



# **REDES DE PETRI APLICADAS NA ANÁLISE DE SISTEMA PARA REALIZAR TESTES OPERACIONAIS EM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS**

**Francisco Carlos Parquet Bizarria**  
fcpbiz@ gmail.com  
UNITAU

**José Walter Parquet Bizarria**  
jwpbiz@gmail.com  
UNITAU

**Leonardo Galvão de Carvalho**  
leonardogalvaoc@gmail.com  
UNITAU

**Resumo:** A energia solar pode ser caracterizada como uma fonte profusa, renovável, sustentável e limpa, sendo tipicamente aplicada em sistemas térmicos para realizar o aquecimento e fotovoltaicos para gerar a eletricidade. Nesse contexto, este trabalho apresenta uma proposta de modelo elaborado por meio das Redes de Petri para simular o funcionamento de uma arquitetura de sistema que está sendo desenvolvida para realizar testes operacionais em módulos fotovoltaicos, antes da fase de instalação em campo. Com o uso desse modelo são realizadas as simulações computacionais para avaliar a eficácia do algoritmo que será utilizado na execução desses testes operacionais, considerando as propriedades das Redes de Petri que estão relacionadas com a conservação, a vivacidade e os conflitos do tipo confusão e mortal. Os resultados satisfatórios obtidos nessas simulações indicam que a solução adotada para o desenvolvimento dessa arquitetura será capaz de realizar os testes operacionais estabelecidos para os módulos fotovoltaicos, o que minimizará os possíveis transtornos causados por retrabalhos desse gênero na fase de instalação em campo.

**Palavras Chave:** Modelo e Simulação - Redes de Petri - Automação de Testes - Módulo Fotovoltaico -

## 1. INTRODUÇÃO

No histórico do desenvolvimento da sociedade humana é possível constatar o impacto na transformação do meio ambiente e a constante busca por fontes para atender a demanda crescente no consumo dos diversificados tipos de energia (NEVES, 2016) (SHUVHO et al., 2019). Nesse contexto, os efeitos negativos causados pelo uso de fontes de energia não renováveis no meio ambiente impulsionam a utilização de fontes renováveis (TOLEDO; OLIVEIRA FILHO & DINIZ, 2010) (TORRES, 2012).

Atualmente, dentre essas fontes se destaca a energia solar, a qual é um tipo de fonte obtida a partir da luz ou calor produzido pelo Sol, sendo caracterizada como uma fonte profusa, renovável, sustentável e limpa. As formas mais usuais de se aproveitar a energia provida do Sol são para o aquecimento e a geração de eletricidade, por meio da energia térmica e solar fotovoltaica, respectivamente (NEVES, 2016) (TORRES, 2012).

A implantação de um sistema geração de energia elétrica por meio de módulos fotovoltaicos envolve, basicamente, as fases de desenvolvimento de projeto dedicado e instalação em campo.

Na fase do desenvolvimento de projeto dedicado a meta está concentrada, principalmente, em: i) estabelecer a melhor configuração que será utilizada para a geração de eletricidade, definir a tecnologia que será adotada pelas células dos módulos, determinar a quantidade e o melhor arranjo físico que deverão ser adotados para os módulos fotovoltaicos no local de sua instalação, a fim de produzir uma estimada energia elétrica pelo sistema, de acordo com as condições meteorológicas do local de instalação e o consumo da carga a ser suprida (IMHOFF, 2007) (SEGUEL, 2009), e ii) elaborar os diagramas e realizar os dimensionamentos mecânicos e elétricos que são necessários para atender a configuração adotada para a geração de eletricidade por meio de módulos fotovoltaicos, de acordo com o estabelecido em norma pertinente.

Durante a fase de instalação em campo, o foco está concentrado em executar o arranjo físico definido para os módulos fotovoltaicos e realizar as instalações elétricas previstas no projeto dedicado para o local de sua instalação.

Essa sequência de implantação não prevê meios para detectar desconformidades operacionais nos módulos fotovoltaicos antes da sua instalação em campo, as quais podem ser causadas principalmente pelo armazenamento inadequado, manuseio incorreto, contato com elementos corrosivos ou prejudiciais, excessos de vibrações e choques mecânicos provocados durante o transporte desses módulos. Sendo que a ocorrência dessa situação tem potencial para causar retrabalhos que podem comprometer custos, tempo e satisfação de clientes.

Com a meta de minimizar os possíveis transtornos causados pela ocorrência desses retrabalhos é conveniente executar testes para avaliar a integridade operacional desses módulos antes da etapa de instalação em campo. Para realizar esses testes está sendo desenvolvida uma arquitetura de sistema baseada em três camadas principais. Na primeira camada estão previstos a fonte de luz artificial e os meios para efetuar o monitoramento de tensão elétrica, corrente elétrica e temperatura do módulo fotovoltaico submetido ao teste. A segunda camada é destinada ao controle do sistema, sendo atribuição dessa camada a tarefa de executar o gerenciamento operacional da arquitetura física do sistema em conformidade com o algoritmo destinado ao tipo de teste que será submetido o módulo fotovoltaico. Na terceira camada está prevista a interface gráfica, sendo que essa interface deve conter os meios necessários para permitir que o usuário do sistema efetue a parametrização de valores relacionados ao teste do módulo fotovoltaico, comande a operação do sistema de acordo com o teste selecionado e supervisione a realização e os resultados do teste.

Nesse contexto, este trabalho apresenta uma proposta de modelo elaborado por meio das Redes de Petri (CARDOSO & VALETTE, 1997) para simular o funcionamento da arquitetura de sistema que está sendo desenvolvida para executar testes operacionais em módulos fotovoltaicos, antes da etapa de instalação desses módulos em campo. Com o uso desse modelo são realizadas as simulações computacionais para avaliar a eficácia do algoritmo que será utilizado na execução desses testes operacionais, considerando as propriedades das Redes de Petri que estão relacionadas com a conservação, a vivacidade e os conflitos do tipo confusão e mortal (DE MORAES & CASTRUCCI, 2001).

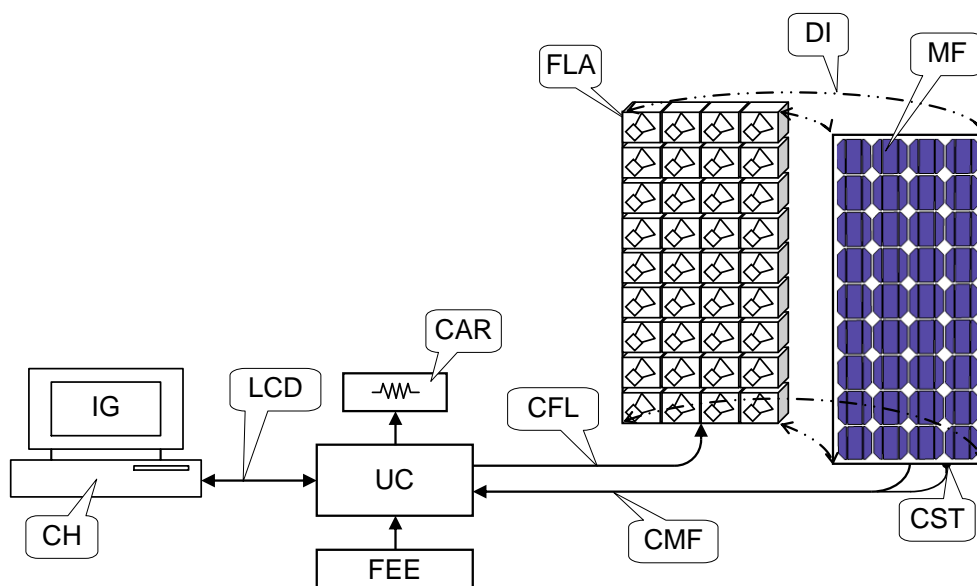
## 2. OBJETIVOS DO TRABALHO

Este trabalho tem como principal objetivo propor um modelo elaborado por meio das Redes de Petri para simular o funcionamento de uma arquitetura de sistema que está sendo desenvolvida para realizar testes operacionais em módulos fotovoltaicos, antes da etapa de instalação desses módulos em campo.

Apresentar os resultados, mais expressivos, obtidos em simulações efetuadas com o mencionado modelo e que estão fundamentados nas propriedades das Redes de Petri relacionadas com a conservação, a vivacidade e os conflitos do tipo confusão e mortal.

## 3. ARQUITETURA DE SISTEMA

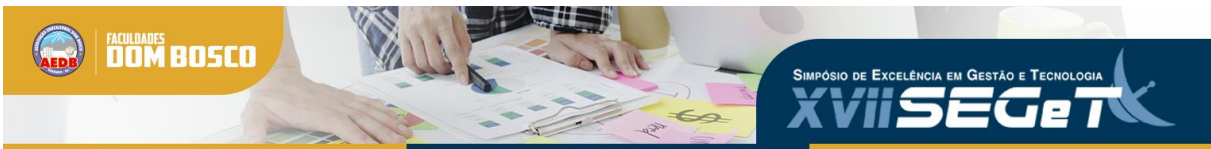
Os blocos básicos previstos na arquitetura de sistema que está sendo desenvolvida para realizar os testes operacionais em módulo fotovoltaico, antes da etapa de instalação desses módulos em campo, são apresentados na Figura 1.



**Figura 1:** Blocos da arquitetura para testes de módulos fotovoltaicos.

Fonte: BIZARRIA & BIZARRIA (2019)

Os acrônimos definidos para os blocos contidos na arquitetura, mostrada na Figura 1, possuem os seguintes significados: i) CH: Computador Hospedeiro, ii) IG: Interface Gráfica, iii) LCD: Linha de Comunicação de Dados, iv) UC: Unidade de Controle, v) FEE: Fonte de Energia Elétrica, vi) CAR: Carga Resistiva, vii) CFL: Cabos da Fonte de Luz, viii) CMF: Cabos do Módulo Fotovoltaico, ix) FLA: Fonte de Luz Artificial, x) MF: Módulo Fotovoltaico, xi) CST: Conjunto Sensor de Temperatura e xii) DI: Direção para Instalação do Módulo Fotovoltaico com a Fonte de Luz Artificial.



O Computador Hospedeiro (CH) tem como principais funções: i) alojar, na camada do aplicativo, as janelas da Interface Gráfica (IG) que são utilizadas pelo usuário para realizar os testes operacionais em módulo fotovoltaico, e ii) efetuar as transferências de informações que são necessárias ao funcionamento do sistema para a Unidade de Controle (UC), por meio Linha de Comunicação de Dados (LCD).

A função básica da Interface Gráfica (IG) é servir de meio para o usuário do sistema: i) parametrizar as características elétricas do módulo fotovoltaico que será submetido aos testes operacionais, ii) selecionar as características funcionais para o sistema de teste, iii) comandar a execução dos testes operacionais, e iv) visualizar os resultados dos testes operacionais.

Nesse sentido, cabe mencionar que a tarefa de parametrização das características elétricas do módulo fotovoltaico que será submetido aos testes operacionais envolve basicamente o carregamento dos seguintes registros no sistema: i) tensão elétrica de circuito aberto, sendo a máxima tensão gerada pelo módulo fotovoltaico, sem circular corrente nos seus terminais, quando as células desse módulo estão íntegras e são submetidas a um determinado valor de radiação e temperatura, ii) tensão de máxima potência, sendo a tensão elétrica gerada para uma carga que consome a potência máxima do módulo fotovoltaico, quando as células desse módulo estão íntegras e são submetidas a um determinado valor de radiação e temperatura nominal, e iii) corrente de máxima potência, sendo a corrente elétrica gerada para uma carga que consome a potência máxima do módulo fotovoltaico, quando as células desse módulo estão íntegras e são submetidas a um determinado valor de radiação e temperatura nominal.

A Linha de Comunicação de Dados (LCD) é o meio físico estabelecido para efetuar a comunicação de dados, de modo bidirecional, entre o Computador Hospedeiro (CH) e a Unidade de Controle (UC). Cabe mencionar que essa linha é provida com separação galvânica e proteção contra as interferências eletromagnéticas.

A Unidade de Controle (UC) tem como função principal realizar o gerenciamento das atividades desenvolvidas pela arquitetura de testes, a partir dos comandos efetuados pelo usuário do sistema na Interface Gráfica (IG), a fim de atender os procedimentos estabelecidos para a execução dos testes sem carga (em vazio) e em carga do Módulo Fotovoltaico (MF). Esse gerenciamento basicamente ativa o funcionamento da Fonte de Luz Artificial (FLA) e Carga Resistiva (CAR), em função do tipo de teste que é definido, do comando efetuado pelo usuário do sistema na Interface Gráfica (IG) e, também, das informações que são extraídas dos sinais elétricos transmitidos pelos Cabos do Módulo Fotovoltaico (CMF) e do Conjunto Sensor de Temperatura (CST).

A Fonte de Energia Elétrica (FEE) é o meio que fornece a tensão e corrente elétricas necessárias, em corrente alternada (CA), dentro de tolerâncias preestabelecidas, que são transmitidos pelos Cabos da Fonte de Luz (CFL) para atender o consumo nominal de energia que é exigido pela Fonte de Luz Artificial (FLA).

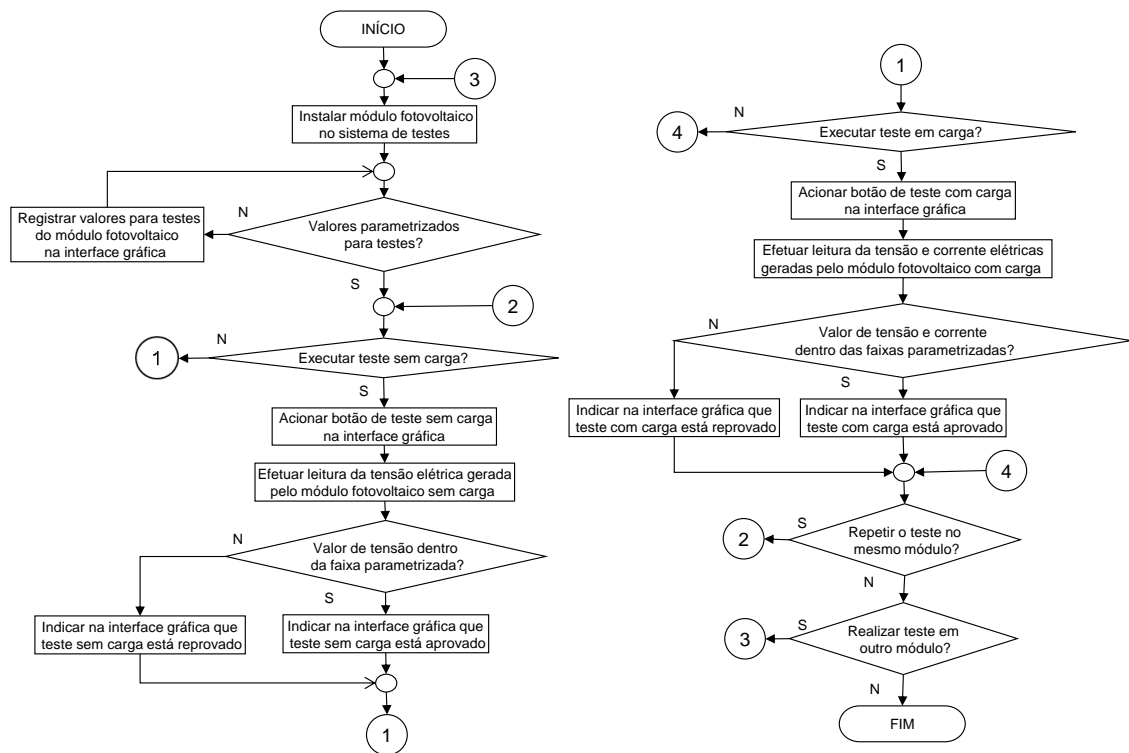
Durante a realização do teste em carga é utilizada uma Carga Resistiva (CAR) para absorver a corrente, em corrente contínua (CC), que é gerada pelo Módulo Fotovoltaico (MF). No dimensionamento dessa carga é considerado a corrente absorvida e a tensão estabelecida nos terminais do Módulo Fotovoltaico (MF) para definir o valor da potência elétrica capaz de atender esse teste.

A Fonte de Luz Artificial (FLA) é o meio pelo qual é fornecida a energia necessária, em forma de luz, para realizar os testes sem carga (em vazio) e em carga do Módulo Fotovoltaico (MF).

O Módulo Fotovoltaico (MF) é o espécime que será submetido aos testes sem carga (em vazio) e/ou em carga na arquitetura em questão, sendo que a sua instalação deve atender a Direção de Instalação (DI), na qual esse módulo pode ser acomodado sobre a Fonte de Luz Artificial (FLA) ou vice-versa. Em ambos os testes, a temperatura do módulo é monitorada pelo Conjunto Sensor de Temperatura (ST).

### 3.1. ALGORITMO PARA TESTES

Os principais passos do programa que será carregado no bloco da Unidade de Controle (UC), a qual está prevista na arquitetura que está sendo idealizada para realizar os testes operacionais em módulo fotovoltaico, deverá atender o algoritmo que é retratado no fluxograma sintético apresentado na Figura 2.



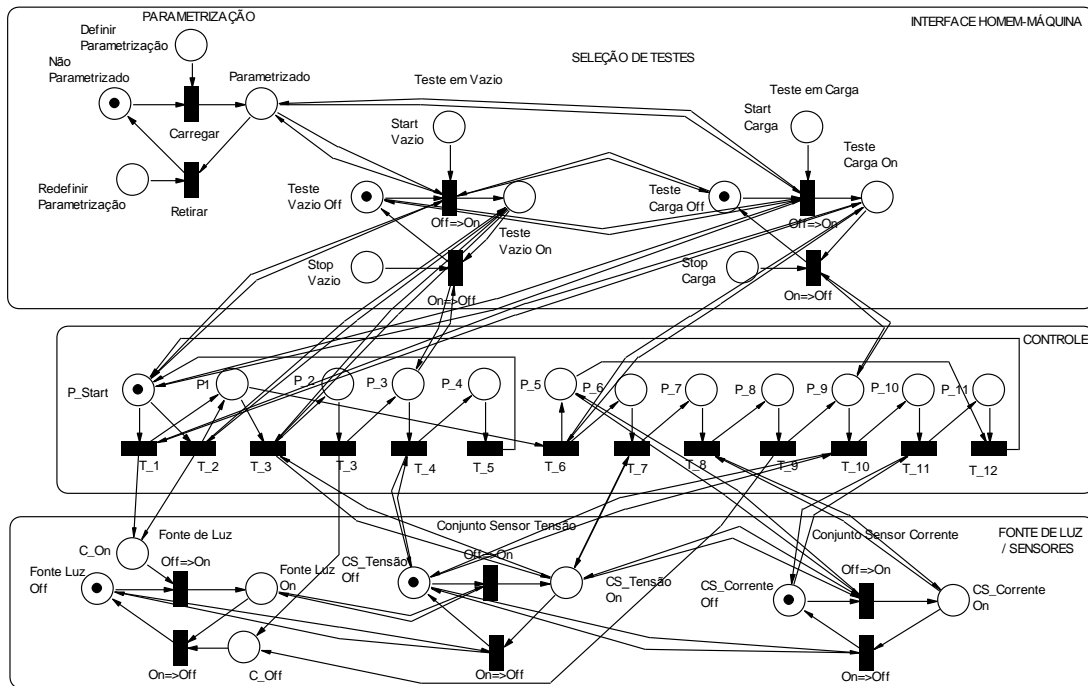
**Figura 2:** Fluxograma sintético para testes de módulo fotovoltaico.

**Fonte:** Os Autores (2020)

Cada macro bloco, mostrado no fluxograma sintético da Figura 2, envolve a execução de vários passos no algoritmo que efetua o gerenciamento da arquitetura do sistema de testes operacionais em módulo fotovoltaico. Nesse sentido, cabe destacar os macros blocos estabelecidos para “Efetuar leitura da tensão elétrica gerada pelo módulo fotovoltaico sem carga” e “Efetuar leitura da tensão e corrente elétricas geradas pelo módulo fotovoltaico com carga”, sendo que esse último é abordado em detalhes neste trabalho.

### 4. MODELO PROPOSTO

O modelo proposto por Redes de Petri para representar a arquitetura de sistema que está sendo idealizada com o propósito de realizar os testes operacionais em módulo fotovoltaico, antes da etapa de instalação desse módulo em campo, é apresentado na Figura 3. Os elementos e as camadas presentes nesse modelo estão diretamente relacionados com os blocos previstos na arquitetura apresentada na Figura 1.



**Figura 3:** Modelo por Redes de Petri proposto para o sistema de testes.

**Fonte:** Os Autores (2020)

No modelo mostrado na Figura 3 são explicitadas as Redes de Petri, de baixo nível, que foram elaboradas para simular o funcionamento dos seguintes blocos da arquitetura para testes de módulo fotovoltaico: i) Interface Gráfica (IG), por meio do modelo contido no campo denominado INTERFACE HOMEM-MÁQUINA, ii) Unidade de Controle (UC), por meio do modelo contido no campo denominado CONTROLE, e iii) Fonte de Luz Artificial (FLA) e ativação do sistema de sensores para efetuar as medidas de sinais transmitidos pelos Cabos do Módulo Fotovoltaico (CMF), por meio dos modelos contidos no campo denominado FONTE DE LUZ / SENSORES. Essa maneira de realizar a modelagem tem como principal objetivo permitir a observação dos comportamentos funcionais que são desempenhados pelas principais partes envolvidas nesse sistema de testes, durante a simulação do programa de gerenciamento da arquitetura em questão.

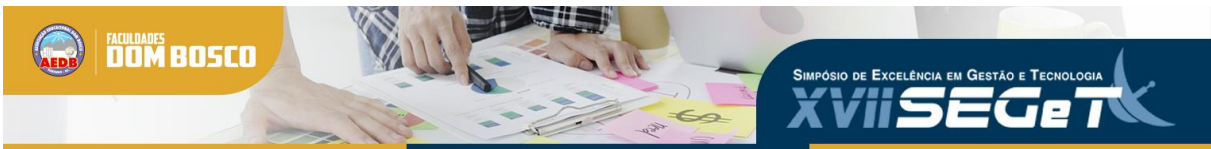
A quantidade e distribuição de fichas para cada posição das Redes de Petri que é mostrada no modelo da Figura 3 representa a condição inicial para o usuário utilizar o sistema de testes operacionais em módulo fotovoltaico.

No modelo elaborado por Redes de Petri para o campo da INTERFACE HOMEM-MÁQUINA estão previstas posições específicas para retratarem a fase de PARAMETRIZAÇÃO e SELEÇÃO DE TESTES.

Na fase de PARAMETRIZAÇÃO o usuário deve definir e registrar no sistema o conjunto de valores que estão relacionados especificamente com as características elétricas e térmicas do módulo fotovoltaico que será submetido aos testes.

Na fase de SELEÇÃO DE TESTES o usuário poderá escolher o tipo de teste que o sistema executará no módulo fotovoltaico, ou seja, sem carga (Teste em vazio) ou em carga (Teste em carga).

No teste sem carga (Teste em vazio) o objetivo é efetuar a medição de tensão elétrica de circuito aberto do módulo fotovoltaico, quando esse é submetido a um determinado valor



de radiação e temperatura, e comparar esse valor medido com aquele parametrizado pelo usuário. Nesse sentido, se o valor obtido nesse teste estiver dentro da faixa de tolerância parametrizada pelo usuário do sistema, o módulo fotovoltaico será considerado aprovado no teste sem carga (Teste em vazio). Por outro lado, se o valor obtido nesse teste estiver fora da faixa de tolerância parametrizada, o módulo fotovoltaico será considerado reprovado no teste sem carga (Teste em vazio).

No teste em carga (Teste em carga) a meta é efetuar a medição de tensão e corrente elétricas de máxima potência do módulo fotovoltaico, quando esse é submetido a um determinado valor de radiação e temperatura, e comparar esses valores medidos com aqueles valores parametrizados pelo usuário. Nesse sentido, se os valores obtidos nesse teste estiverem dentro das respectivas faixas de tolerâncias parametrizadas pelo usuário do sistema, o módulo fotovoltaico será considerado aprovado no teste em carga (Teste em carga). Por outro lado, se qualquer um dos valores obtidos nesse teste estiver fora da respectiva faixa de tolerância parametrizada, o módulo fotovoltaico será considerado reprovado no teste em carga (Teste em carga).

O modelo elaborado por Redes de Petri para atender o campo do CONTROLE está organizado para representar: i) os comandos que inicia e finaliza o teste sem carga (Teste em vazio) oriundos da INTERFACE HOMEM-MÁQUINA, ii) os comandos que inicia e finaliza o teste em carga (Teste em carga) oriundos da INTERFACE HOMEM-MÁQUINA, iii) a execução da sequência de passos prevista no fluxograma sintético que representa as ações de gerenciamento do sistema para realizar os testes operacionais em módulo fotovoltaico, o qual é mostrado na Figura 2, iv) o comando de ativação da FONTE DE LUZ, e v) a recepção dos sinais de ativação dos SENSORES de tensão (Conjunto Sensor de Tensão) e corrente (Conjunto Sensor de Corrente) elétricas.

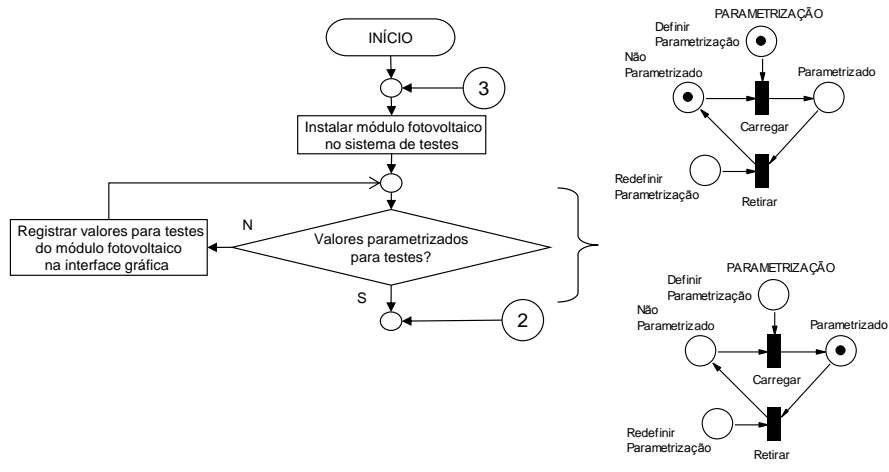
No modelo elaborado por Redes de Petri para representar o campo da FONTE DE LUZ / SENSORES estão previstas posições específicas para retratarem a ativação e o desligamento: i) da Fonte de Luz, ii) do Conjunto Sensor de Tensão, e iii) do Conjunto Sensor de Corrente.

#### 4.1. SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

A simulação computacional da proposta de modelo elaborado por meio das Redes de Petri para representar uma arquitetura de sistema que está sendo desenvolvida para realizar testes operacionais em módulos fotovoltaicos, antes da etapa de instalação desses módulos em campo, a qual é mostrada na Figura 3, foi realizada com a utilização do software denominando por Visual Object Net (DRATH, 2000).

Nesse sentido, neste subitem é apresentada uma sequência de simulação que representa a execução do teste em carga (Teste em carga) para módulo fotovoltaico, em conformidade com o algoritmo estabelecido no fluxograma sintético mostrado na Figura 2.

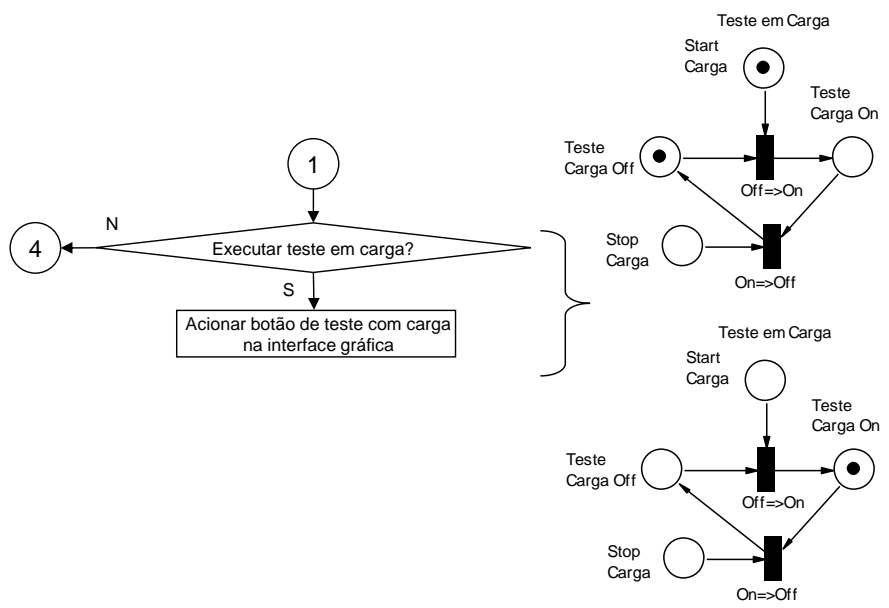
A simulação do modelo elaborado para representar a execução do teste em carga (Teste em carga) considera que o módulo fotovoltaico já está instalado com a fonte de luz artificial (Fonte de Luz), a temperatura do módulo está adequada para o teste e, também, que adota como condições iniciais aquelas apresentadas nas Redes de Petri que é mostrada na Figura 3. A partir dessas condições, a primeira ação que o usuário do sistema deve executar é a parametrização de valores relativos ao módulo fotovoltaico que será submetido ao teste em carga (Teste em carga). No modelo proposto essa ação está relacionada com a camada da INTERFACE HOMEM-MÁQUINA, conforme apresentado na Figura 4.



**Figura 4:** Simulação de parametrização de valores.  
**Fonte:** Os Autores (2020)

No lado esquerdo da Figura 4, podem ser observados os blocos do fluxograma sintético que está relacionado com a parametrização de valores do módulo fotovoltaico que será submetido ao teste em carga (Teste em carga), e no lado direito, de cima para baixo, a sequência de simulação da evolução da Rede de Petri que retrata a realização dessa parametrização.

Após realização da parametrização, o usuário deve selecionar o tipo de teste (SELEÇÃO DE TESTES) que será aplicado no módulo fotovoltaico, ou seja, sem carga (Teste em vazio) ou em carga (Teste em carga). Considerando que a escolha seja o teste em carga (Teste em carga), o usuário do sistema deve ativar essa escolha no sistema. No modelo proposto essa ação também está representada na camada da INTERFACE HOMEM-MÁQUINA, conforme apresentado na Figura 5.

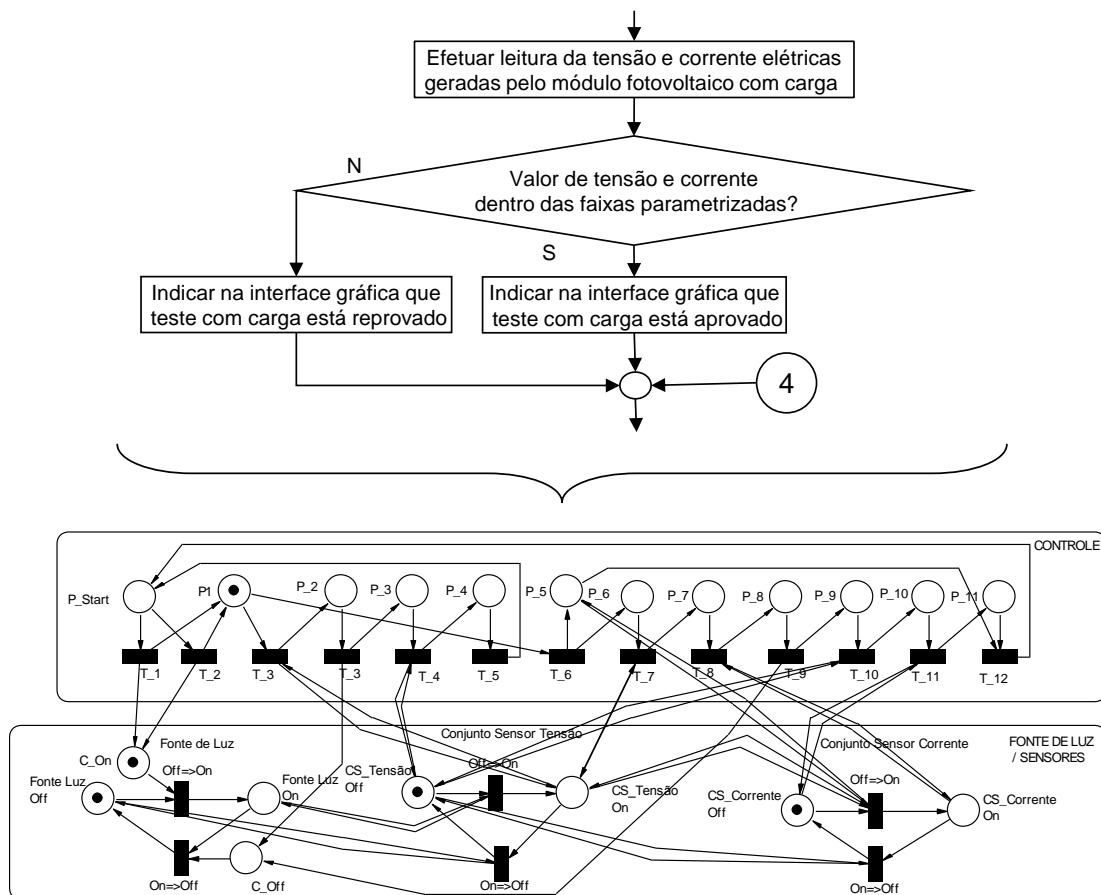


**Figura 5:** Simulação de seleção do teste em carga.  
**Fonte:** Os Autores (2020)



No lado esquerdo da Figura 5, podem ser observados os blocos do fluxograma sintético que está relacionado com a seleção do teste em carga (Teste em Carga) que será submetido o módulo fotovoltaico, e no lado direito, de cima para baixo, a sequência de simulação da evolução da Rede de Petri que retrata essa seleção.

Como resultado das ações do usuário em efetuar a parametrização e selecionar o tipo de teste, o sistema realizará automaticamente uma sequência específica de passos do teste selecionado. No modelo proposto as camadas do CONTROLE e da FONTE DE LUZ / SENSORES serão envolvidos desde o primeiro até o último passo da sequência automática que representa a execução do teste em carga (Teste em Carga). Nesse sentido, a simulação da primeira sequência de passos desse teste é apresentada na Figura 6.

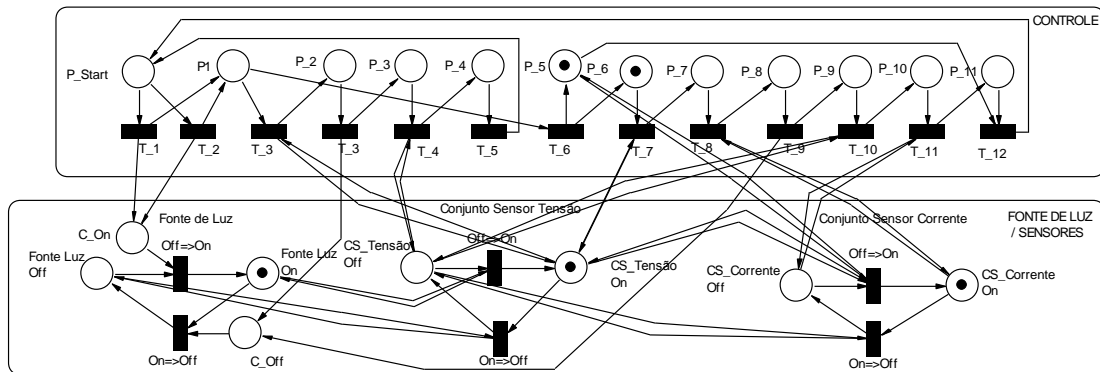


**Figura 6:** Simulação da primeira sequência de passos do teste em carga.  
**Fonte:** Os Autores (2020)

Na parte superior da Figura 6, podem ser observados os blocos do fluxograma sintético que estão relacionados com a sequência completa para realizar o teste em carga (Teste em Carga) do módulo fotovoltaico, e na parte inferior a primeira sequência de passos de simulação da Rede de Petri que retrata o comando efetuado pela camada do CONTROLE (P1) para ativação da Fonte de Luz (C\_On).

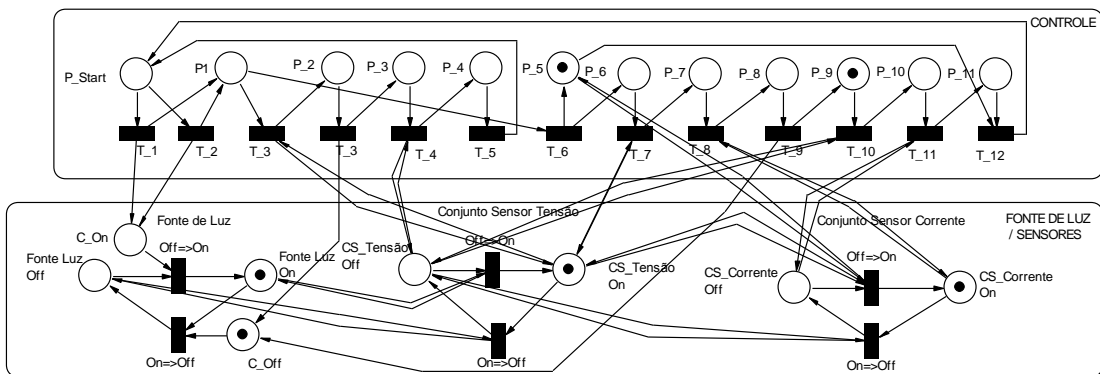
A segunda sequência de passos da simulação do teste em carga (Teste em Carga) é retratada na Rede de Petri com a execução dos passos 5 (P\_5) e 6 (P\_6) na camada do CONTROLE e, também, com a ativação da Fonte de Luz (Fonte Luz On), a qual causa a ativação do Conjunto Sensor de Tensão (CS\_Tensão On) e do Conjunto Sensor de Corrente

(CS\_Corrente On) que pertencem a camada da FONTE DE LUZ / SENSORES, conforme apresentado na Figura 7.



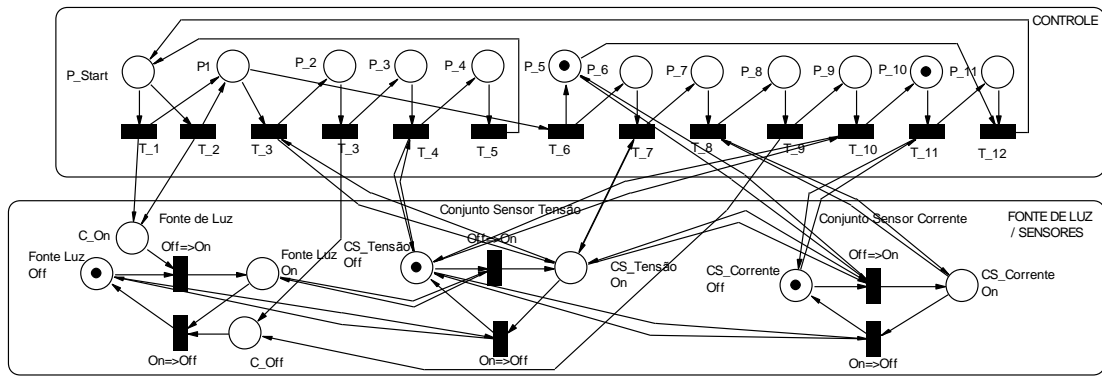
**Figura 7:** Simulação da segunda sequência de passos do teste em carga.  
**Fonte:** Os Autores (2020)

A terceira sequência de passos de simulação do teste em carga (Teste em Carga) é retratada na Rede de Petri com a execução dos passos 5 (P\_5) e 9 (P\_9) na camada do CONTROLE e, também, com o envio do comando para desativação da Fonte de Luz (C\_Off), conforme apresentado na Figura 8.



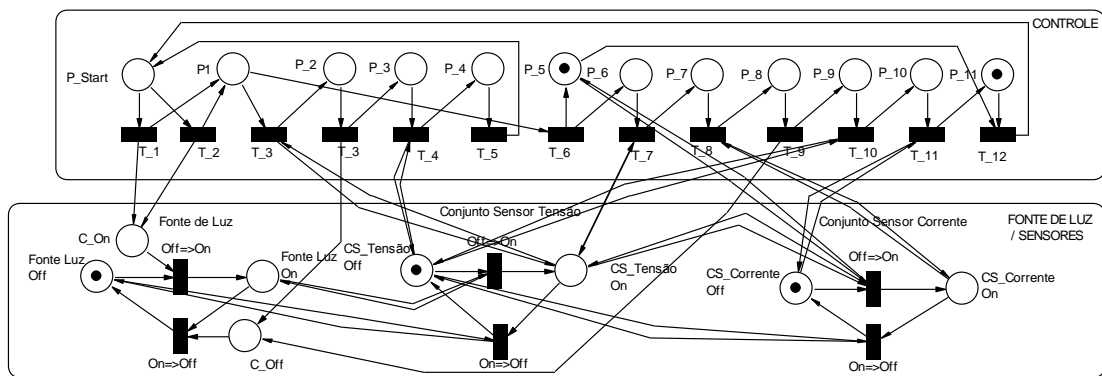
**Figura 8:** Simulação da terceira sequência de passos do teste em carga.  
**Fonte:** Os Autores (2020)

A quarta sequência de passos de simulação do teste em carga (Teste em Carga) é retratada na Rede de Petri com a execução dos passos 5 (P\_5) e 10 (P\_10) na camada do CONTROLE e, também, com a desativação da Fonte de Luz (Fonte Luz On) que causa a desativação do Conjunto Sensor de Tensão (CS\_Tensão Off) e do Conjunto Sensor de Corrente (CS\_Corrente Off) que pertencem a camada da FONTE DE LUZ / SENSORES, conforme apresentado na Figura 9.



**Figura 9:** Simulação da quarta sequência de passos do teste em carga.  
**Fonte:** Os Autores (2020)

A quinta e última sequência de passos de simulação do teste em carga (Teste em Carga) é retratada na Rede de Petri com a execução dos passos 5 (P\_5) e 11 (P\_11) na camada do CONTROLE, conforme apresentado na Figura 10.



**Figura 10:** Simulação da quinta sequência de passos do teste em carga.  
**Fonte:** Os Autores (2020)

Ao finalizar a simulação da quinta sequência de passos do teste em carga (Teste em carga), mostrado na Figura 10, a rede elaborada permite simular a ação do usuário do sistema em repetir o mesmo tipo de teste selecionado para o módulo fotovoltaico, ou selecionar outro tipo de teste, ou realizar testes em outro tipo de módulo fotovoltaico, ou finalizar a realização dos testes com o sistema.

#### 4.2. ANÁLISES DE PROPRIEDADES

Com os recursos disponíveis no ambiente de modelagem e simulação do software denominado por Visual Object Net (DRATH, 2000), foram realizadas várias simulações da proposta de modelo elaborado por meio das Redes de Petri para representar uma arquitetura de sistema que está sendo desenvolvida para realizar testes operacionais em módulos fotovoltaicos antes da etapa de instalação desses módulos em campo, incluindo aquelas relacionadas com o teste sem carga (Teste em vazio) e em carga (Teste em carga), a fim de avaliar as propriedades dessa rede que estão relacionadas com a conservação, a vivacidade e os conflitos do tipo confusão e mortal.

O conflito do tipo confusão pode ser identificado quando existir ficha dentro de uma posição e essa possuir duas ou mais saídas para transições distintas e habilitadas, ou seja,

quando isso ocorrer, o sistema de controle pode tomar decisão de trajetória inadequada ou diferente dos passos previstos no algoritmo de controle, sendo que essa ação poderá promover sequência indesejada de operações. Nesse contexto, durante a realização das simulações previstas para atender este trabalho, foram observados alguns conflitos do tipo confusão. Essas situações foram solucionadas com a inserção de defasagem temporal e restrições nas habilitações das transições envolvidas com os mencionados conflitos.

O conflito do tipo mortal pode ser identificado quando ocorrer travamento de sistema, ou seja, a execução é subitamente paralisada o que causa interrupção da sequência desejada de operações. O conflito do tipo mortal não foi observado nas simulações realizadas com o modelo proposto neste trabalho.

A vivacidade é a propriedade relacionada com a análise que visa identificar se há posições ou transições que nunca são visitadas durante as execuções da rede. Na simulação do mencionado modelo todas as posições e transições foram visitadas durante a execução completa do algoritmo do sistema de testes de módulo fotovoltaico.

A conservação é a propriedade que considera se a soma total das fichas permanece constante durante a execução da rede, nesse caso a mesma é definida como conservativa. Na simulação do modelo proposto neste trabalho as quantidades de fichas permaneceram constantes na execução completa da rede para cada tipo de teste com o módulo fotovoltaico.

## 5. CONCLUSÕES

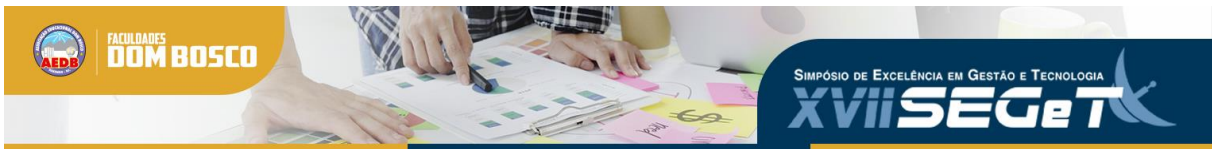
A forma utilizada para efetuar a modelagem da arquitetura de sistema que está sendo desenvolvida para realizar os testes operacionais em módulos fotovoltaicos, antes da etapa de instalação desses módulos em campo, foi capaz de explicitar os principais detalhes de funcionamento da Interface Gráfica, Unidade de Controle, Fonte de Luz Artificial, e ativação dos conjuntos de sensores que efetuam as medidas de sinais transmitidos pelos Cabos do Módulo Fotovoltaico, os quais são blocos básicos previstos na mencionada arquitetura de sistema. Essa característica permitiu a realização de análise operacional individualizada de cada parte que constitui essa arquitetura, característica que facilita a identificação e correção de possíveis desconformidades com potencial de acometer o correto funcionamento da mesma.

Dentre as propriedades avaliadas na proposta de rede que foi modelada, somente o conflito do tipo confusão foi identificado durante a simulação do algoritmo de execução de testes em módulo fotovoltaico, sendo que a solução para esse conflito foi obtida com a inserção de defasagem temporal e restrições nas habilitações das transições envolvidas com o mencionado conflito. Cabe mencionar que essa solução no âmbito prático implica, principalmente, em realizar intertravamentos e inserir sensores no sistema físico.

Os resultados positivos obtidos nas simulações realizadas com a proposta de modelo que é apresentada neste trabalho sugerem que a arquitetura de sistema que está sendo desenvolvida para realizar testes operacionais em módulos fotovoltaicos, antes da etapa de instalação desses módulos em campo, será bem sucedida quando for implementada fisicamente, pois das propriedades das Redes de Petri que foram avaliadas somente o conflito do tipo confusão foi identificado com potencial de comprometer o funcionamento sistema, sendo que essa situação foi solucionada.

## 6. REFERÊNCIAS

**BIZARRIA, F. C. P. & BIZARRIA, J. W. P.** Arquitetura física e lógica para sistema realizar testes operacionais em módulos fotovoltaicos, 2019. Arquivo do padrão Microsoft Word Compatível com as versões 97-2003. Acesso em: 23 set. 2019.



- CARDOSO, J. & VALETTE, R.** Redes de Petri, Editora da UFSC, Santa Catarina, Brasil, 1997.
- DE MORAES, C. C. & CASTRUCCI, P. L.** Engenharia de Automação Industrial, LTC, Rio de Janeiro, Brasil, 2001.
- DRATH, R.** A short user guide for Visual Object Net++, ver. 1.44, 2000. Disponível em: <<https://www.r-drath.de/visualobjectnet-download.html>>. Acesso em: 11 jul. 2010.
- IMHOFF, J.** Desenvolvimento de conversores estáticos para sistemas fotovoltaicos anônimos. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007. Disponível em: <<http://repositorio.ufsm.br/handle/1/8608>>. Acesso em: 11 jul. 2020.
- NEVES, G. M.** Influência do espectro da radiação solar em módulos fotovoltaicos. 2016. 238 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Materiais e Sensores) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2016. Disponível em: <<http://urlib.net/rep/8JMKD3MGP3W34P/3LKTTU8>>. Acesso em: 11 jul. 2020.
- SEGUEL, J. I. L.** Projeto de um sistema fotovoltaico autônomo de suprimento de energia usando técnica MPPT e controle digital. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1843/BUOS-8CYMEY>>. Acesso em: 11 jul. 2020.
- SHUVHO, M. B. A. et al.** Prediction of solar irradiation and performance evaluation of grid connected solar 800KWp PV plant in Bangladesh. Energy Reports, v. 5, p. 714-722, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.06.011>>. Acesso em: 11 jul. 2020.
- TOLEDO, O. M.; OLIVEIRA FILHO, D. & DINIZ, A. S. A. C.** Distributed photovoltaic generation and energy storage systems: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 14, n. 1, p. 506-511, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.08.007>> Acesso em: 11 jul. 2020.
- TORRES, R. C.** Energia solar fotovoltaica como fonte alternativa de geração de energia elétrica em edificações residenciais. 2012. Dissertação (Mestrado em Térmica e Fluidos) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18147/tde-18032013-091511/pt-br.php>>. doi:10.11606/D.18.2012.tde-18032013-091511. Acesso em: 11 jul. 2020.