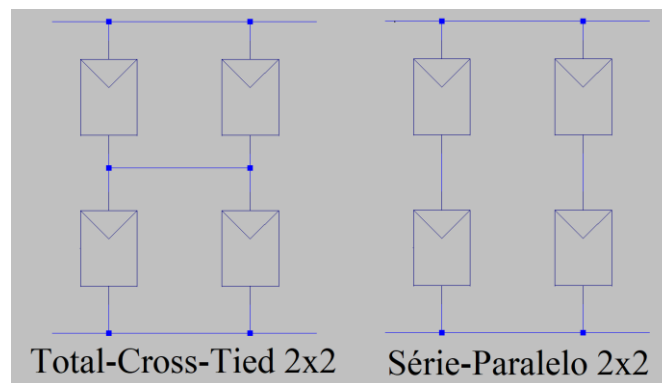
Neste capítulo são descritos os métodos utilizados neste trabalho, que foram a escolha do tamanho da matriz das interconexões, o software utilizado para a montagem e simulações dos arranjos, os parâmetros utilizados, e os esquemáticos simulados no *Ltspice*.

3.1 ESCOLHA DO TAMANHO DA MATRIZ DAS INTERCONEXÕES

As instalações fotovoltaicas podem ter diversos tamanhos devido as inúmeras possibilidades de arranjos entre os painéis fotovoltaicos. Neste trabalho foram realizados estudos visuais com esquemas simples de painéis fotovoltaicos a fim de se determinar o menor tamanho do arranjo, com número de linhas iguais aos de colunas, necessário para abordar as interconexões *Bridge-Link*, *Honey-Comb*, *Total-Cross-Tied*, e Série-Paralelo.

Para o início deste estudo foi utilizado a menor matriz quadrada existente, a matriz 2x2. Na Figura 7 é apresentado o *Total-Cross-Tied* 2x2 e o Série-Paralelo 2x2.

Figura 7 - Esquemático simples *Total-Cross-Tied* 2x2 e Série-Paralelo 2x2

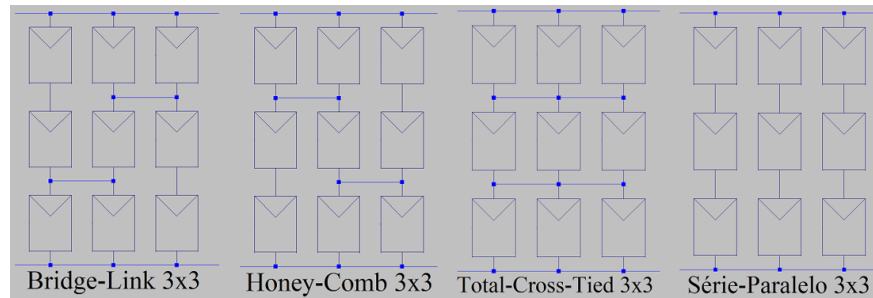


Fonte: Produção da própria autora

Como é possível observar o *Bridge-Link* e *Honey-Comb* não poderiam ser representados com esse tamanho de arranjo pois ficariam iguais ao *Total-Cross-Tied* 2x2, e não mostrariam sua real estrutura para análise, que seria semelhante ao TCT e a uma colmeia de abelha respectivamente.

Desta forma foi estudada a matriz 3x3 na tentativa de abordar as quatro interconexões presentes neste trabalho. Na Figura 8 é apresentado o esquemático simples das interconexões.

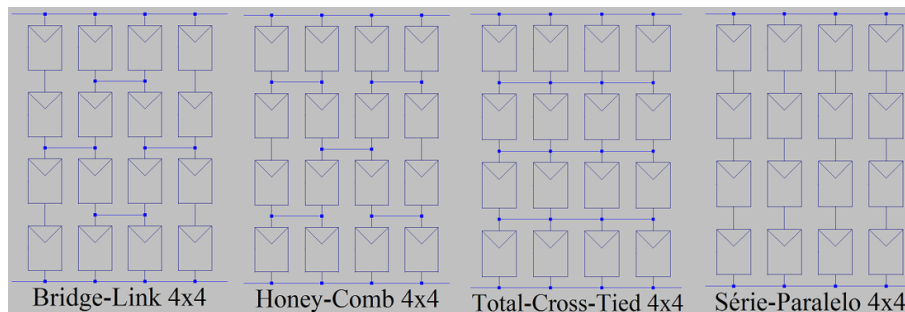
Figura 8 - Esquemático simples das interconexões 3x3



Fonte: Produção da própria autora

Ao analisar a Figura 8 nota-se que as interconexões *Bridge-Link* e *Honey-Comb* ficaram iguais e também não mostram sua estrutura verdadeira. Assim, iniciou-se um estudo com a matriz 4x4, mostrado na Figura 9.

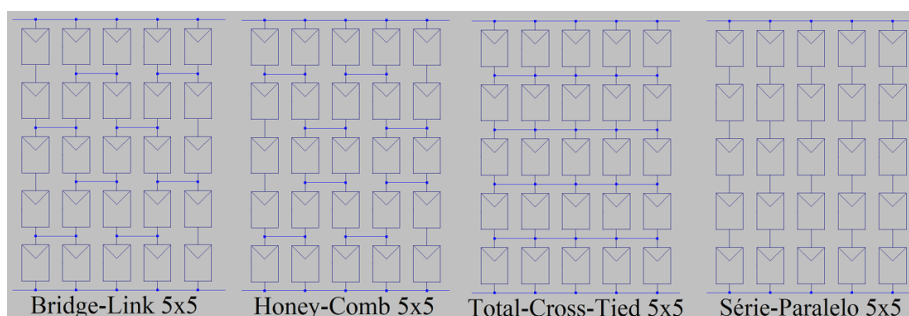
Figura 9 - Esquemático simples das interconexões 4x4



Fonte: Produção da própria autora

Na Figura 9 é possível observar que as interconexões *Bridge-Link* e *Honey-Comb* ainda não apresentam suas características reais. Deste modo foi analisada a matriz 5x5 representada na Figura 10.

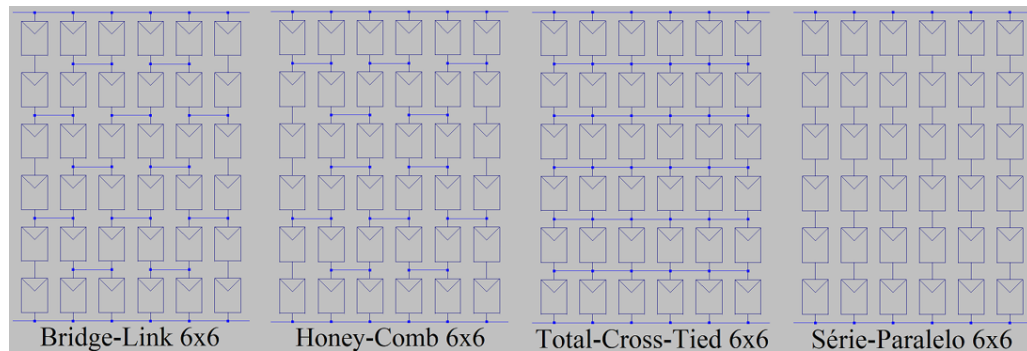
Figura 10 - Esquemático simples das interconexões 5x5



Fonte: Produção da própria autora

Na Figura 10 verifica-se que a interconexão *Honey-Comb* não apresenta a forma completa de colmeia, e desta forma foi examinada a matriz 6x6, representada na Figura 11.

Figura 11 - Esquemático simples das interconexões 6x6



Fonte: Produção da própria autora

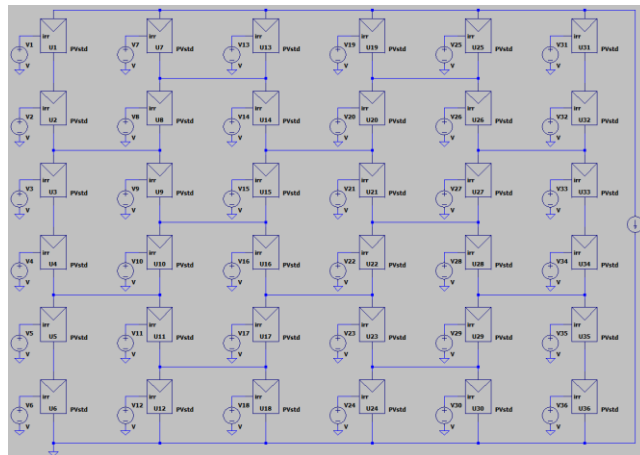
Como é possível notar, na Figura 11 as quatro interconexões apresentam suas características de uma forma bem clara, e assim deu-se início as simulações.

3.2 SOFTWARE E MONTAGEM DOS ARRANJOS

As simulações de níveis e locais de sombreamento foram realizadas no *LTspice*. Primeiramente foi adicionado um arquivo à biblioteca do programa contendo o símbolo e os parâmetros básicos de um painel fotovoltaico, como tensão de circuito aberto, corrente de curto-circuito, tensão no ponto de máxima potência, corrente no ponto de máxima potência, coeficiente de variação de tensão com a temperatura, e coeficiente de variação da corrente com a temperatura. Com estas informações foi possível realizar a montagem das interconexões com matriz 6x6 utilizando como base os esquemáticos simples presentes na Figura 11. Após a montagem com os painéis fotovoltaicos foram colocadas fontes de tensão em cada painel para realizar a simulação dos diferentes níveis de irradiação incidente advinda do Sol, e para simular a saída do arranjo foi colocada uma fonte de corrente variável.

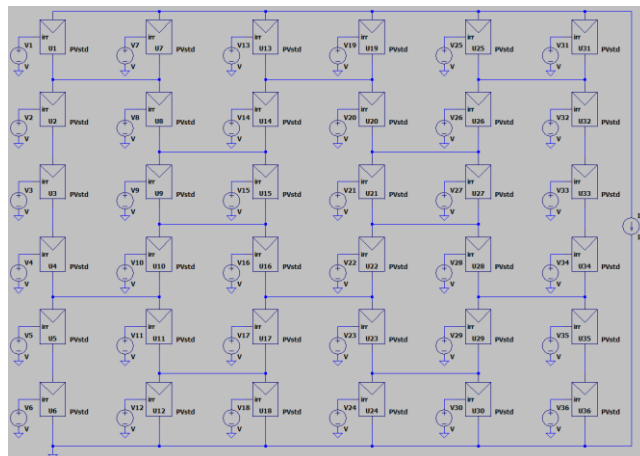
Nas Figuras 12, 13, 14, e 15 são mostrados os esquemáticos das interconexões estudadas neste trabalho: *Bridge-Link 6x6*, *Honey-Comb 6x6*, *Total-Cross-Tied 6x6*, e *Série-Paralelo 6x6* respectivamente.

Figura 12 - Esquemático do *Bridge-Link 6x6*



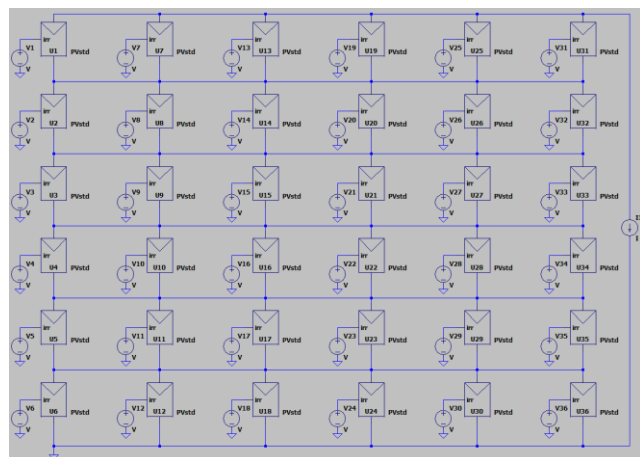
Fonte: Produção da própria autora

Figura 13 - Esquemático do *Honey-Comb 6x6*



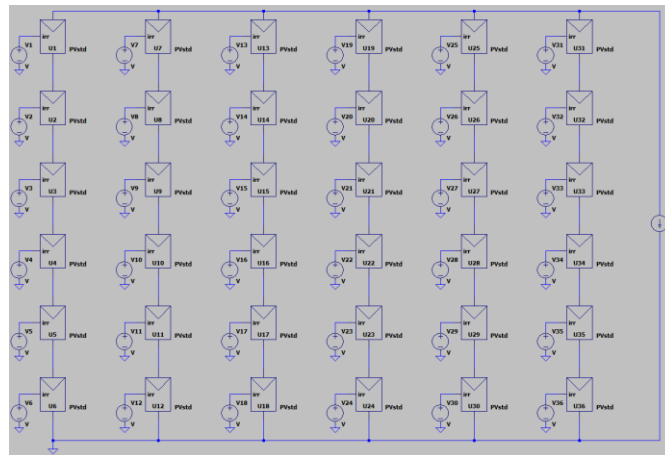
Fonte: Produção da própria autora

Figura 14 - Esquemático do *Total-Cross-Tied 6x6*



Fonte: Produção da própria autora

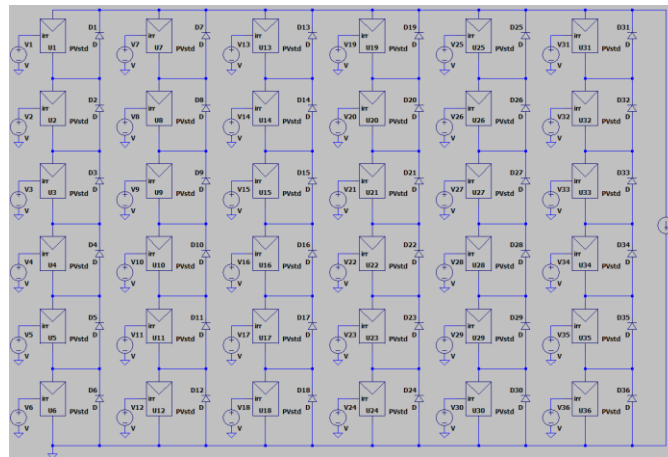
Figura 15 - Esquemático do Série-Paralelo 6x6



Fonte: Produção da própria autora

Com a finalidade de estudos e comparações, também foram realizadas as simulações com a interconexão Série-Paralelo com diodos. Seu esquemático é mostrado na Figura 16.

Figura 16 - Esquemático do Série-Paralelo 6x6 com diodo



Fonte: Produção da própria autora

3.3 PARÂMETROS PARA AS SIMULAÇÕES

Para a realização das simulações foram necessários estabelecer os parâmetros das fontes de tensão e de corrente. O ajuste da fonte de corrente foi realizado com base na corrente máxima que poderia sair do arranjo, levando-se em conta a corrente máxima de cada painel fotovoltaico. Considerando o caso ideal com todos os painéis recebendo iluminação total, sem nenhum tipo de sombreamento, a interconexão que poderia fornecer a maior corrente de saída é a Série-Paralelo. Cada coluna do arranjo possui a corrente máxima de 1 painel, uma

vez que todas os painéis de uma mesma coluna estão em série. Desta forma, como o arranjo possui o total de 6 colunas, a corrente máxima de saída seria seis vezes a corrente máxima de um painel, ou seja, seis vezes a corrente de curto-circuito.

Observando os parâmetros básicos de um painel fotovoltaico vemos o valor de aproximadamente 9 A para a corrente de curto-circuito, ou seja, 54 A para a corrente máxima de saída. Assim, para a fonte de corrente foi utilizada uma rampa linear de corrente variando de zero a 54 A em um segundo. Esses dados foram utilizados em todas as interconexões, pois em todos os casos a corrente máxima é menor que 54 A.

Já para as fontes de tensão, com base nos valores de irradiação solar, foi adotado o valor de 1000 W/m² no caso de iluminação total da célula fotovoltaica e 500 W/m² quando ocorrer sombreamento do painel.

3.4 SIMULAÇÕES DAS INTERCONEXÕES

Com objetivo de facilitar a comparação de dados, a realização do estudo foi feita simulando um padrão de sombreamento em cada uma das interconexões. A primeira simulação efetuada foi com iluminação total da instalação fotovoltaica nas interconexões *Bridge-Link*, *Honey-Comb*, *Total-Cross-Tied*, e *Série-Paralelo* para a obtenção dos gráficos de potência máxima *versus* tensão de saída e corrente de saída *versus* tensão de saída. Depois foram realizadas as simulações com 1 linha com sombreamento, 3 linhas, 1 coluna, 3 colunas, e metade diagonal na sombra, nesta ordem.

Ao reunir todos os gráficos foi possível a análise da interconexão que forneceu a maior potência máxima e maior corrente máxima e em qual situação de sombreamento isso ocorreu.

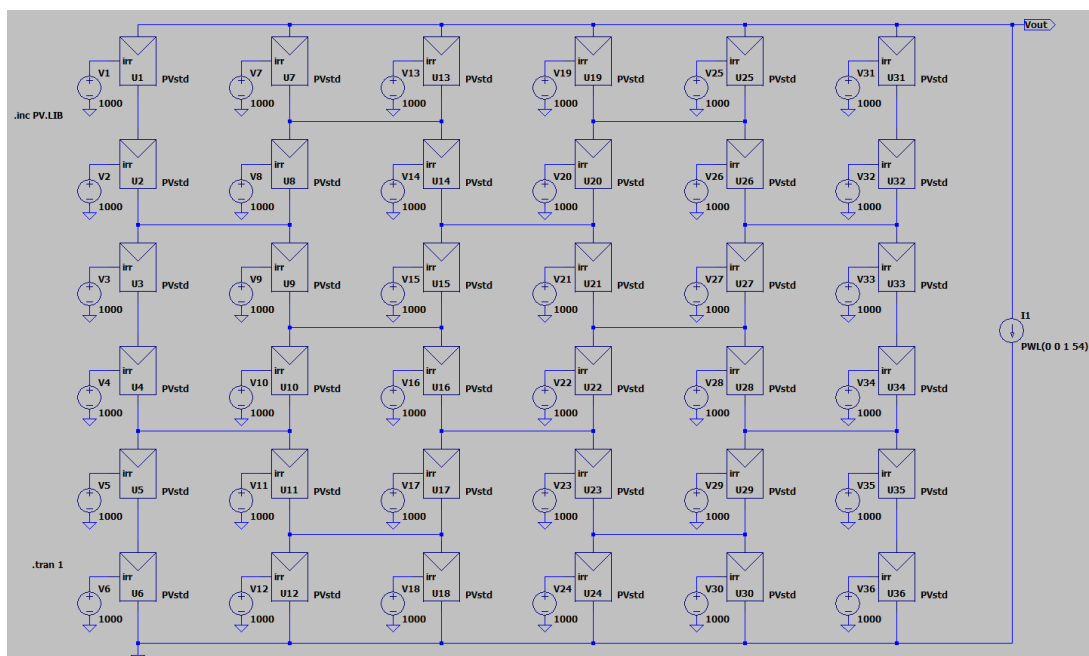
4 RESULTADOS

Este capítulo é referente aos resultados obtidos neste trabalho. As seções são separadas por tipos de sombreamentos simulados no software, e são apresentados os gráficos e valores obtidos de potência e corrente em cada interconexão.

4.1 SIMULAÇÕES COM ILUMINAÇÃO TOTAL

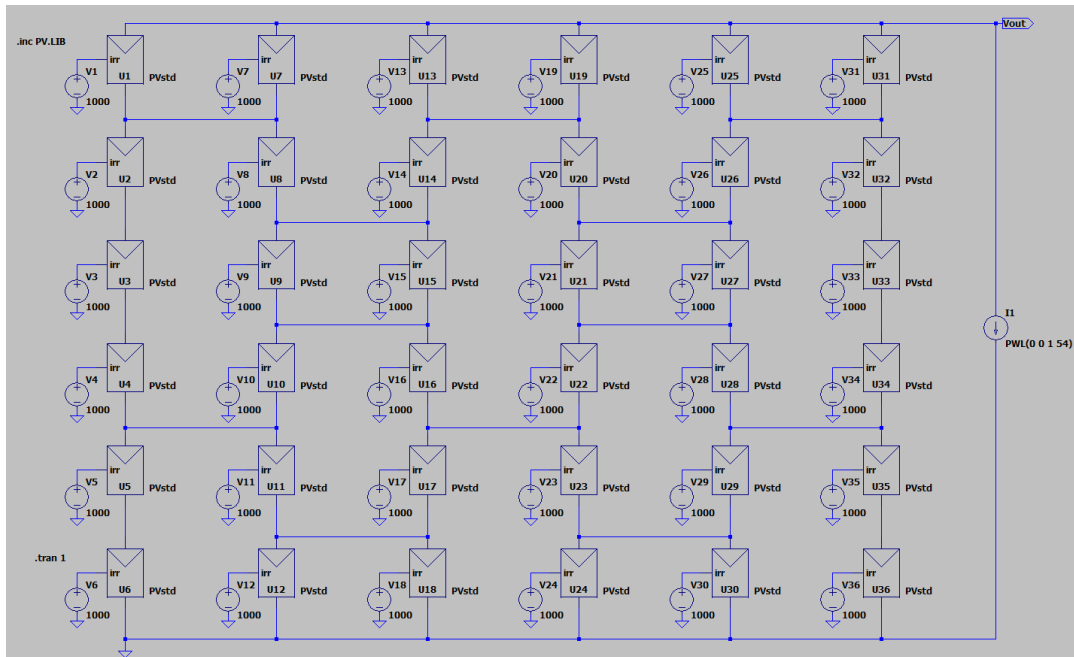
Em cada uma das interconexões: *Bridge-Link 6x6*, *Honey-Comb 6x6*, *Total-Cross-Tied 6x6*, e *Série-Paralelo 6x6*, foi realizado um teste no *LTspice* simulando a iluminação total dos painéis fotovoltaicos, sem nenhuma interferência de sombreamento em nenhuma área. Nas Figuras 17, 18, 19, 20, e 21 são mostrados os esquemáticos das interconexões.

Figura 17 - Esquemático do *Bridge-Link 6x6* com iluminação total



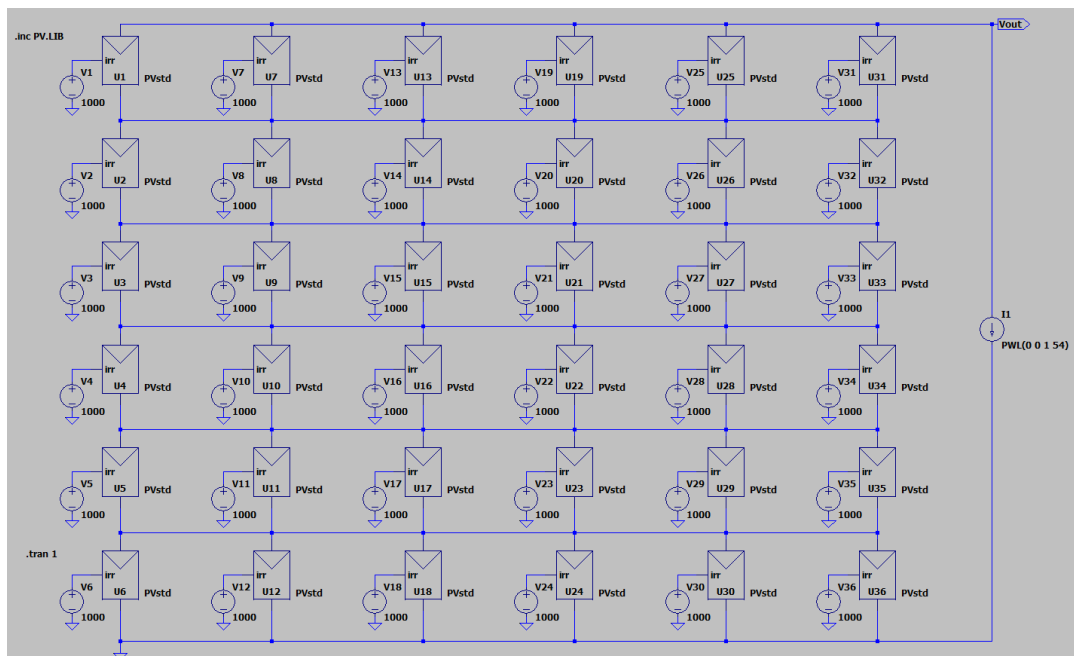
Fonte: Produção da própria autora

Figura 18 - Esquemático do *Honey-Comb* 6x6 com iluminação total



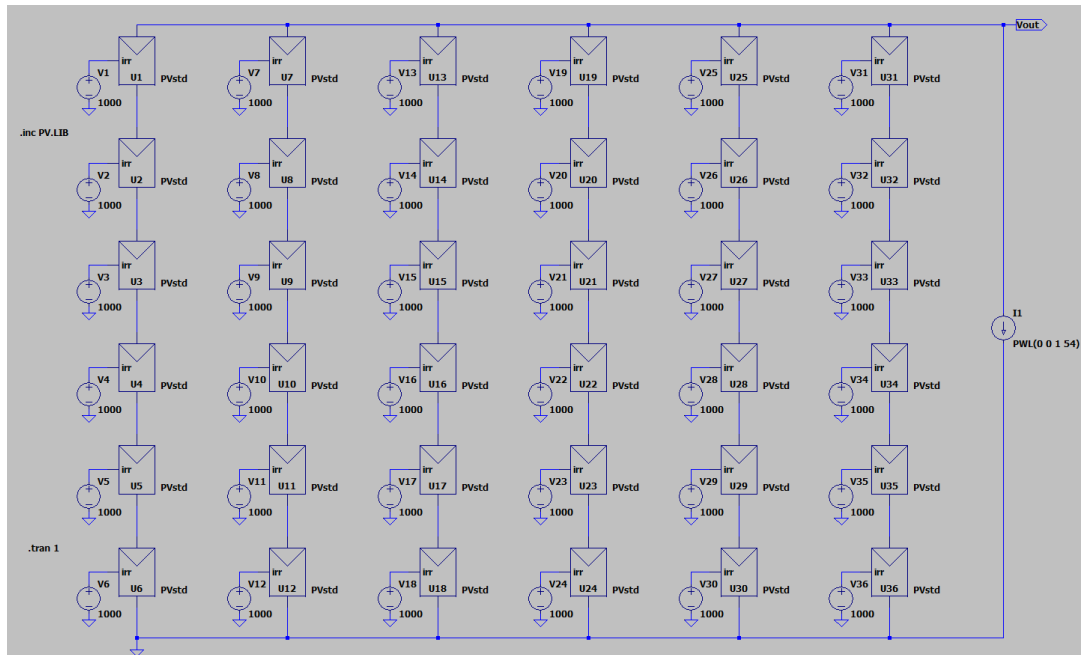
Fonte: Produção da própria autora

Figura 19 - Esquemático do *Total-Cross-Tied* 6x6 com iluminação total



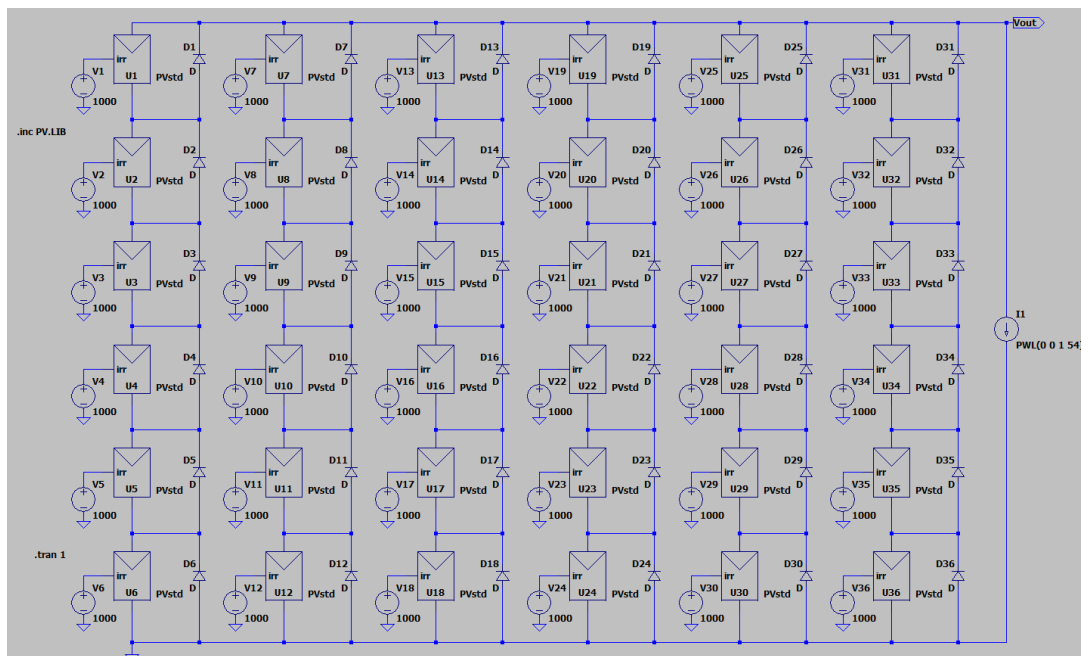
Fonte: Produção da própria autora

Figura 20 - Esquemático do Série-Paralelo 6x6 com iluminação total



Fonte: Produção da própria autora

Figura 21 - Esquemático do Série-Paralelo 6x6 com diodo com iluminação total

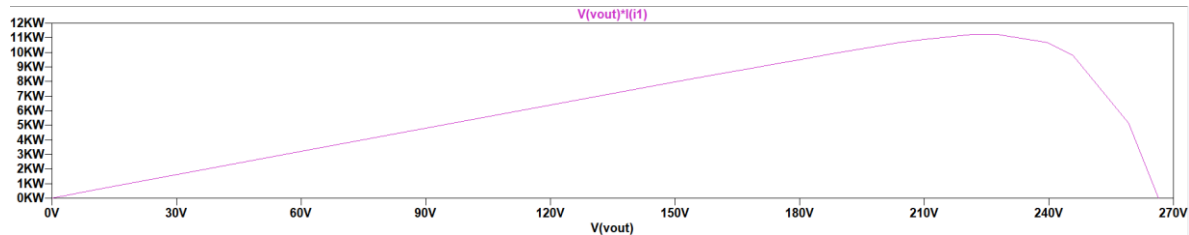


Fonte: Produção da própria autora

Após os ajustes dos parâmetros para as simulações, obteve-se os gráficos PxV e IxV. De acordo com os gráficos obtidos a potência máxima foi de 11,2449 kW e a corrente máxima 53,7357 A, em todas as interconexões. O gráfico PxV é representado na Figura 22 e

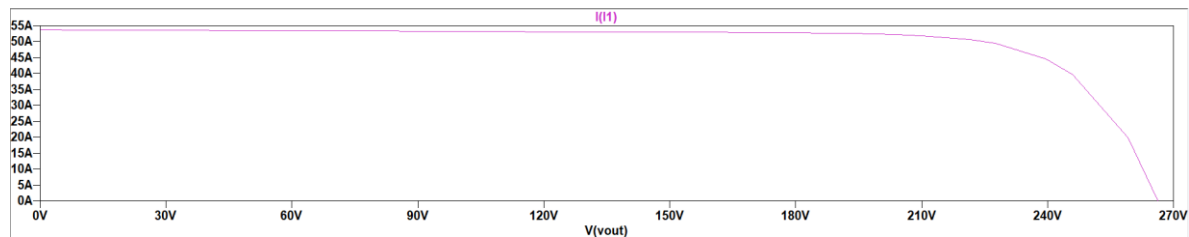
o IxV na Figura 23. As curvas não apresentam distorções em relação ao formato ideal de uma curva PxV e IxV, ou seja, apresentam apenas 1 ponto de máximo, como é possível observar.

Figura 22 - Gráfico da potência de saída com iluminação total dos painéis



Fonte: Produção da própria autora

Figura 23 - Gráfico da corrente de saída com iluminação total dos painéis



Fonte: Produção da própria autora

Os resultados das simulações com iluminação total dos painéis fotovoltaicos são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Comparação entre esquemas de interconexão com iluminação total

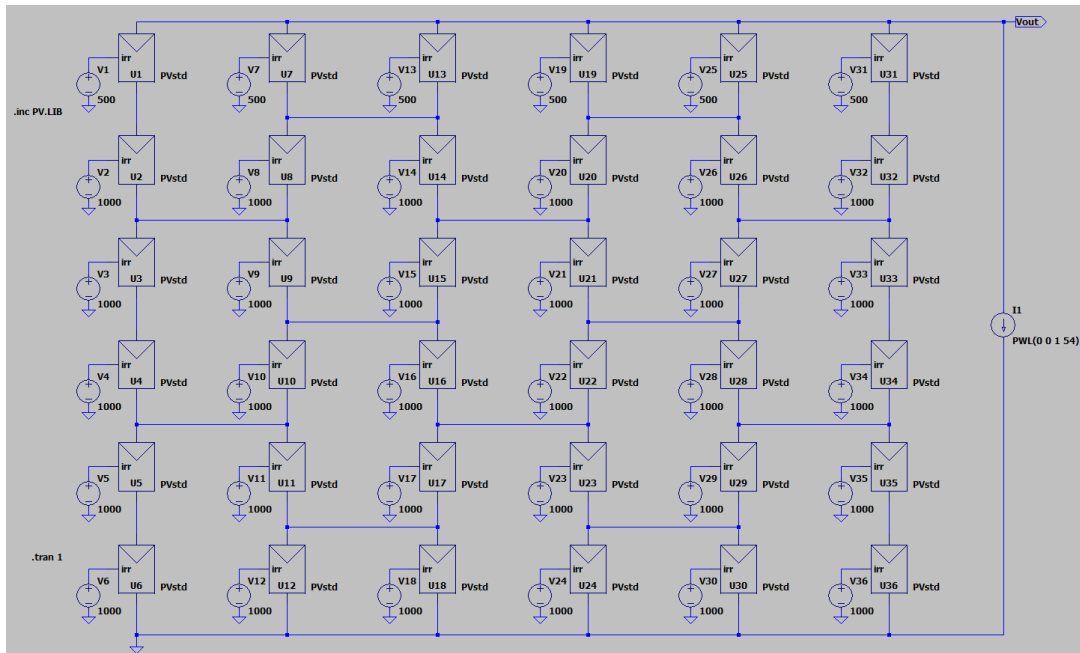
Interconexão	Potência máxima (kW)	Corrente de saída (A)
<i>Bridge-Link</i>	11,2449	53,7357
<i>Honey-Comb</i>	11,2449	53,7357
<i>Total-Cross-Tied</i>	11,2449	53,7357
Série-Paralelo	11,2449	53,7357
Série-Paralelo com diodo	11,2449	53,7357

Fonte: Produção da própria autora

4.2 SIMULAÇÕES COM 1 LINHA NA SOMBRA

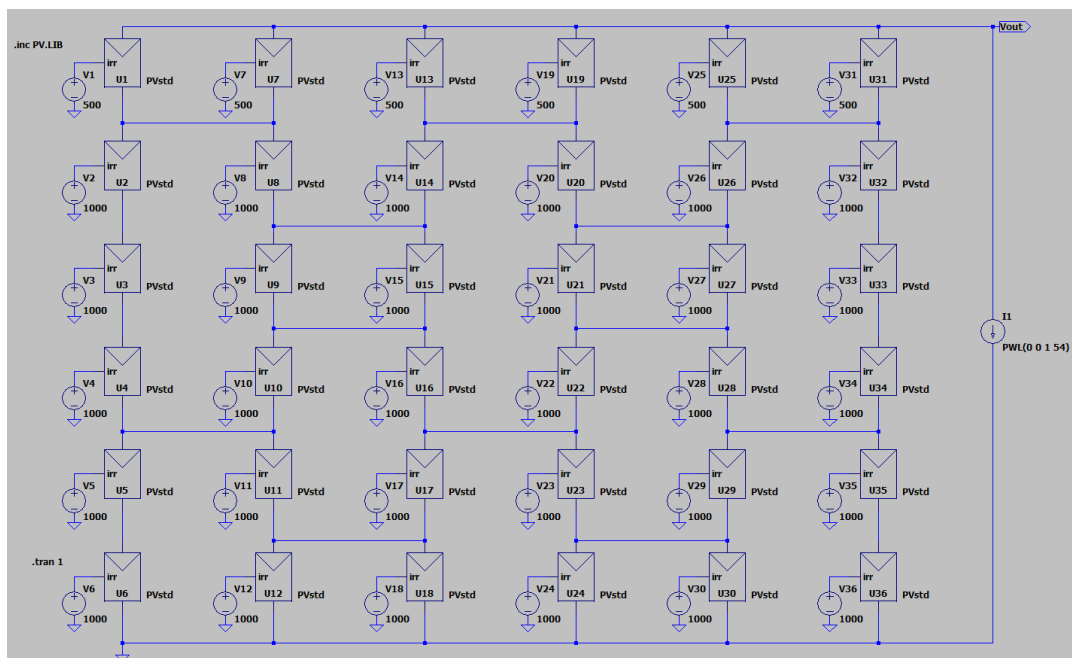
Nesta etapa, em cada uma das interconexões: *Bridge-Link* 6x6, *Honey-Comb* 6x6, *Total-Cross-Tied* 6x6, e Série-Paralelo 6x6, foi realizado um teste no LTspice simulando a iluminação parcial dos painéis fotovoltaicos, aplicando o sombreamento em 1 linha como mostrado nas Figuras 24, 25, 26, 27, e 28.

Figura 24 - Esquemático do *Bridge-Link* 6x6 com 1 linha na sombra



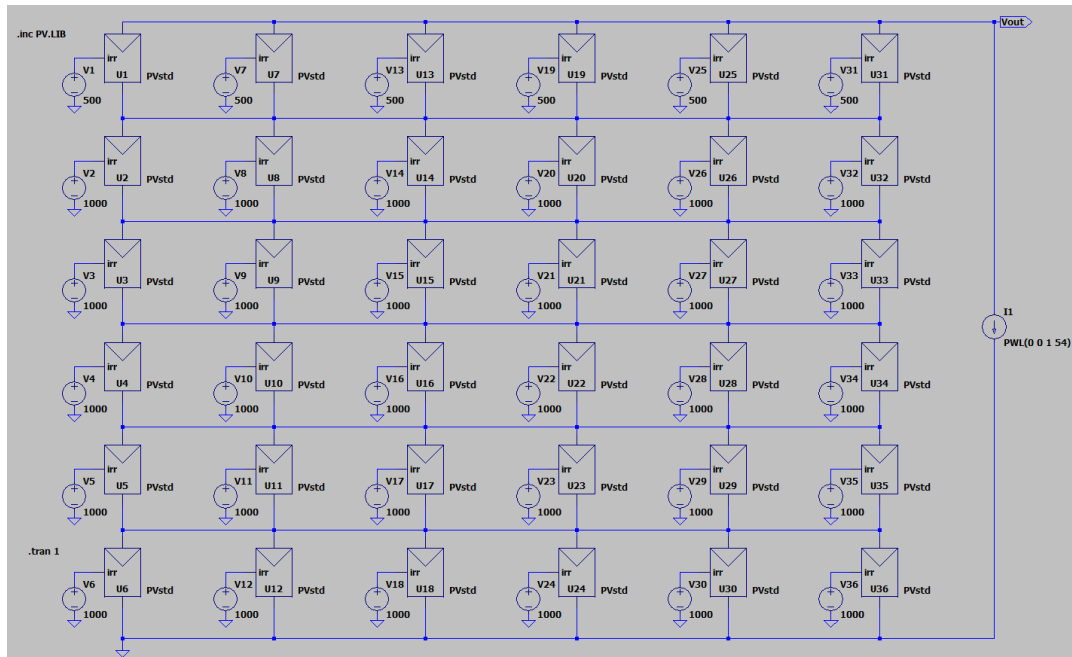
Fonte: Produção da própria autora

Figura 25 - Esquemático do *Honey-Comb* 6x6 com 1 linha na sombra



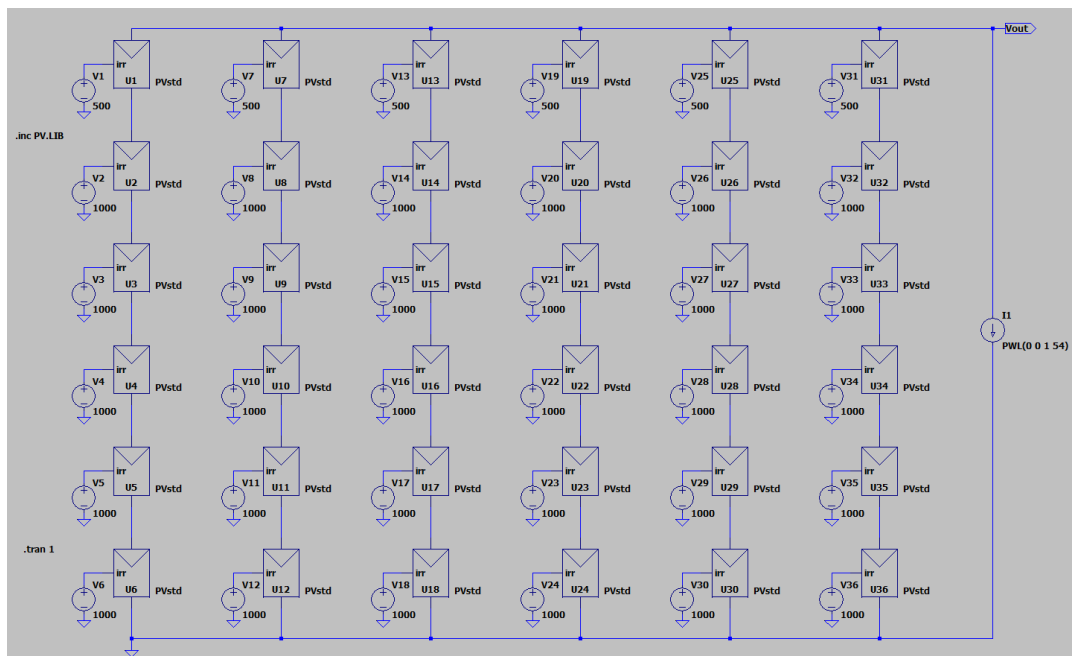
Fonte: Produção da própria autora

Figura 26 - Esquemático do *Total-Cross-Tied* 6x6 com 1 linha na sombra



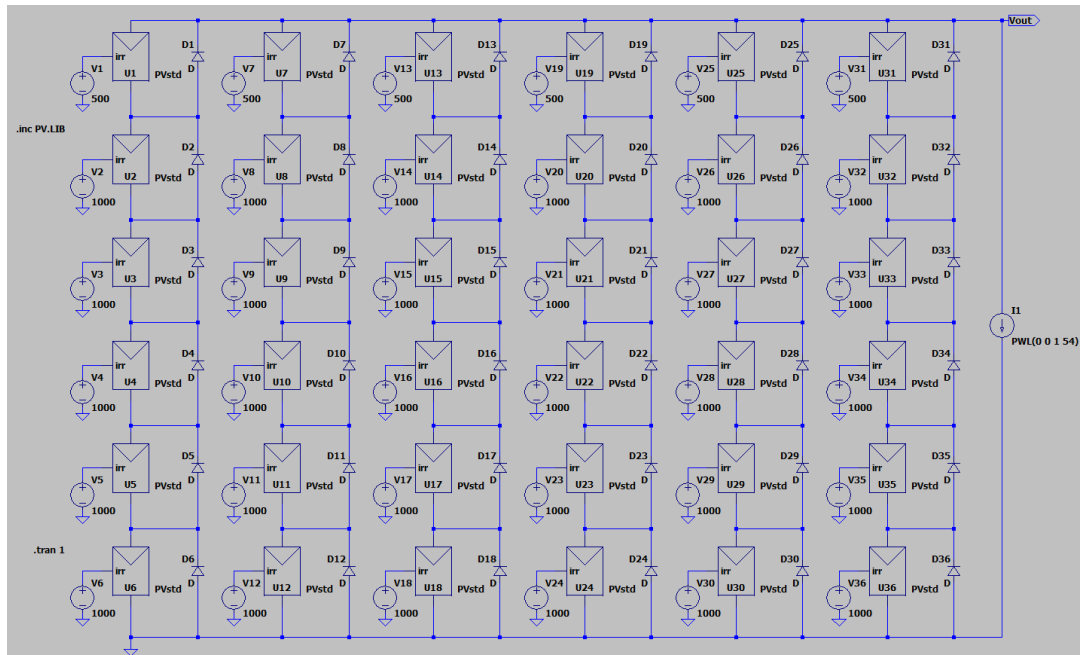
Fonte: Produção da própria autora

Figura 27 - Esquemático do Série-Paralelo 6x6 com 1 linha na sombra



Fonte: Produção da própria autora

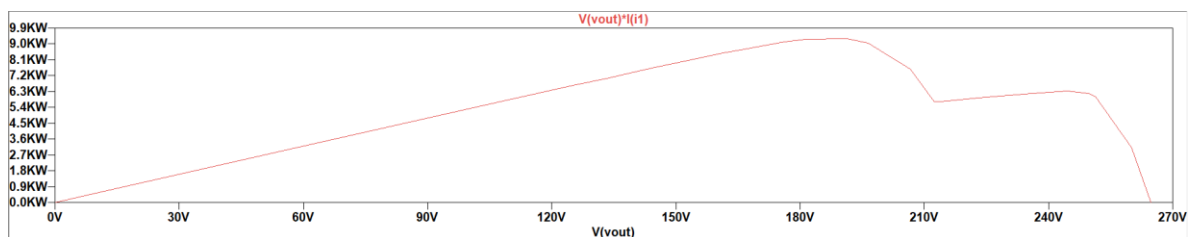
Figura 28 - Esquemático do Série-Paralelo 6x6 com diodo com 1 linha na sombra



Fonte: Produção da própria autora

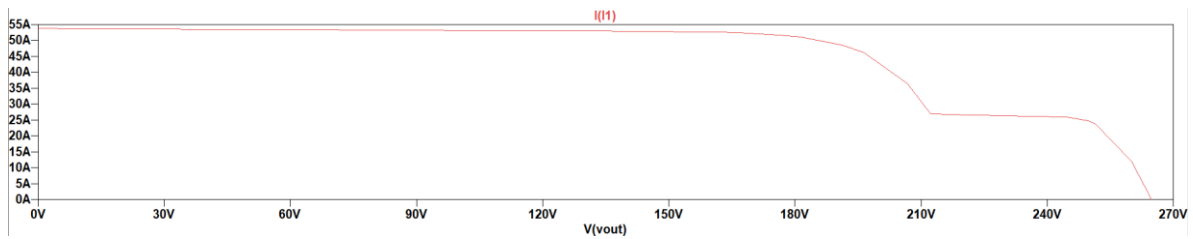
Em seguida foram realizados os ajustes para as simulações e obteve-se os gráficos PxV e os IxV. De todos os gráficos analisados, o único que apresentou distorções com relação ao formato ideal de uma curva PxV e IxV foi a interconexão Série-Paralelo com diodo, ou seja, os gráficos apresentam mais de 1 ponto de máximo. Seu valor de potência máxima foi de 9,2939 kW e corrente máxima de 53,7422 A. As outras interconexões apresentaram uma potência máxima de 6,3208 kW e corrente máxima de 32,9115 A. Nas Figuras 29 e 30 são mostrados os gráficos do Série-Paralelo com diodo e nas Figuras 31 e 32 são os gráficos das outras interconexões.

Figura 29 - Gráfico da potência de saída com 1 linha na sombra do Série-Paralelo com diodo



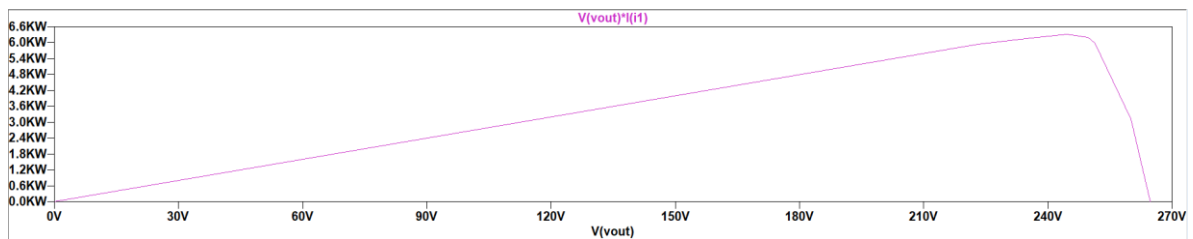
Fonte: Produção da própria autora

Figura 30 - Gráfico da corrente de saída com 1 linha na sombra do Série-Paralelo com diodo



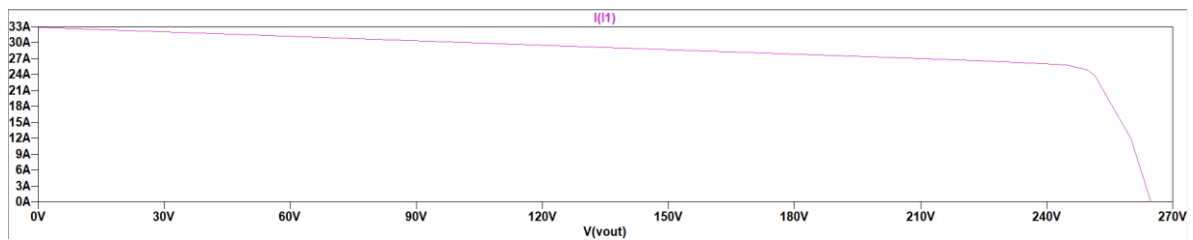
Fonte: Produção da própria autora

Figura 31 - Gráfico da potência de saída com 1 linha na sombra



Fonte: Produção da própria autora

Figura 32 - Gráfico da corrente de saída com 1 linha na sombra



Fonte: Produção da própria autora

Os resultados das simulações com iluminação parcial dos painéis fotovoltaicos, com 1 linha na sombra são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Comparação entre esquemas de interconexão com 1 linha na sombra

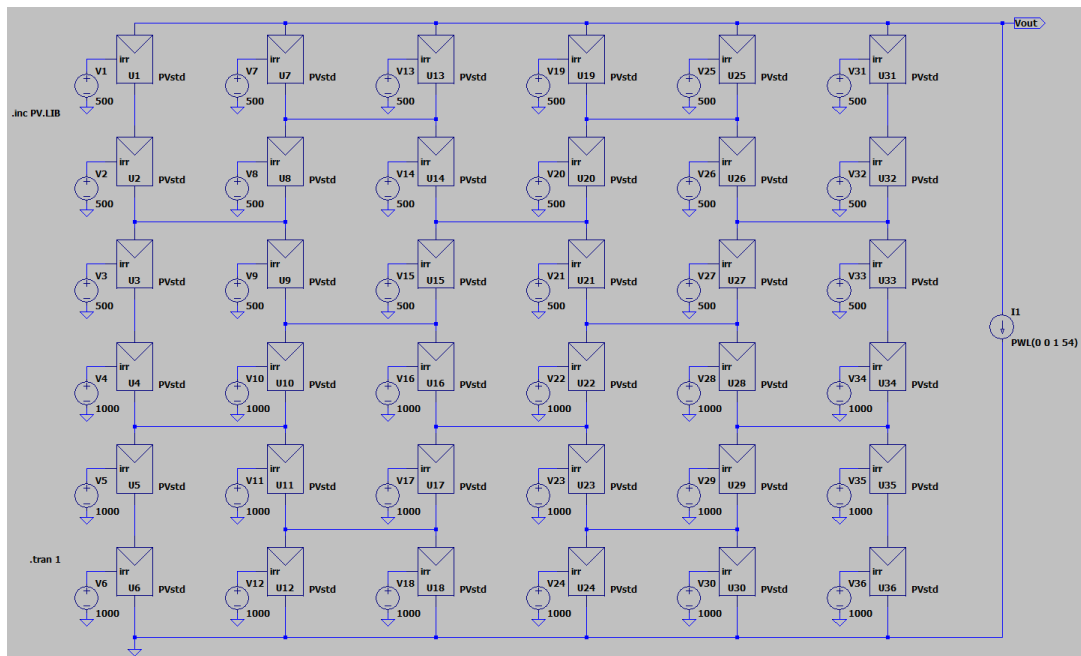
Interconexão	Potência máxima (kW)	Corrente de saída (A)
<i>Bridge-Link</i>	6,3208	32,9115
<i>Honey-Comb</i>	6,3208	32,9115
<i>Total-Cross-Tied</i>	6,3208	32,9115
Série-Paralelo	6,3208	32,9115
Série-Paralelo com diodo	9,2939	53,7422

Fonte: Produção da própria autora

4.3 SIMULAÇÕES COM 3 LINHAS NA SOMBRA

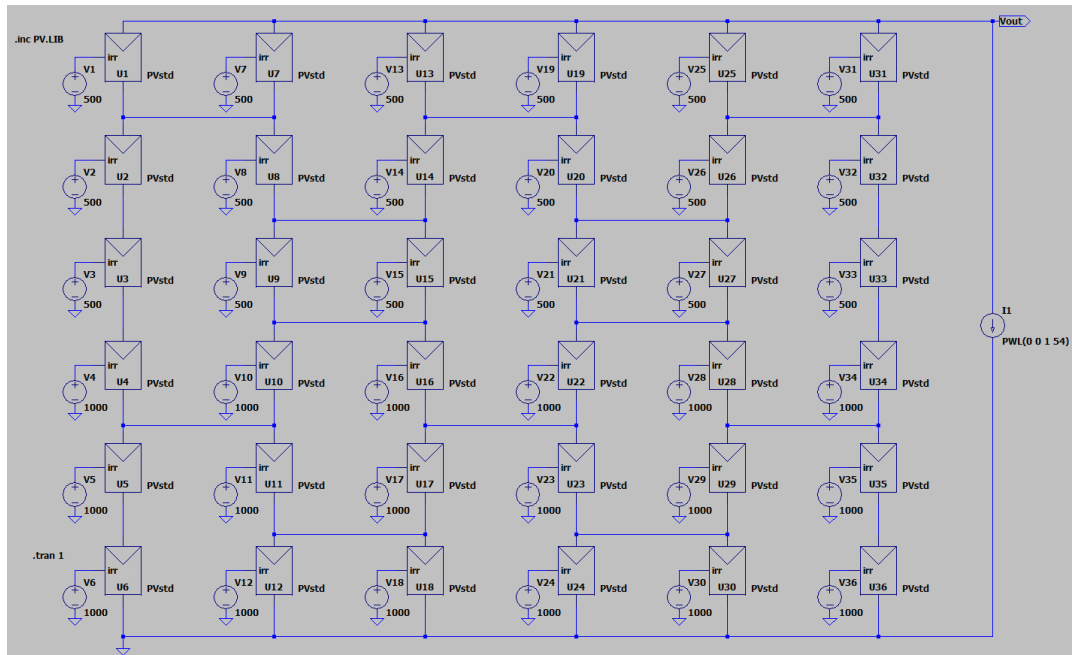
Em cada uma das interconexões: *Bridge-Link 6x6*, *Honey-Comb 6x6*, *Total-Cross-Tied 6x6*, e *Série-Paralelo 6x6*, foi realizado um teste no *LTspice* simulando a iluminação parcial de um painel fotovoltaico, aplicando o sombreamento em 3 linhas. Os esquemáticos são mostrados nas Figuras 33, 34, 35, 36, e 37.

Figura 33 - Esquemático do *Bridge-Link 6x6* com 3 linhas na sombra



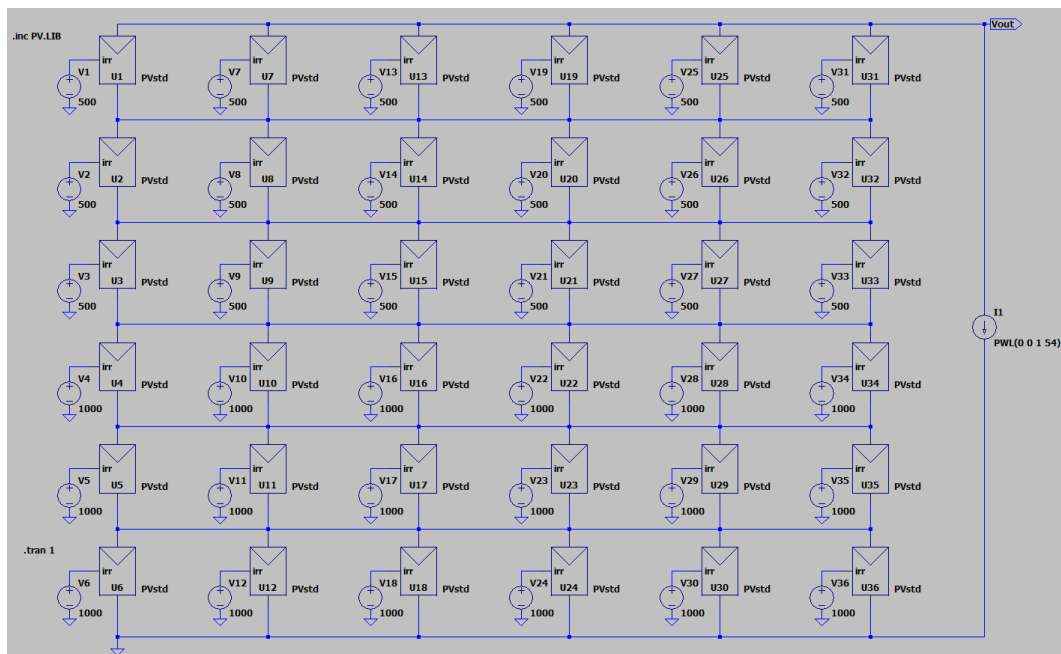
Fonte: Produção da própria autora

Figura 34 - Esquemático do *Honey-Comb* 6x6 com 3 linhas na sombra



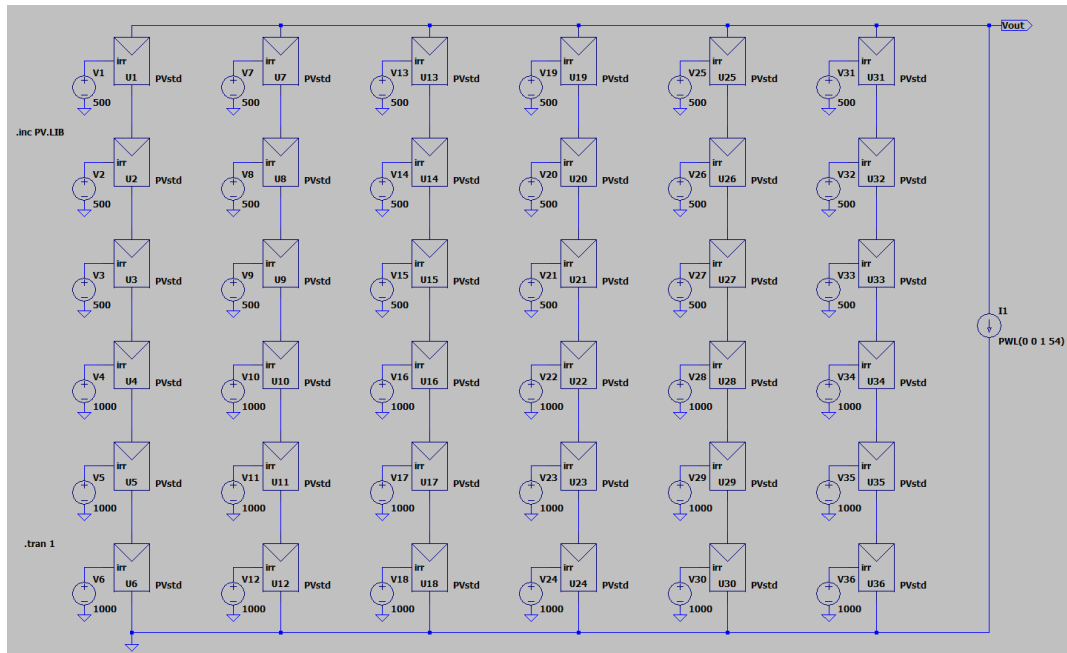
Fonte: Produção da própria autora

Figura 35 - Esquemático do *Total-Cross-Tied* 6x6 com 3 linhas na sombra



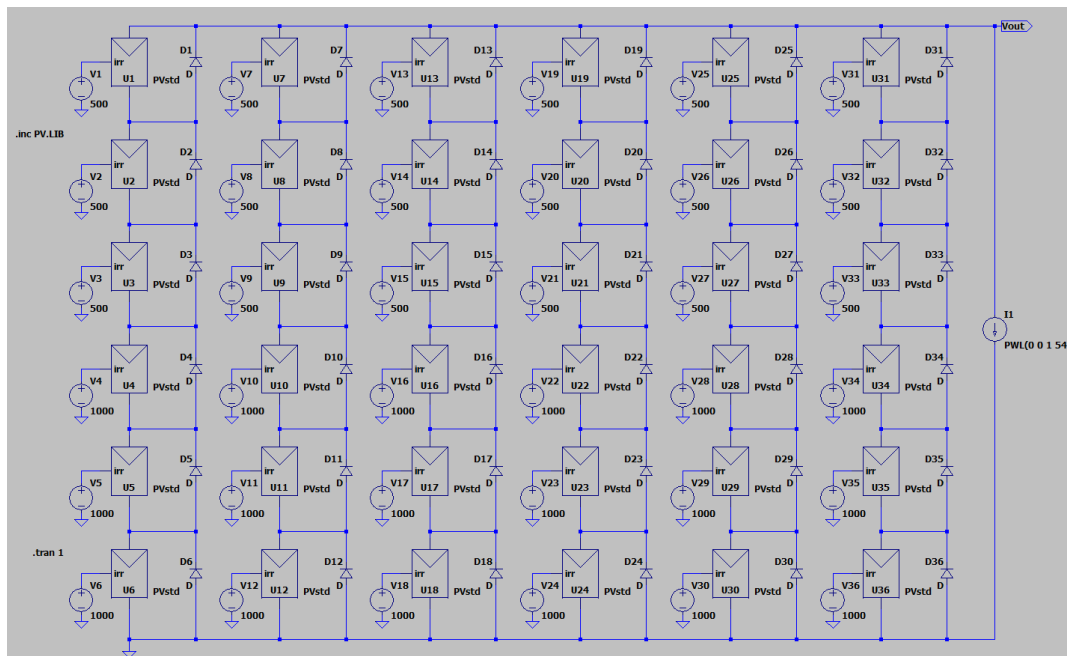
Fonte: Produção da própria autora

Figura 36 - Esquemático do Série-Paralelo 6x6 com 3 linhas na sombra



Fonte: Produção da própria autora

Figura 37 - Esquemático do Série-Paralelo com diodo 6x6 com 3 linhas na sombra

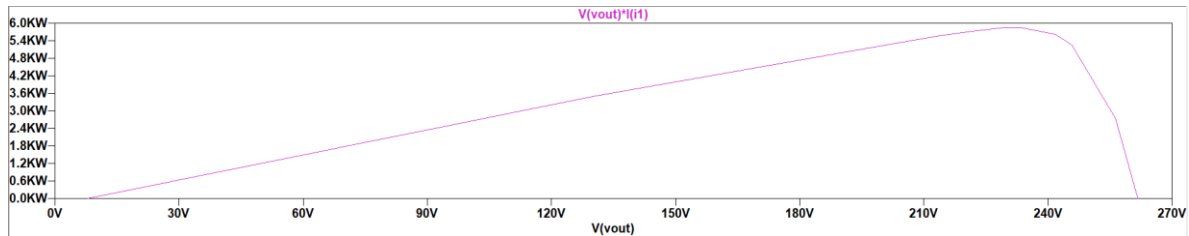


Fonte: Produção da própria autora

Depois de realizar as simulações, obteve-se os gráficos PxV e IxV presentes nas Figuras 38 e 39. As curvas não apresentam distorções em relação ao formato ideal de uma curva PxV e IxV, ou seja, apresentam apenas 1 ponto de máximo, exceto a interconexão

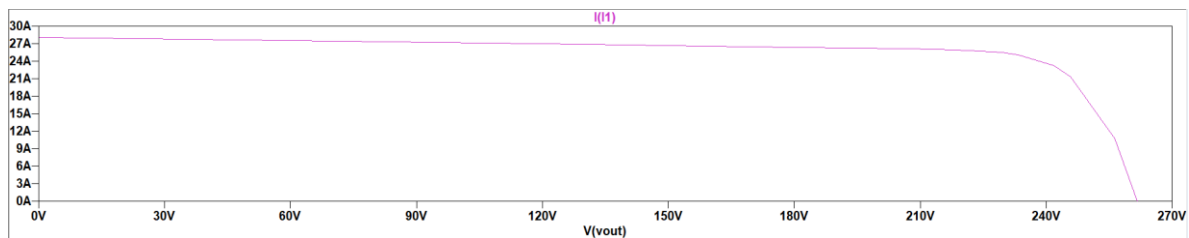
Série-Paralelo com diodo, representada nas Figuras 40 e 41. O valor de potência máxima de todas as interconexões foi de 5,8583 kW, apesar das distorções, enquanto a corrente máxima foi de 53,7156 A no Série-Paralelo com diodo, e nas demais foi 28,0913 A.

Figura 38 - Gráfico da potência de saída com 3 linhas na sombra



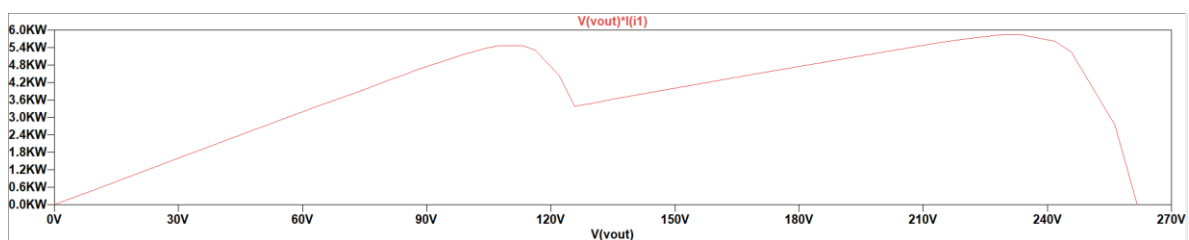
Fonte: Produção da própria autora

Figura 39 - Gráfico da corrente de saída com 3 linhas na sombra



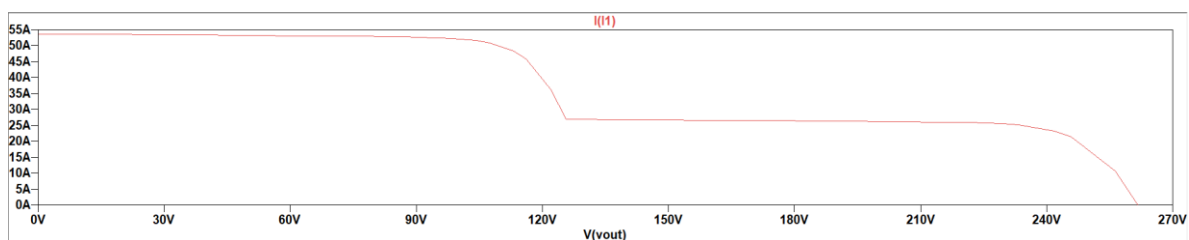
Fonte: Produção da própria autora

Figura 40 - Gráfico da potência de saída com 3 linhas na sombra Série-Paralelo com diodo



Fonte: Produção da própria autora

Figura 41 - Gráfico da corrente de saída com 3 linhas na sombra Série-Paralelo com diodo



Fonte: Produção da própria autora

Os resultados das simulações com iluminação parcial dos painéis fotovoltaicos, com 3 linhas na sombra são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Comparação entre esquemas de interconexão com 3 linhas na sombra

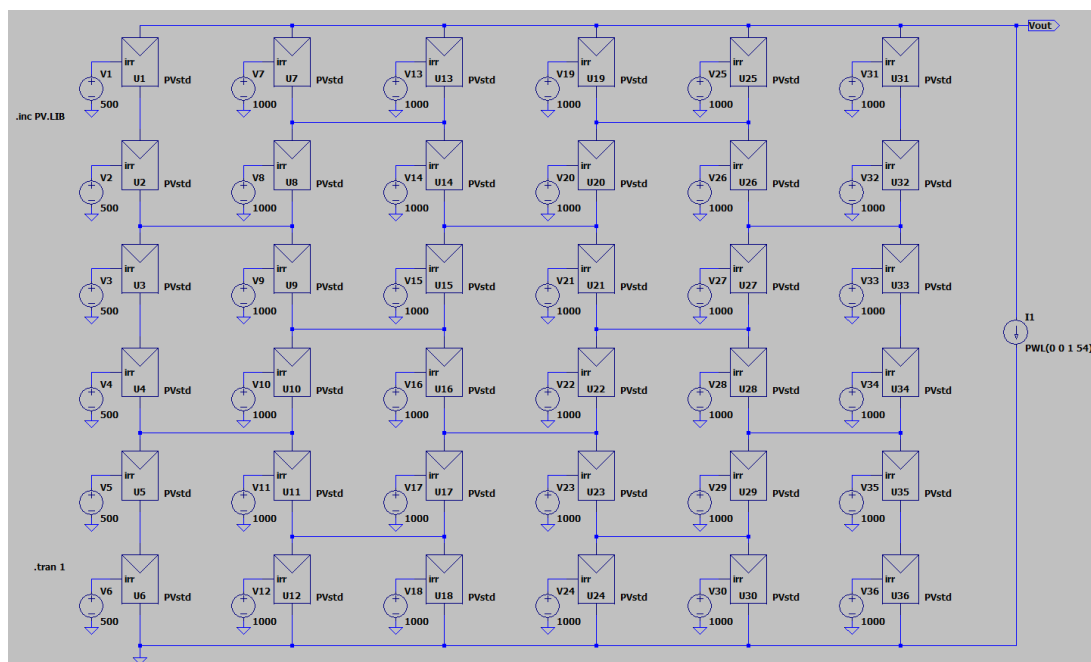
Interconexão	Potência máxima (kW)	Corrente de saída (A)
<i>Bridge-Link</i>	5,8583	28,0913
<i>Honey-Comb</i>	5,8583	28,0913
<i>Total-Cross-Tied</i>	5,8583	28,0913
Série-Paralelo	5,8583	28,0913
Série-Paralelo com diodo	5,8583	53,7156

Fonte: Produção da própria autora

4.4 SIMULAÇÕES COM 1 COLUNA NA SOMBRA

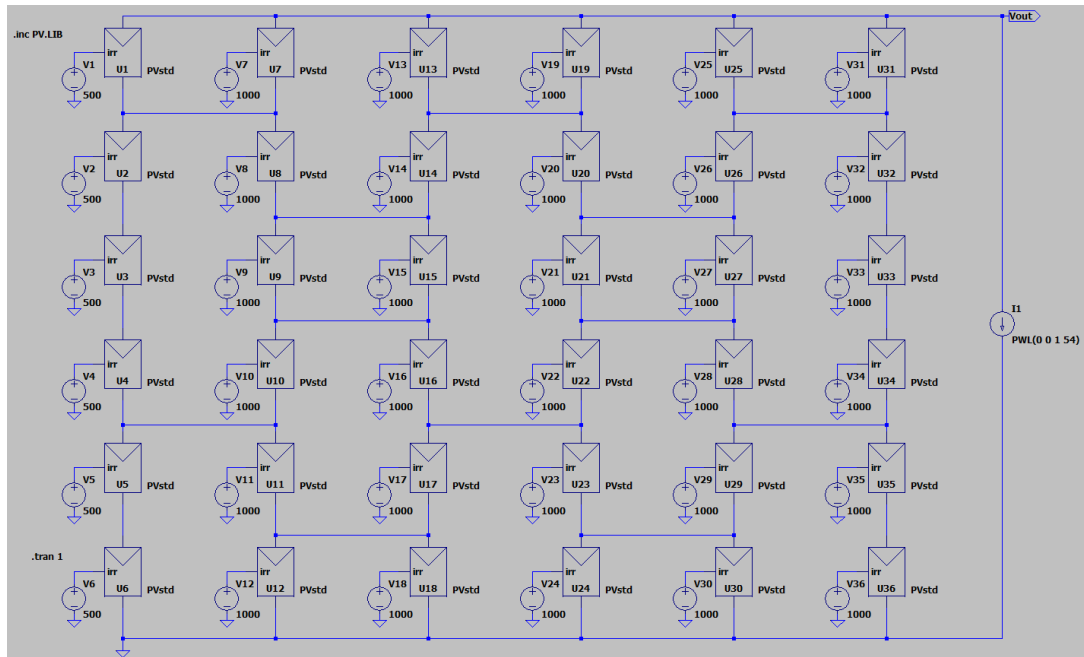
Neste estágio, em cada uma das interconexões foi realizado um teste simulando a iluminação parcial dos painéis fotovoltaicos, adotando o sombreamento em 1 coluna. Os esquemáticos são apresentados nas Figuras 42, 43, 44, 45, e 46.

Figura 42 - Esquemático do *Bridge-Link* 6x6 com 1 coluna na sombra



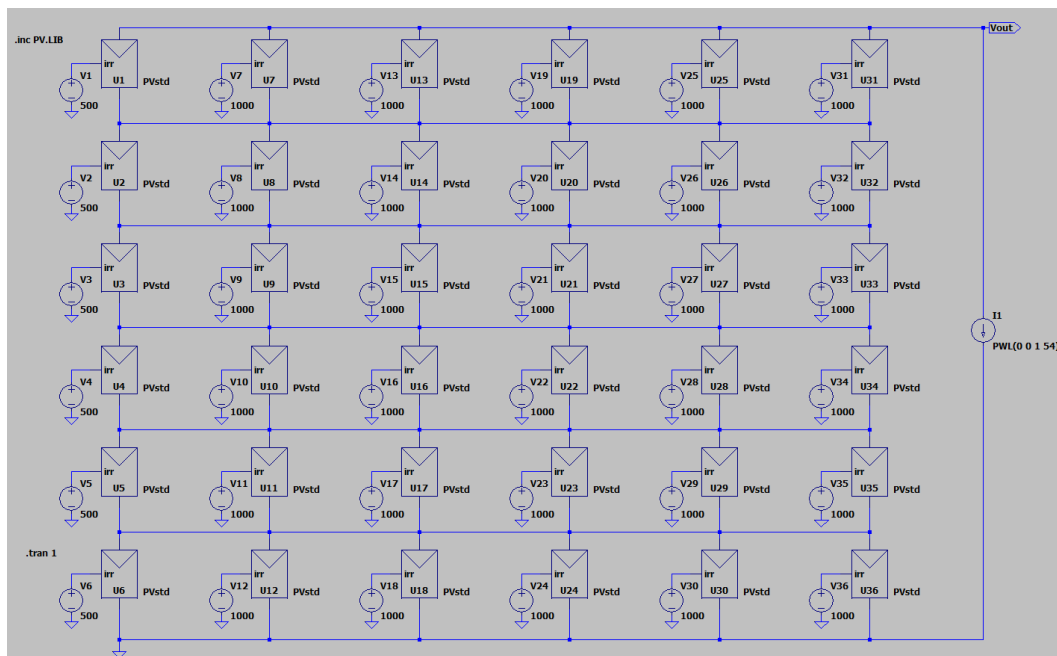
Fonte: Produção da própria autora

Figura 43 - Esquemático do *Honey-Comb* 6x6 com 1 coluna na sombra



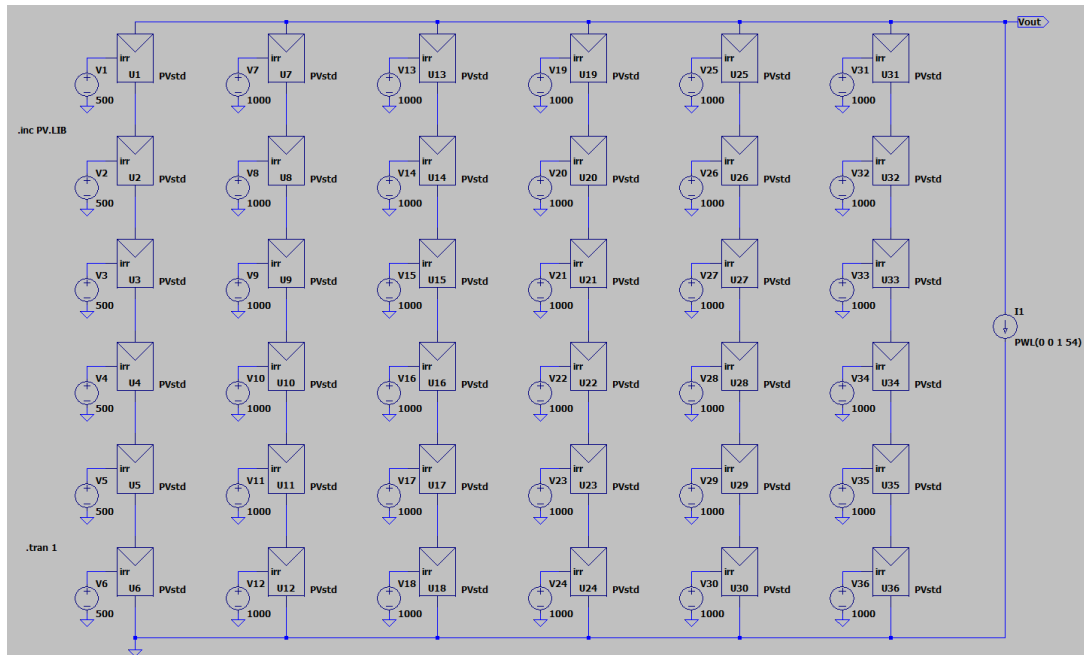
Fonte: Produção da própria autora

Figura 44 - Esquemático do *Total-Cross-Tied* 6x6 com 1 coluna na sombra



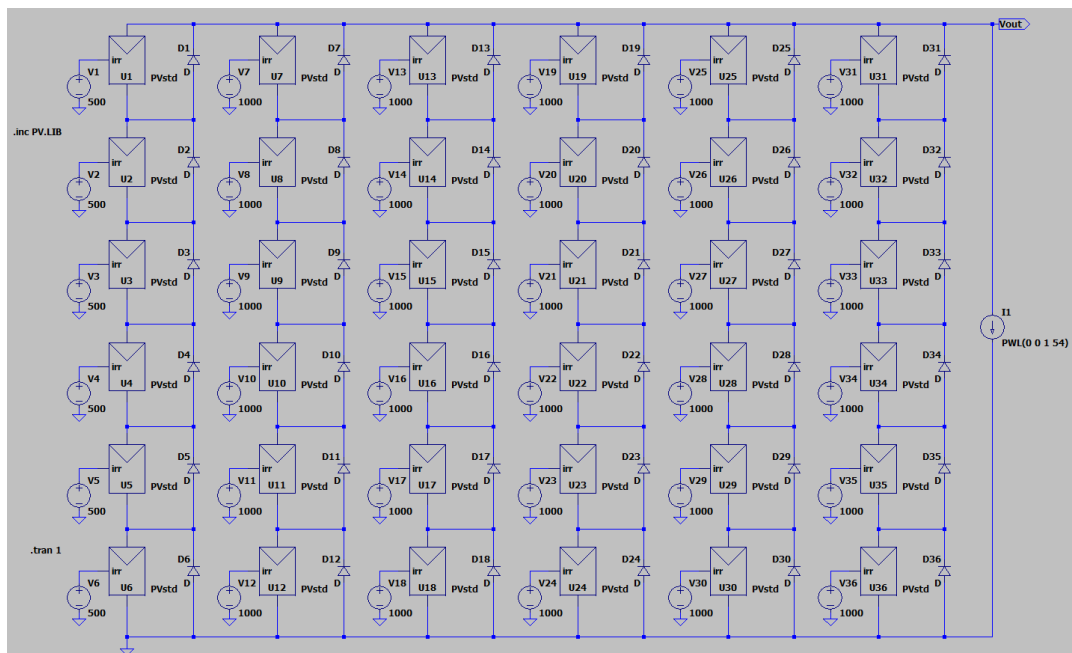
Fonte: Produção da própria autora

Figura 45 - Esquemático do Série-Paralelo 6x6 com 1 coluna na sombra



Fonte: Produção da própria autora

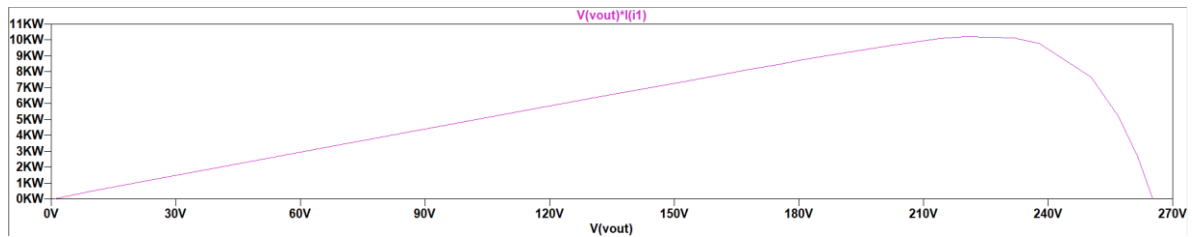
Figura 46 - Esquemático do Série-Paralelo com diodo 6x6 com 1 coluna na sombra



Fonte: Produção da própria autora

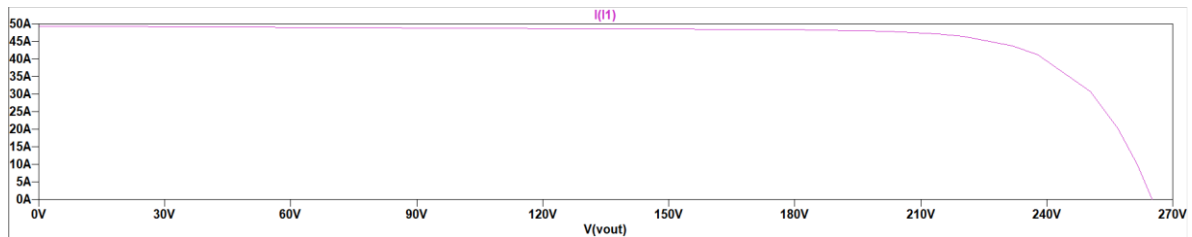
Logo após foi realizado as simulações com as interconexões e foi obtido os gráficos PxV e IxV. Os gráficos foram todos iguais, inclusive o Série-Paralelo com diodo, e estão representados nas Figuras 47 e 48. Nenhum deles apresentou distorções com relação ao formato ideal de uma curva PxV e IxV, ou seja, apresentam apenas 1 ponto de máximo.

Figura 47 - Gráfico da potência de saída com 1 coluna na sombra



Fonte: Produção da própria autora

Figura 48 - Gráfico da corrente de saída com 1 coluna na sombra



Fonte: Produção da própria autora

Na Tabela 4 são apresentados os resultados das simulações com iluminação parcial dos painéis fotovoltaicos, com 1 coluna na sombra.

Tabela 4 – Comparação entre esquemas de interconexão com 1 coluna na sombra

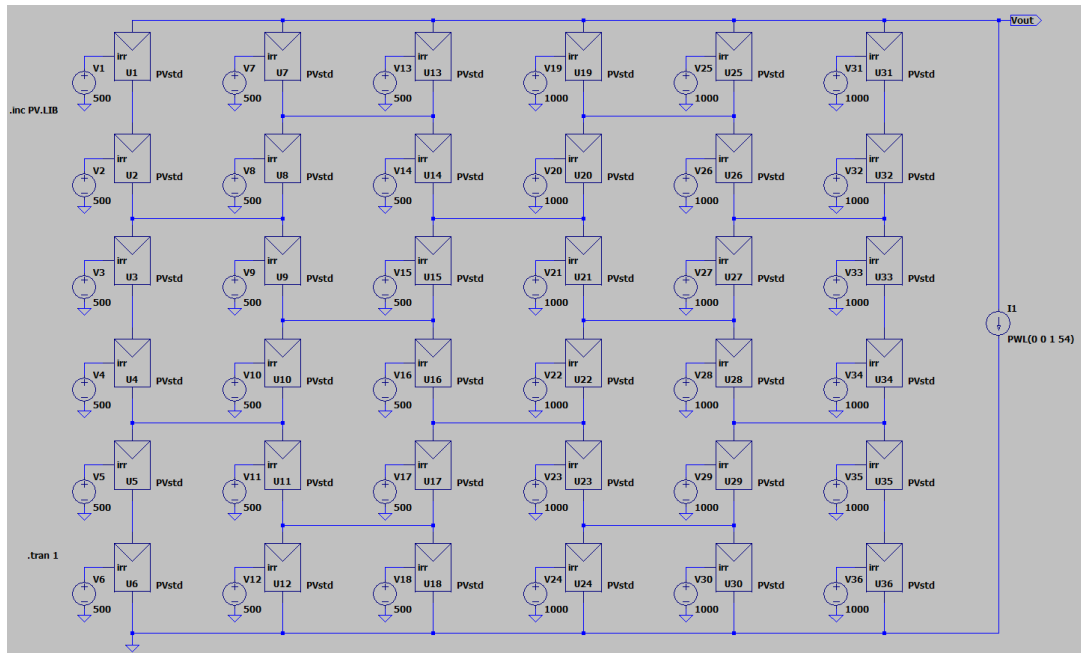
Interconexão	Potência máxima (kW)	Corrente de saída (A)
<i>Bridge-Link</i>	10,2157	49,2577
<i>Honey-Comb</i>	10,2157	49,2577
<i>Total-Cross-Tied</i>	10,2157	49,2577
Série-Paralelo	10,2157	49,2577
Série-Paralelo com diodo	10,2157	49,2735

Fonte: Produção da própria autora

4.5 SIMULAÇÕES COM 3 COLUNAS NA SOMBRA

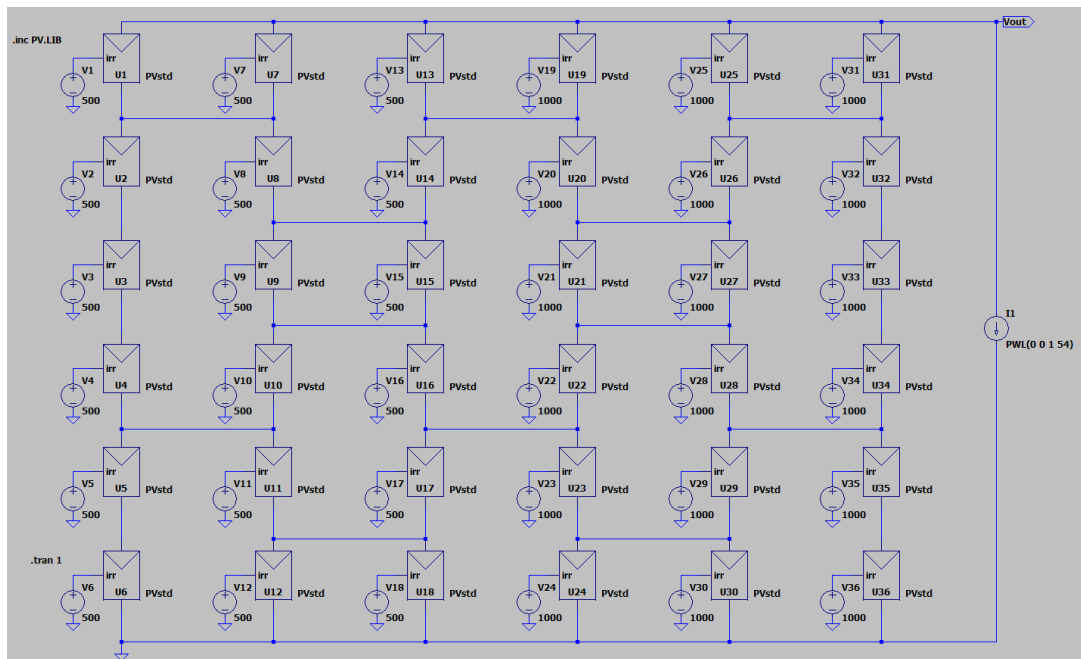
Nesta etapa, os testes foram realizados aplicando o sombreamento em 3 colunas. Nas Figuras 49, 50, 51, 52, e 53 são mostrados os esquemáticos.

Figura 49 - Esquemático do *Bridge-Link* 6x6 com 3 colunas na sombra



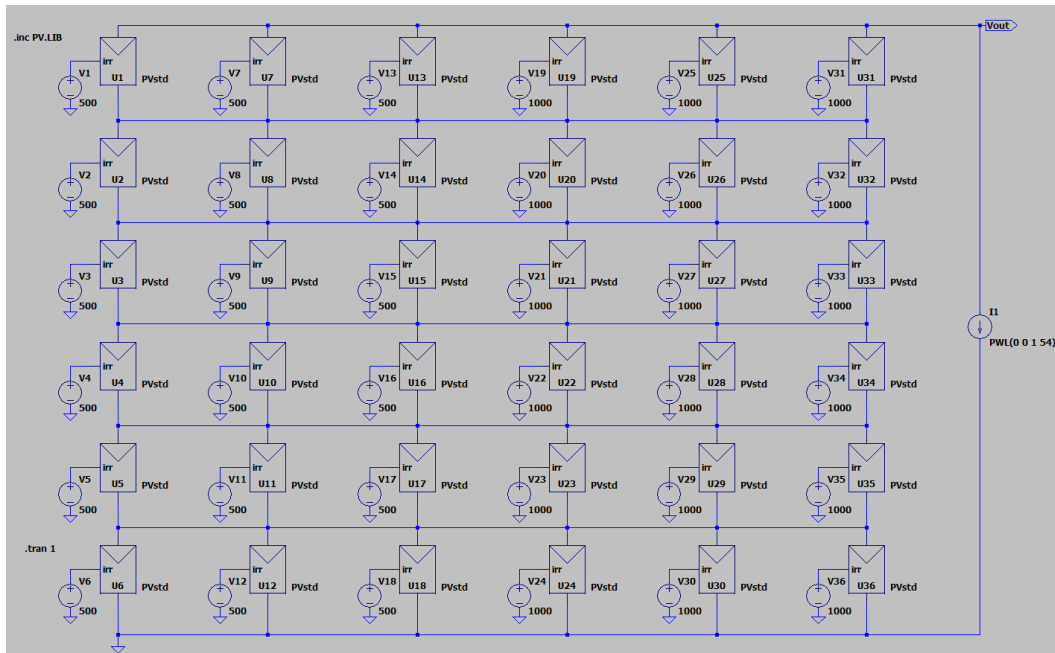
Fonte: Produção da própria autora

Figura 50 - Esquemático do *Honey-Comb* 6x6 com 3 colunas na sombra



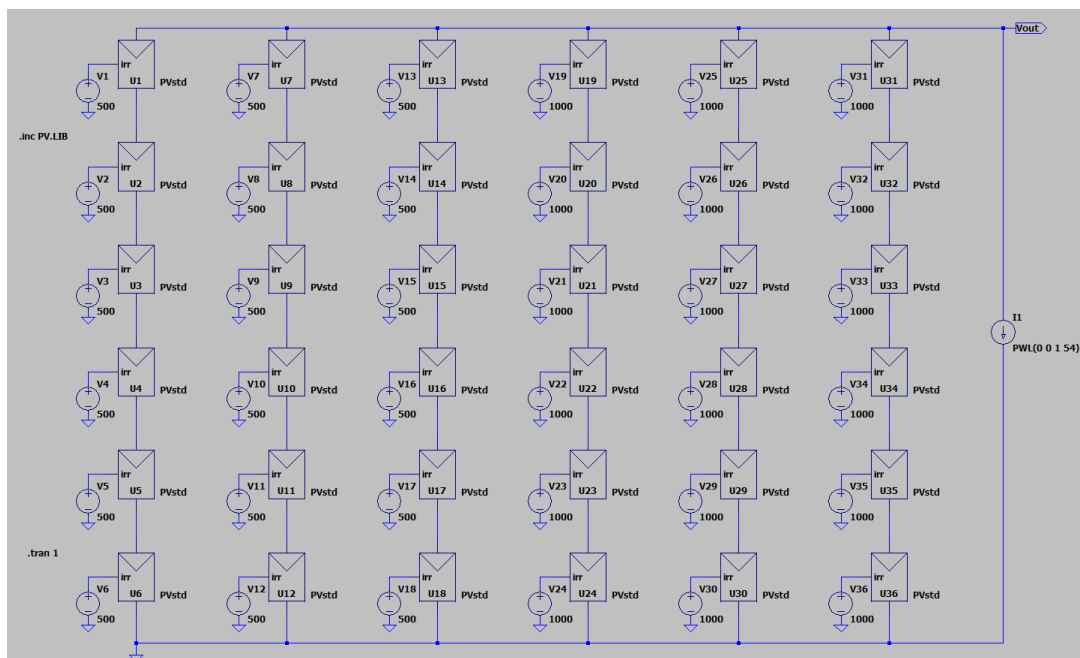
Fonte: Produção da própria autora

Figura 51 - Esquemático do *Total-Cross-Tied* 6x6 com 3 colunas na sombra



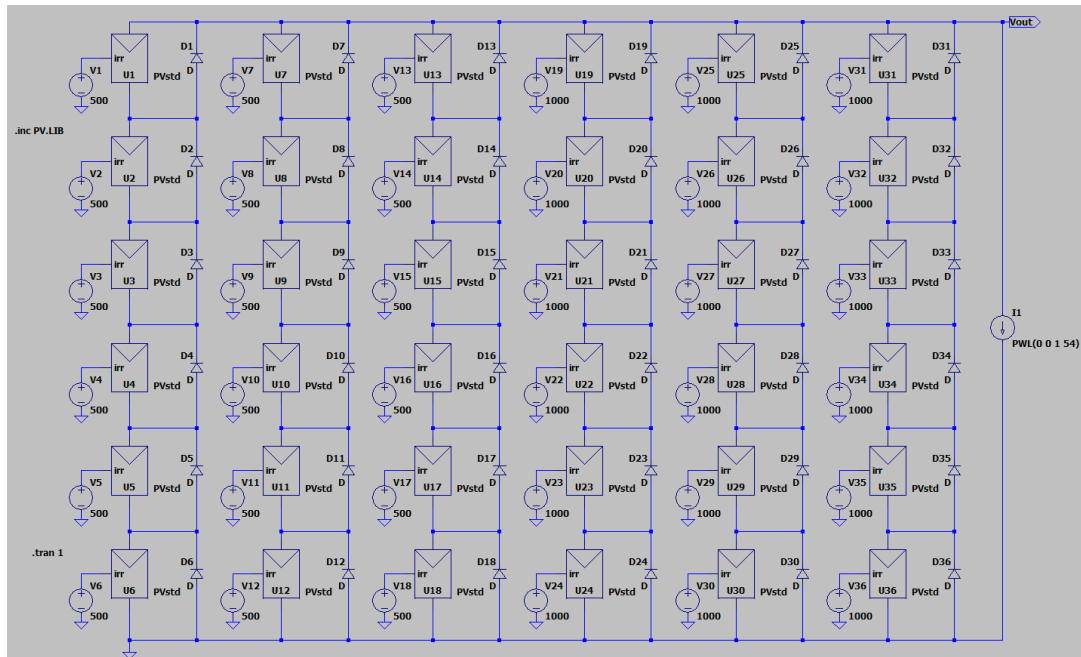
Fonte: Produção da própria autora

Figura 52 - Esquemático do Série-Paralelo 6x6 com 3 colunas na sombra



Fonte: Produção da própria autora

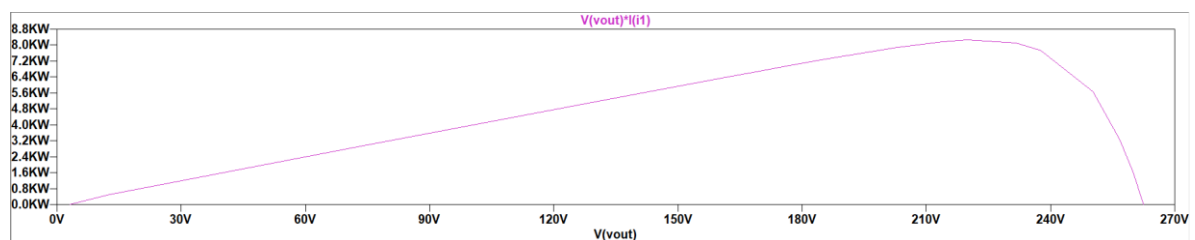
Figura 53 - Esquemático do Série-Paralelo com diodo 6x6 com 3 colunas na sombra



Fonte: Produção da própria autora

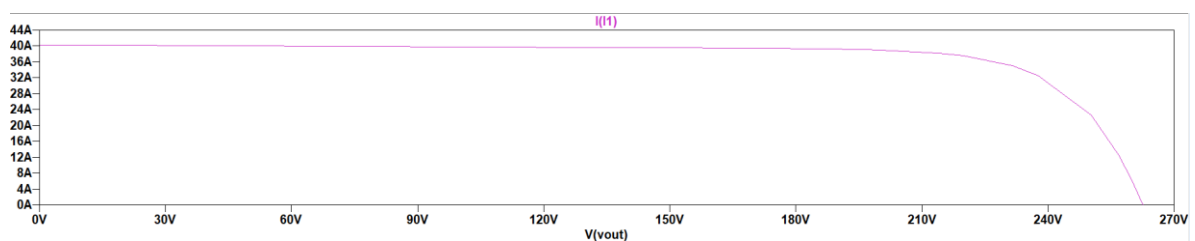
Todos os gráficos de potência apresentaram a mesma forma de curva entre elas e as de corrente também. As curvas não exibem distorções em relação ao formato ideal de uma curva $P \times V$ e $I \times V$, ou seja, apresentam apenas 1 ponto de máximo. Na Figura 54 é apresentado o gráfico de potência máxima e na Figura 55 o de corrente máxima.

Figura 54 - Gráfico da potência de saída com 3 colunas na sombra



Fonte: Produção da própria autora

Figura 55 - Gráfico da corrente de saída com 3 colunas na sombra



Fonte: Produção da própria autora

Os resultados das simulações com iluminação parcial dos painéis fotovoltaicos, com 3 colunas na sombra são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Comparação entre esquemas de interconexão com 3 colunas na sombra

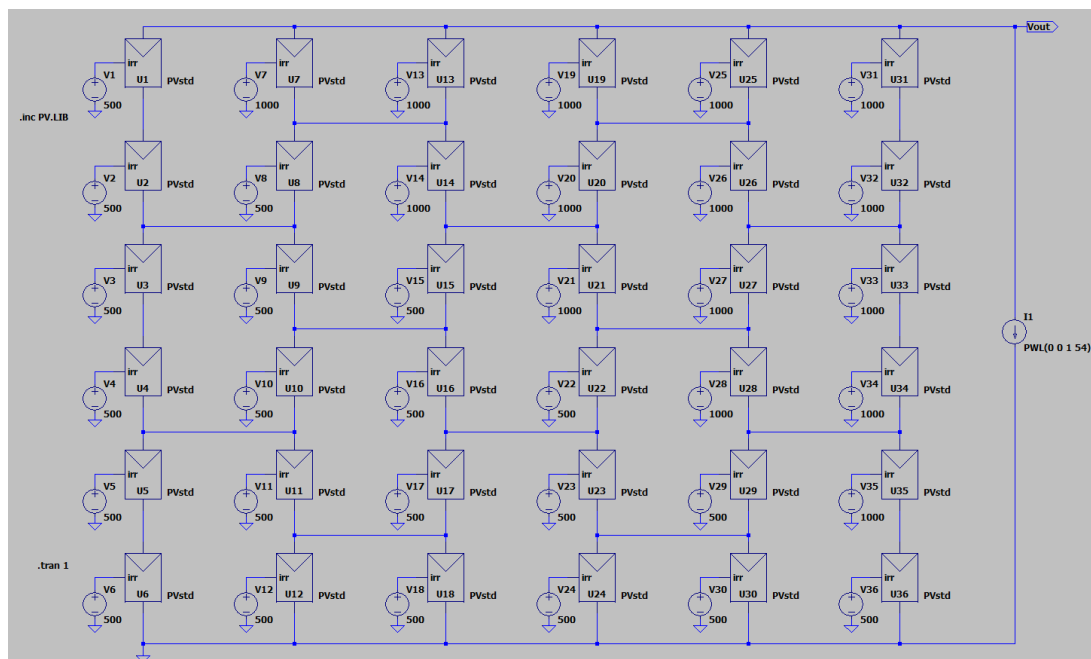
Interconexão	Potência máxima (kW)	Corrente de saída (A)
<i>Bridge-Link</i>	8,2576	40,3018
<i>Honey-Comb</i>	8,2576	40,3018
<i>Total-Cross-Tied</i>	8,2576	40,3018
Série-Paralelo	8,2576	40,3018
Série-Paralelo com diodo	8,2576	40,3165

Fonte: Produção da própria autora

4.6 SIMULAÇÕES COM METADE DIAGONAL NA SOMBRA

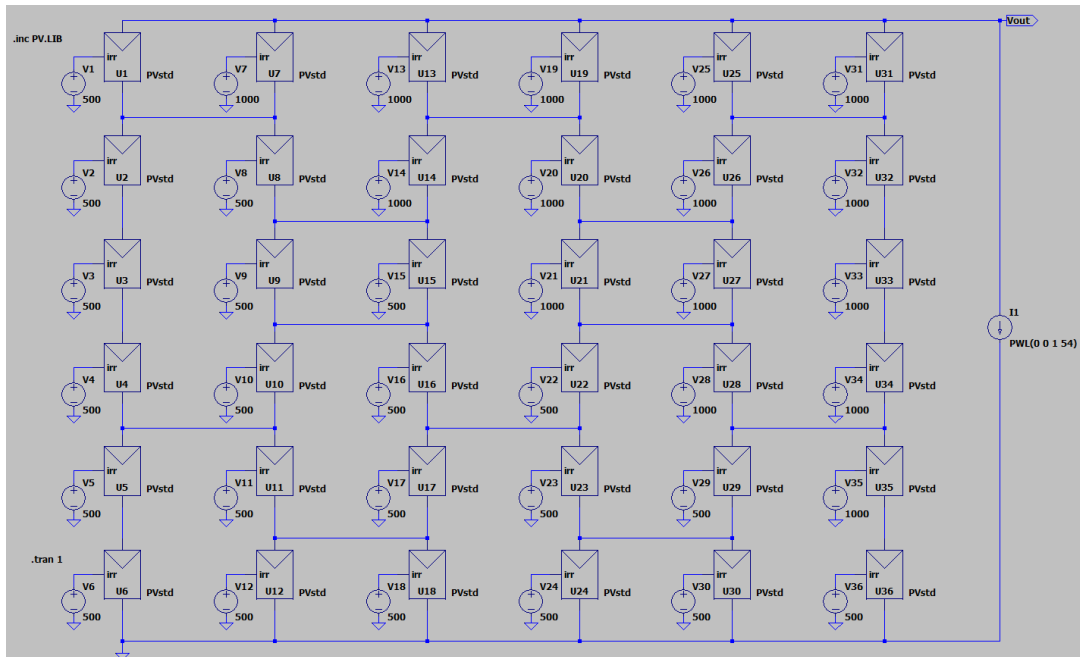
Nesta última etapa, foi aplicado o sombreamento em metade do painel em diagonal. Nas Figuras 56, 57, 58, 59, e 60 são apresentados os esquemáticos.

Figura 56 - Esquemático do *Bridge-Link* 6x6 com metade diagonal na sombra



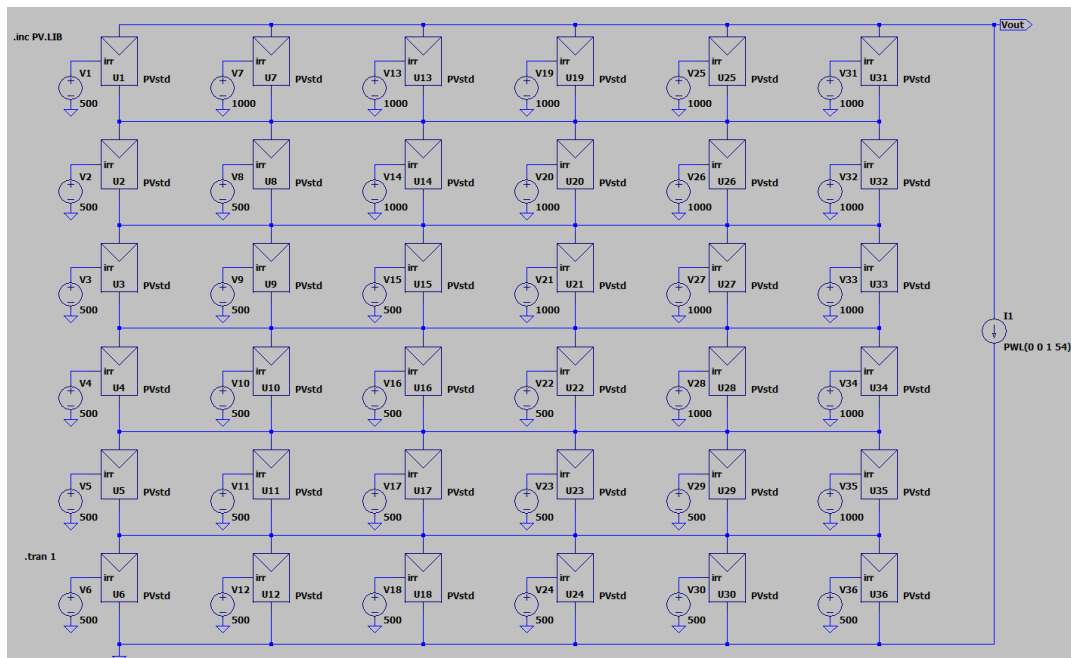
Fonte: Produção da própria autora

Figura 57 - Esquemático do *Honey-Comb* 6x6 com metade diagonal na sombra



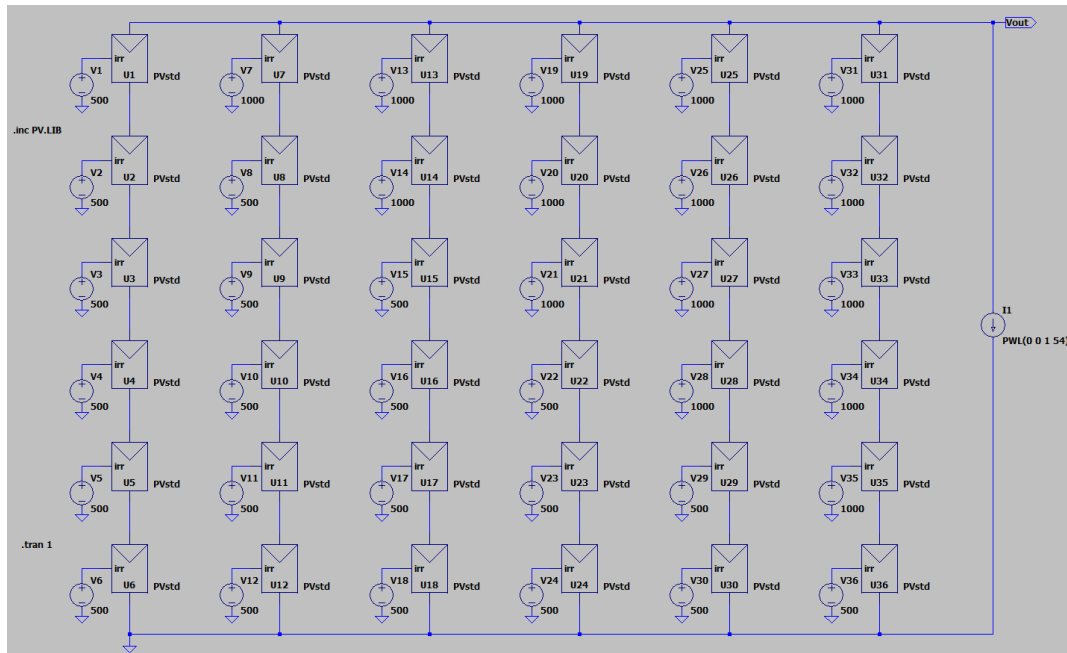
Fonte: Produção da própria autora

Figura 58 - Esquemático do *Total-Cross-Tied* 6x6 com metade diagonal na sombra



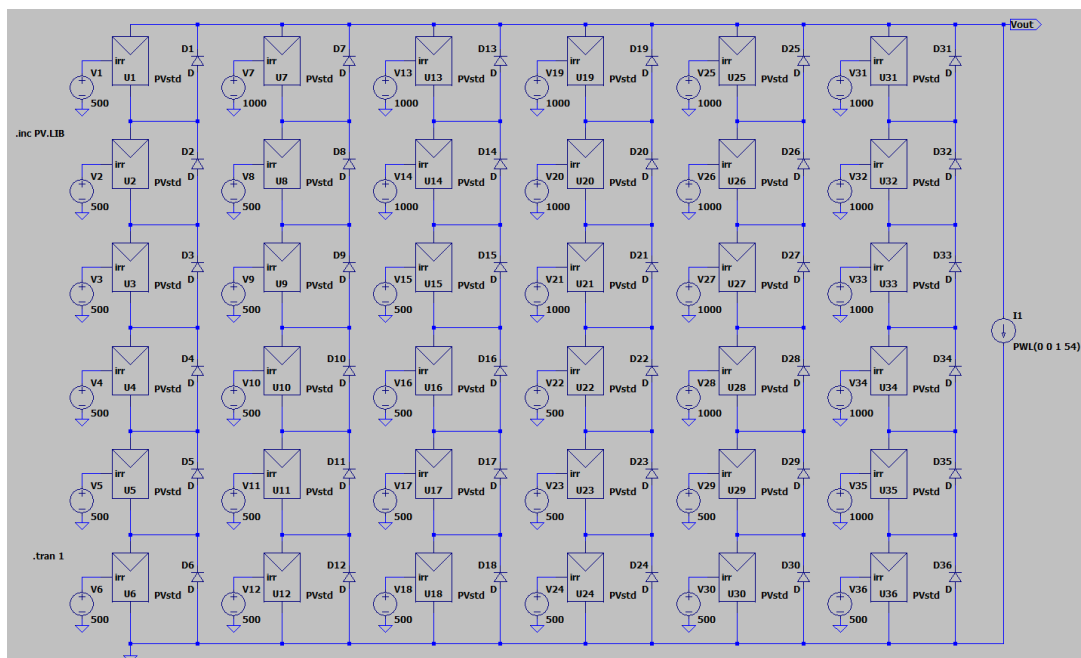
Fonte: Produção da própria autora

Figura 59 - Esquemático do Série-Paralelo 6x6 com metade diagonal na sombra



Fonte: Produção da própria autora

Figura 60 - Esquemático do Série-Paralelo 6x6 com diodo com metade diagonal na sombra

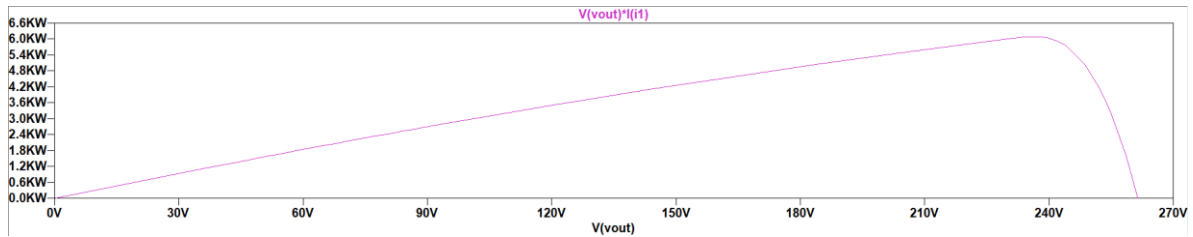


Fonte: Produção da própria autora

Com exceção da interconexão Série-Paralelo com diodo, nenhum dos gráficos apresentou distorções em relação ao formato ideal de uma curva P_{xV} e I_{xV} , ou seja, apresentam apenas 1 ponto de máximo. As interconexões *Bridge-Link*, *Honey-Comb*, *Total-*

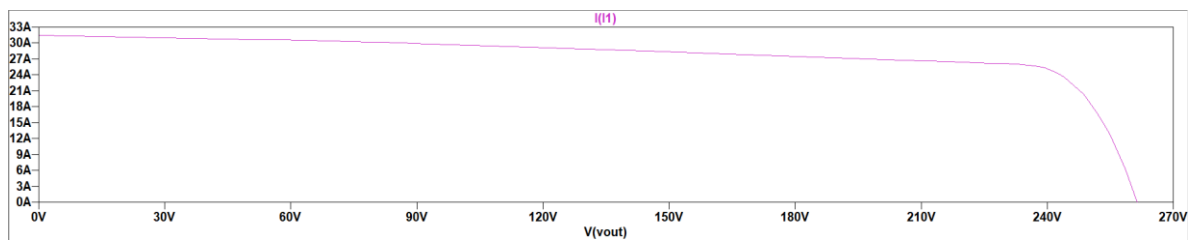
Cross-Tied, e *Série-Paralelo* apresentaram os mesmos gráficos de potência máxima e corrente máxima. Nas Figuras 61 e 62 são mostrados os gráficos.

Figura 61 - Gráfico da potência de saída com metade diagonal na sombra



Fonte: Produção da própria autora

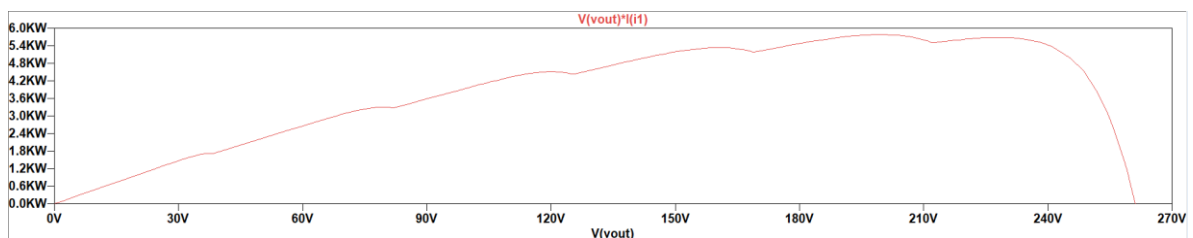
Figura 62 - Gráfico da corrente de saída com metade diagonal na sombra



Fonte: Produção da própria autora

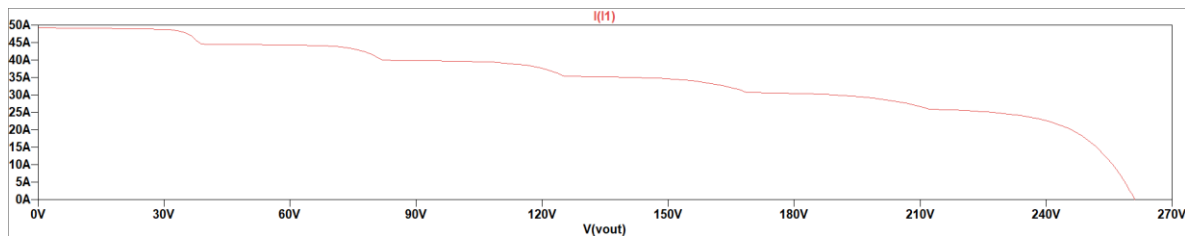
Os gráficos $P \times V$ e $I \times V$ que apresentaram distorções, ou seja, mais de 1 ponto de máximo, são mostrados nas Figuras 63 e 64.

Figura 63 - Gráfico da potência de saída Série-Paralelo com diodo com metade diagonal na sombra



Fonte: Produção da própria autora

Figura 64 - Gráfico da corrente de saída Série-Paralelo com diodo
com metade diagonal na sombra



Fonte: Produção da própria autora

Na Tabela 6 são apresentados os resultados das simulações com iluminação parcial dos painéis fotovoltaicos, com metade diagonal na sombra.

Como o TCT interliga todos os painéis em série e paralelo ao mesmo tempo, ele consegue lidar de forma mais eficiente com sombreamentos, e o resultado disto é a potência de saída maior.

Tabela 6 - Comparação entre esquemas de interconexão com metade diagonal na sombra

Interconexão	Potência máxima (kW)	Corrente de saída (A)
<i>Bridge-Link</i>	5,6620	28,7655
<i>Honey-Comb</i>	5,7281	28,8091
<i>Total-Cross-Tied</i>	6,0871	31,4210
Série-Paralelo	5,6832	28,6286
Série-Paralelo com diodo	5,7865	49,2252

Fonte: Produção da própria autora

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho, o objetivo foi determinar qual tipo de interconexão fornece a maior potência máxima em diferentes níveis e locais de sombreamento, analisando o tamanho mínimo de arranjo fotovoltaico que permite realizar a montagem dos quatro tipos principais de interconexões, e analisando o rendimento de cada tipo de interconexão quando submetidas a diferentes padrões regulares de sombreamento.

As interconexões estudadas neste trabalho não apresentaram diferenças significativas entre elas sob a mesma condição de níveis e locais de sombreamento.

Pode-se concluir que conforme a condição de iluminação total dos painéis fotovoltaicos, todas as interconexões apresentaram valores bem semelhantes de potência máxima e corrente máxima, e nenhuma das curvas mostrou distorções em relação ao formato ideal de uma curva P_xV ou I_xV , ou seja, apresentam apenas 1 ponto de máximo.

No caso com iluminação parcial da instalação fotovoltaica com 1 linha na sombra as interconexões *Bridge-Link*, *Honey-Comb*, *Total-Cross-Tied*, e Série-Paralelo apontaram o mesmo valor de potência máxima e corrente máxima. Já o Série-Paralelo com diodo apresentou valores maiores que as demais interconexões e distorções em suas curvas.

Na condição de 3 linhas na sombra da instalação é possível analisar valores de potência máxima iguais em todas as interconexões. Porém, a corrente máxima foi igual em quase todas as interconexões, menos na Série-Paralelo com diodo, onde a corrente foi bem superior que as demais. Mesmo apresentando a mesma potência que as demais interconexões, o Série-Paralelo com diodo demonstrou distorções em suas curvas de potência máxima e corrente máxima, o que não ocorreu nas outras interconexões.

Os resultados referentes a condição de 1 coluna na sombra, possuem valores iguais de potência máxima entre si e valores bem semelhantes de corrente máxima. Nenhum dos gráficos P_xV e I_xV apresentaram distorções com relação ao formato ideal da curva. Isso implica que não houve a formação de máximos locais na curva, simplificando o processo de rastreamento do ponto de máxima potência.

Da mesma forma, os gráficos de potência máxima e corrente máxima na condição de iluminação parcial da instalação fotovoltaica com 3 colunas na sombra também não demonstraram distorções com relação ao formato ideal de uma curva P_xV e I_xV . Os valores de potência máxima foram iguais em todas as interconexões, e os valores de corrente máxima resultaram em valores bem semelhantes também.

Na última condição de iluminação, o metade diagonal na sombra demonstrou valores diferentes de potência e corrente entre as interconexões, porém, os valores de potência máxima foram bem próximos, sendo o *Total-Cross-Tied* com o maior valor. Já os valores de corrente mostraram variações próximas entre o *Bridge-Link*, *Honey-Comb*, e Série-Paralelo. Seguidos por um valor um pouco mais alto no *Total-Cross-Tied* e o maior de todos o Série-Paralelo com diodo.

Ao analisar todos estes resultados é possível notar que a maior potência máxima é fornecida na condição de iluminação total da instalação fotovoltaica, em qualquer uma das interconexões. O mesmo vale para a maior corrente máxima.

O segundo tipo de sombreamento a fornecer maior potência máxima é o com 1 coluna na sombra em qualquer uma das interconexões. Porém, a segunda maior corrente máxima ocorre na condição de 1 linha na sombra com a interconexão Série-Paralelo com diodo, valor este bem próximo ao fornecido pela condição de iluminação total.

Neste trabalho foi adotado determinadas linhas e colunas para sombreamento nas simulações, mas podem ocorrer diferentes arranjos de sombras numa instalação fotovoltaica real. Estas possibilidades podem ocorrer devido a variação da altitude do terreno em que os painéis são instalados, ou por causa de construções e natureza presentes ao redor, ou até mesmo pela mudança da angulação da irradiação solar dependendo das estações ao longo do ano. Dessa forma, sugere-se para trabalhos futuros o estudo das eficiências de cada tipo de interconexão em condições de sombreamento irregulares.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO COMERCIAL E INDUSTRIAL DE FLORIANÓPOLIS. **A importância da energia solar**. Núcleo Setorial de Energia Solar Fotovoltaica. Disponível em: <https://www.acif.org.br/acif/nucleos/a-importancia-da-energia-solar/>. Acesso em 15 dez. 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. 2022. **Matriz energética e elétrica**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcedenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 15 dez. 2022.

HECKTHEUER, L. A.; KRENZIGER, A. **Uso de diodos de bypass e de bloqueio na proteção de sistemas fotovoltaicos**. 2000. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000. Disponível em: <https://www.abcm.org.br/app/webroot/anais/conem/2000/DC9754.pdf>. Acesso em 15 dez. 2022.

KRISHNA, S. G.; MOGER, T. Investigation of Power Losses on Solar Photovoltaic Array Interconnections Under Mismatch Conditions. **Technology and Economics of Smart Grids and Sustainable Energy**, v. 6, p. 22, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40866-021-00117-8>. Acesso em: 23 jan. 2023.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CRESEB, 2014. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf. Acesso em: 12 set. 2022.

SANTOS, I. P. **Desenvolvimento de ferramenta de apoio à decisão em projetos de integração solar fotovoltaica à arquitetura**. 2013. Tese (Pós-Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/106916/318113.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 15 dez. 2022

WANG, Y.-J.; HSU, P.-C. An investigation on partial shading of PV modules with different connection configurations of PV cells. **Energy**, v. 36, p. 3069-3078, 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544211001484>. Acesso em: 10 out. 2022.