

Estudo de Caso: Desenvolvimento de um sistema HEMS(Home Energy Management System) e análise de curto utilizando o MATLAB[®] (Simulink).

Leandro Rodrigues Cunha da Silva



Estudo de Caso: Desenvolvimento de um sistema HEMS(Home Energy Management System) e análise de curto utilizando o MATLAB[®] (Simulink).

Aluno: Leandro Rodrigues Cunha da Silva

Orientador: Delberis Araujo Lima

Trabalho apresentado como requisito parcial à conclusão do curso de Engenharia Elétrica na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

Agradecimentos

Aos meus familiares, pai, Ricardo J. Cunha da Silva e mãe, Elizabeth R. Cunha da Silva. Pelo apoio incondicional durante o período da faculdade e também fora dela. Também à música, que trouxe calma em tempos de tempestade, e aos amigos que trouxeram momentos descontraídos em momentos difíceis.

Gostaria de agradecer também ao professor Oscar Cuaresma Zevallos, por auxílio nas simulações e ao orientador Delberis Araujo Lima, pela guia na execução do trabalho e pelas discussões teóricas.

Resumo

O objetivo deste trabalho de conclusão de curso é utilizar o MATLAB[®] (Simulink) no desenvolvimento de um projeto para simular o funcionamento de um sistema HEMS (Home Energy Management System) e também aplicar curto-circuitos em diferentes partes do sistema para verificar como ele reage.

Serão feitas diversas simulações com diferentes configurações para tentar abranger o máximo de situações qualitativamente relevantes possível.

Palavras-chave: solar; distribuição de energia; curto-circuito; bateria; HEMS.

Case Study: Development of a HEMS system (Home Energy Management System) and fault analysis using MATLAB[®] (Simulink).

Abstract

This project's goal is to use MATLAB[®] (Simulink) in the development of a system to simulate a HEMS (Home Energy Management System), and also apply short-circuits in different parts of the system to verify how it reacts to it.

Many simulations will be done in order to embrace as many qualitatively relevant situations possible.

Keywords: solar; energy distribution; short-circuits; battery; HEMS.

Sumário

1	Introdução	1
2	Desenvolvimento do Projeto	2
a	Sistema fotovoltaico	2
b	Conversor DC-DC Boost	3
c	VSC	5
d	Rede elétrica.....	6
e	Carga.....	7
3	Simulações	8
a	Grid e carga	9
b	Grid, carga e solar.....	9
c	Análise de curto com grid, carga e solar	9
4	Conclusão	28
5	Referências	29

Lista de Figuras

1	Circuito mais complexo completo.....	2
2	Modelagem do painel fotovoltaico.....	3
3	Bloco de diodo do painel fotovoltaico.....	3
4	Conversor Boost.....	4
5	Funcionamento do MPPT.....	4
6	Diagrama de estados do MPPT.....	5
7	Modelagem do VSC.....	5
8	Bloco interno do controle do VSC.....	6
9	Modelagem do grid elétrico.....	6
10	Blocos da distribuição de energia.....	7
11	Modelagem da carga.....	7
12	Visão geral do sistema com grid e carga.....	8
13	Potência em diversas partes do sistema para a simulação com grid e carga.....	8
14	Visão geral do sistema com grid, carga e painéis fotovoltaicos.....	9
15	Potência em diversas partes do sistema para uma carga de 5kW.....	9
16	Zoom nas potências em diversas partes do sistema para uma carga de 5kW.....	10
17	Potência em diversas partes do sistema para uma carga de 12kW.....	10
18	Zoom nas potências em diversas partes do sistema para uma carga de 12kW.....	11
19	Visão geral do sistema para análise de curto-circuito na carga.....	11
20	Curvas de ativação dos blocos de carga e curto-circuito.....	12
21	Tensão nas barras do sistema para o curto trifásico(na carga).....	12
22	Corrente nas barras do sistema para o curto trifásico(na carga).....	13
23	Potências no sistema para o curto trifásico(na carga).....	13
24	Corrente e tensão no conversor dos painéis fotovoltaicos.....	14
25	Potências do sistema para o curto bifásico(na carga).....	14
26	Tensão nas barras do sistema para o curto bifásico(na carga).....	15
27	Corrente nas barras do sistema para o curto bifásico(na carga).....	15
28	Potências do sistema para o curto fase-terra(na carga).....	16
29	Tensão nas barras do sistema para o curto fase-terra(na carga).....	16
30	Corrente nas barras do sistema para o curto fase-terra(na carga).....	17
31	Local de aplicação do curto-circuito na rede de distribuição.....	17
32	Potências do sistema para o curto trifásico(na rede de distribuição).....	18
33	Tensão nas barras do sistema para o curto trifásico(na rede de distribuição).....	18
34	Corrente nas barras do sistema para o curto trifásico(na rede de distribuição).....	19
35	Potências do sistema para o curto bifásico(na rede de distribuição).....	19
36	Tensão nas barras do sistema para o curto bifásico(na rede de distribuição).....	20
37	Corrente nas barras do sistema para o curto bifásico(na rede de distribuição).....	20
38	Potências do sistema para o curto fase-terra(na rede de distribuição).....	21
39	Tensão nas barras do sistema para o curto fase-terra(na rede de distribuição).....	21
40	Corrente nas barras do sistema para o curto fase-terra(na rede de distribuição).....	22
41	Local de aplicação do curto-circuito na linha de transmissão.....	22
42	Potências do sistema para o curto trifásico(na linha de transmissão).....	23
43	Tensão nas barras do sistema para o curto trifásico(na rede de transmissão).....	23
44	Corrente nas barras do sistema para o curto trifásico(na rede de transmissão).....	24
45	Potências do sistema para o curto bifásico(na linha de transmissão).....	24
46	Tensão nas barras do sistema para o curto bifásico(na rede de transmissão).....	25
47	Corrente nas barras do sistema para o curto bifásico(na rede de transmissão).....	25
48	Potências do sistema para o curto fase-terra(na linha de transmissão).....	26
49	Tensão nas barras do sistema para o curto fase-terra(na rede de transmissão).....	26
50	Corrente nas barras do sistema para o curto fase-terra(na rede de transmissão).....	27

1 Introdução

A energia elétrica ganhou extrema força no fim do século XIX. Em 1882, Thomas Edison ajudou a formar a Edison Electric Company of New York, que levou eletricidade (com principal objetivo de iluminar) para partes de Manhattan, porém como era uma tecnologia não nova mas não muito explorada em grande escala, o progresso foi lento. Demorou cerca de cinquenta anos para que metade dos Estados Unidos tivesse acesso à energia elétrica. Desde então seu crescimento e necessidade cresceu quase que de forma exponencial. Sendo uma energia em si menos poluente recebeu grande atenção de cientistas e de empresas, que investiram em seu uso e seu desenvolvimento. O mundo atual certamente seria completamente diferente sem a existência da eletricidade, visto que inúmeros processos e objetos, sejam eles corriqueiros ou mais específicos, a utilizam de forma fundamental. Alguns dos frutos do avanço tecnológico são a eletrônica e as telecomunicações, máquinas de precisão ou de força bruta, carros, trens, aviões, celulares, iluminação, aparelhos hospitalares que hoje em dia são fundamentais, e etc. Certamente é impossível listar todas as contribuições que foram trazidas pelo investimento neste tipo de energia^[4].

Apesar do seu grande uso mundial, sua geração pode trazer grandes problemas ao meio ambiente. Usinas termelétricas produzem diversos gases responsáveis pelo efeito estufa. São produzidos óxidos e dióxidos de enxofre, óxidos de nitrogênio, monóxido e dióxido de carbono além de outros gases e particulados. Usinas hidrelétricas transformam a fauna aquática e terrestre do local, mudam o clima e podem desabrigar moradores. Usinas nucleares produzem lixo radioativo, além de ser extremamente perigosas em caso de algum acidente (como o caso de Chernobyl, que ocorreu em 1986 e até hoje tem grande radioatividade na área próxima ao local da explosão). Desta forma, novos estudos e investimentos são feitos em áreas de geração de energia mais limpa, como a solar, eólica e biogás (apesar de não serem perfeitas, possuem diversas vantagens sobre as anteriores). O futuro parece demandar ainda mais energia elétrica, e consequentemente deve-se alcançar formas de produzi-la com o menor impacto, seja ele social ou ambiental, possível.

Com a necessidade de aumentar a eficiência e sustentabilidade da geração de energia, houve muito investimento em formas alternativas de geração, e uma delas é a energia solar. Utilizando painéis fotovoltaicos^[2], a energia emitida pelo sol é transformada em energia elétrica porque ao incidirem fótons em seu interior acabam gerando deslocamentos de elétrons, criando corrente elétrica. Desta forma, é muito importante ao instalar esses painéis de verificar a forma de incidência solar no local ao longo do tempo, para que se possa extrair o máximo de potência possível ao ajustar a angulação e a posição dos mesmos.

A fim de entender melhor como seria benéfico o uso de um sistema HEMS com os painéis solares junto à malha elétrica e também os problemas de segurança em casos de curto, esses tipos de simulações foram executados e seus resultados analisados.

2 Desenvolvimento do Projeto

O projeto mais completo^[1], ou seja, que possui mais partes visto que as experiências são "acumulativas", está dividido resumidamente em quatro partes: Painéis fotovoltaicos, bateria, "Grid" elétrico e conversores (boost elevando a tensão CC e VSC transformando CC em AC).

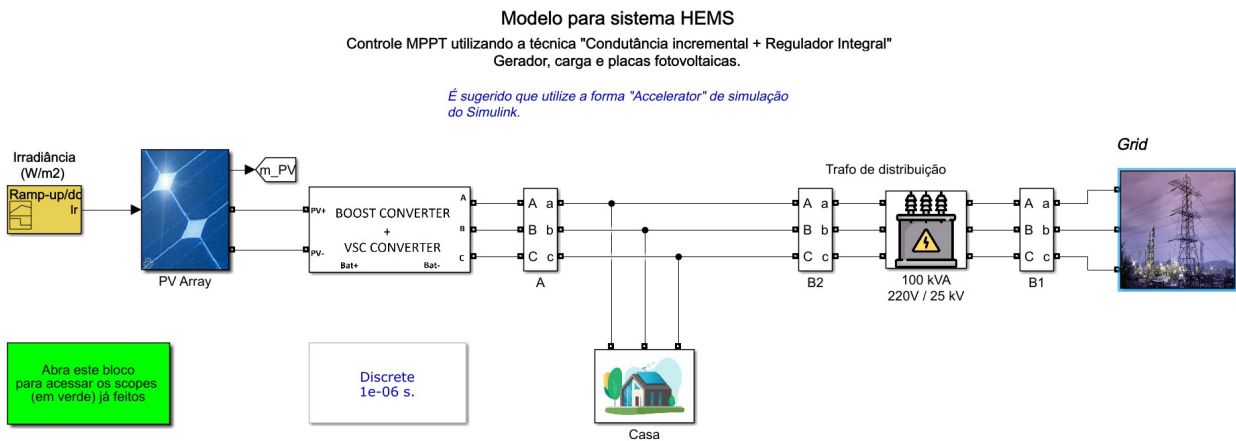


Figura 1: Circuito mais complexo completo.

a Sistema fotovoltaico

As placas fotovoltaicas foram modeladas por um bloco já disponível no MATLAB, e o modelo físico referência utiliza módulos 330 SunPower (SPR-305). O arranjo de placas utiliza 66 colunas em paralelo, contendo cinco placas em série cada uma, podendo gerar então até 100 kW de potência ($66 \times 5 \times 305.2W = 100,7kW$) com $1000 \frac{W}{m^2}$ de irradiância solar. Como o objetivo inicial é alimentar somente uma carga simbolizando uma casa um pequeno conjunto de casas, a irradiância utilizada foi de $100 \frac{W}{m^2}$, fazendo assim com que o arranjo consiga gerar aproximadamente 8 kW. Por baixo da máscara do bloco, o sistema é modelado como uma fonte de corrente dependente da irradiância, resistências shunt e série, e possui um diodo para fazer o controle das placas de forma que as equações características não lineares I-V para a célula solar sejam:

$$I_{diodo} = I_{sat} * \left(e^{\frac{V_d}{V_t}} - 1 \right) \quad (1)$$

$$V_T = \frac{kT}{q} * nI * N_{células} \quad (2)$$

Onde "k" é a constante de Boltzmann, "q" é a carga de um elétron, nI é o fator de idealidade (em que neste caso é próximo de um) e V_d é a tensão no diodo.

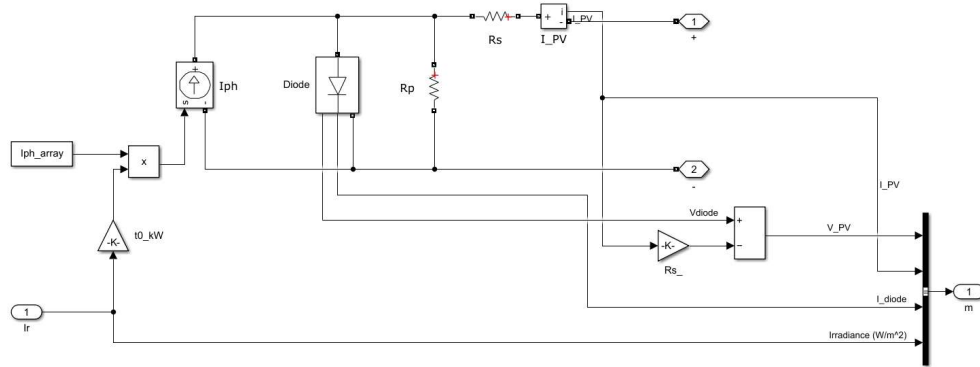


Figura 2: Modelagem do painel fotovoltaico.

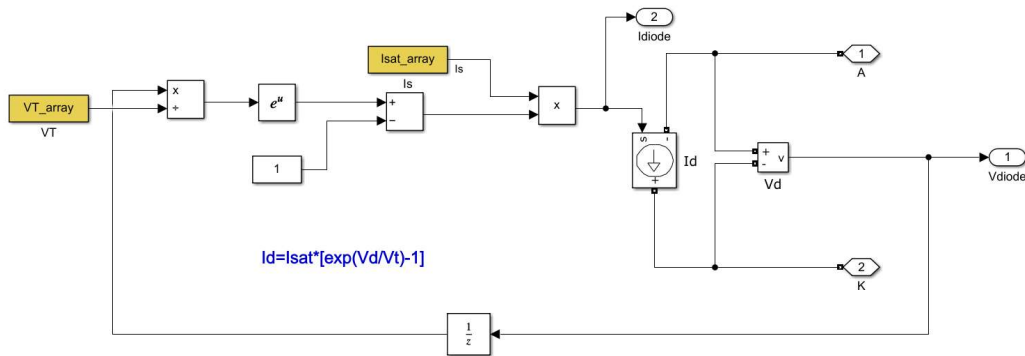


Figura 3: Bloco de diodo.

b Conversor DC-DC boost

Dentro do bloco de conversores há o conversor Boost (em laranja), que eleva a tensão contínua de 273,5 V para 500 V. Ele utiliza um sistema MPPT (Maximum Power Point Tracking) que varia automaticamente o *duty cycle* do conversor, de forma que mantém sempre a tensão que gerará a maior potência possível. Esse modelo MPPT utiliza uma técnica chamada de Indutância incremental e regulador integral, que diz que o ponto de máxima potência é obtido quando a derivada da potência com relação à potência é zero, dado que $P=V*I$, logo:

$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(V*I)}{dV} \rightarrow I + V * \frac{dI}{dV} = 0 \rightarrow \frac{dI}{dV} = -\frac{I}{V} \quad (3)$$

A equação (3) significa que a derivada da potência com relação à tensão será zero quando a condutância incremental for igual ao negativo condutância instantânea, e a tensão associada a esse ponto é conhecida como MPP(Maximum Power Point). O regulador integral serve para minimizar o sinal de erro gerado ao comparar a condutância instantânea e a incremental, logo o sinal de erro é a soma destas duas condutâncias. A parte integral acumula o erro instantâneo, que é multiplicado pelo ganho da integral e é levado à saída do controlador. Vaiando o *duty cycle* do conversor Buck-Boost, a impedância de entrada e de saída é equiparada e então é possível encontrar a potência máxima. Um diagrama de estados criado por um autor que está referenciado^[3] explica visualmente como funciona a lógica do MPPT, e está na Figura 5.

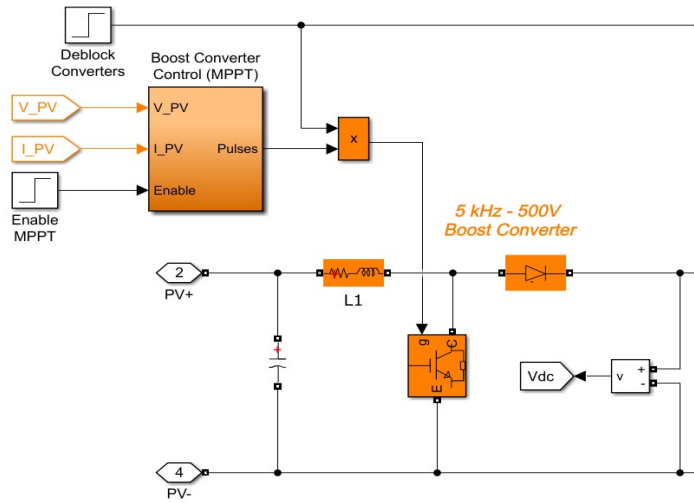


Figura 4: Conversor Boost (em laranja).

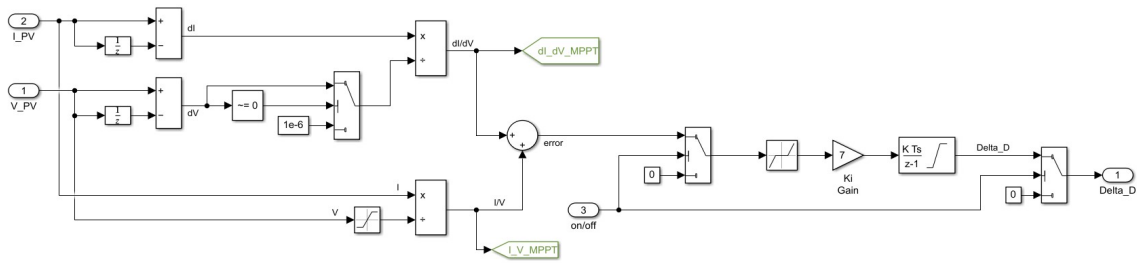


Figura 5: Funcionamento do MPPT.

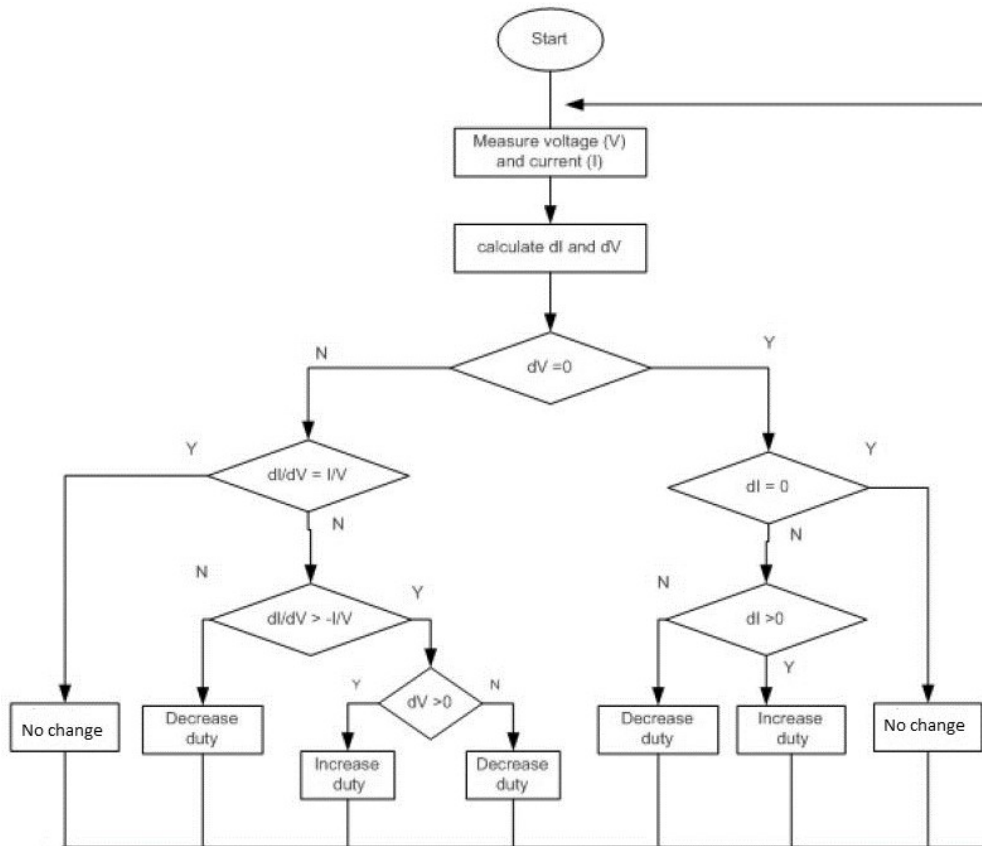


Figura 6: Diagrama de estados para o controle MPPT^[3].

c VSC

O VSC(blocos azuis) regula a tensão da parte DC em 500V, mantém o fator de potência com valor um e transforma a tensão DC em AC. O sistema de controle usa dois loops de controle: um loop externo que mantém a parte DC em aproximadamente 220V, e um *loop* interno que regula as componentes ativa e reativa da corrente da malha. A corrente ativa de referência é a saída do controlador de tensão, enquanto a corrente reativa de referência é zero dado que é desejado manter o fator de potência em um. As tensões ativa e reativa de saída do controlador de corrente são convertidas para três sinais modulados que são usados pelo gerador de pulsos PWM.

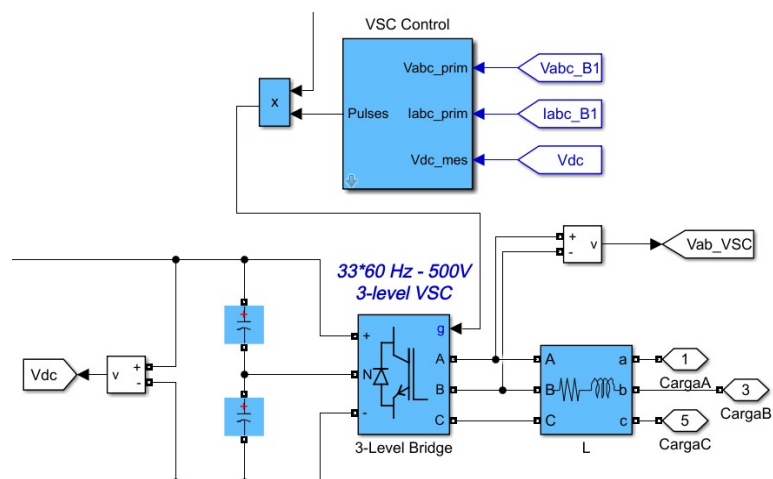


Figura 7: Modelagem do VSC.

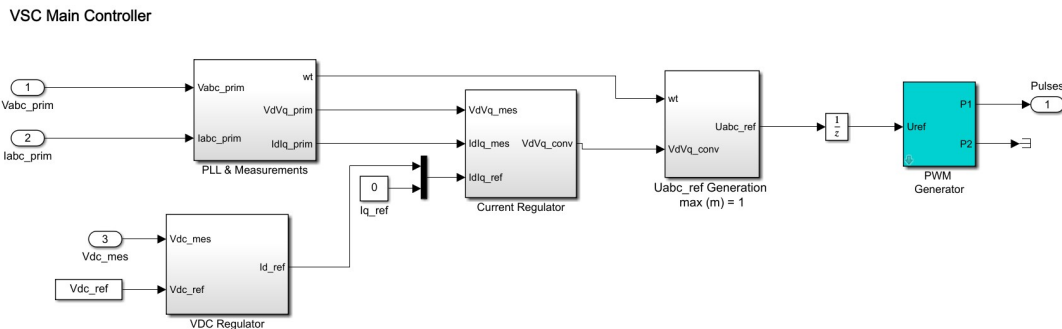


Figura 8: Bloco interno do controle do VSC.

d Rede elétrica

Em todas as simulações o sistema elétrico é representado por um gerador de tensão de 13,8kV, um transformador elevador(13,8kV-138kV), linha de transmissão de um quilômetro salvo dito o contrário, transformador abaixador(138kV-25kV) e transformador de distribuição(25kV-220V). As linhas de transmissão são baseadas no modelo Π , que consiste em uma resistência e uma indutância em série, e os terminais desse conjunto conectados à capacitâncias ligadas á terra, parecendo a forma da letra grega Π . A linha de transmissão tem comprimento de 1 km para que o modelo Π seja somente simbólico, isto porque caso ela seja maior que isso há elevação de tensão no sentido da carga por causa das capacitâncias.

O transformador elevador é importante pois na transmissão de longas distâncias reduzirá as perdas elétricas ao longo da linha, já que o aumento da tensão diminui a corrente. Ao fim da linha há um transformador abaixador para que possa transmitido nas linhas urbanas, e por fim há o transformador de distribuição, comumente em postes, que abaixa a tensão para 220 V, que é a tensão padrão de uso da grande maioria dos equipamentos elétricos domésticos. Todos os transformadores possuem ligação Y- Δ .

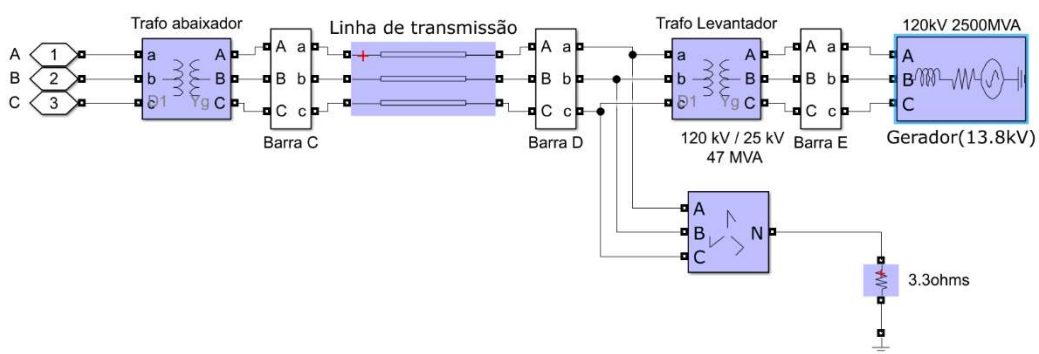


Figura 9: Modelagem do grid.

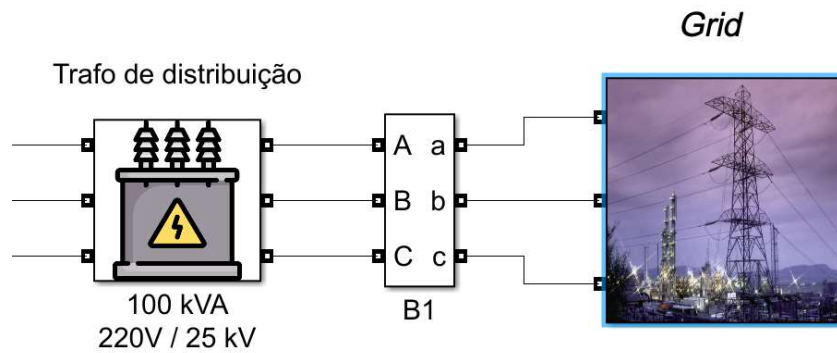


Figura 10: Parte da distribuição de energia.

e Carga

Para a carga foi utilizado um bloco do próprio Simulink para uma carga trifásica aterrada ligada em Y, e para simplificar ela é completamente resistiva. Seu valor varia de acordo com a simulação, e será especificada quando necessário.

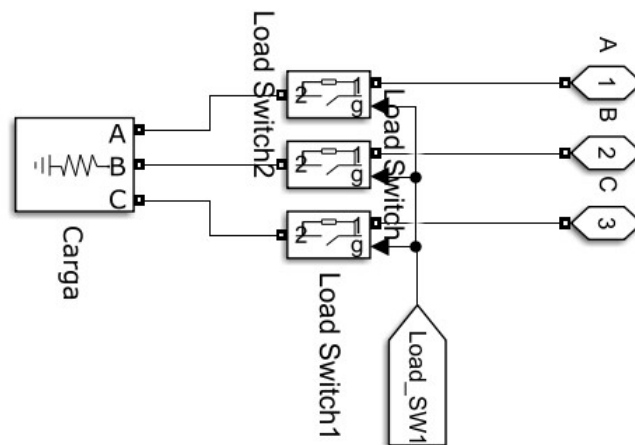


Figura 11: Modelagem da carga.

3 Simulações

a Grid e carga

Todas as simulações neste capítulo tiveram como base o modelo da referência [1]. Esta simulação foi feita somente para verificar o funcionamento da malha elétrica. Desta forma, foram utilizadas duas cargas de 5kW em paralelo, e estas foram ligadas em instantes diferentes.

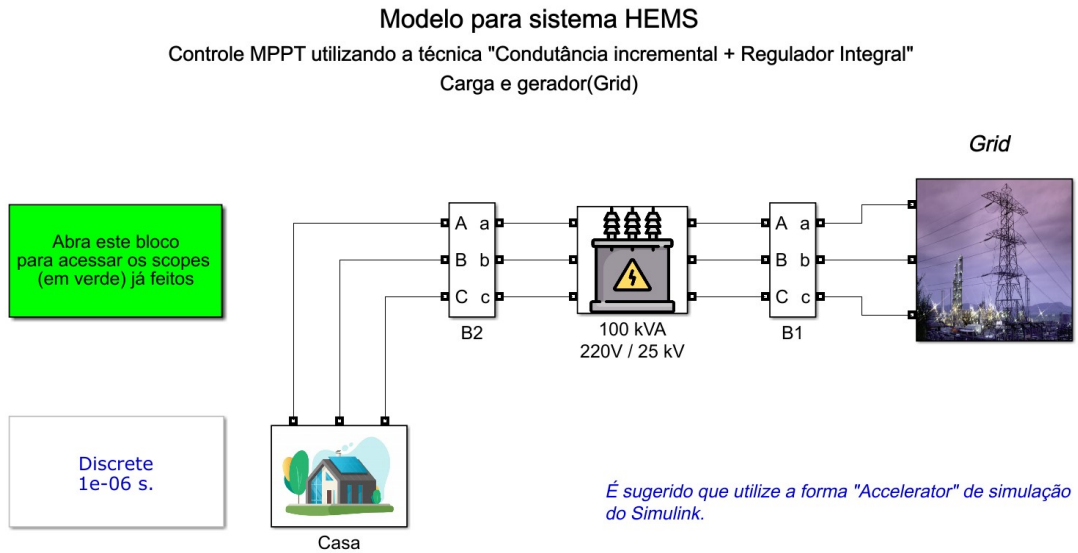


Figura 12: Visão geral do sistema com grid e carga.

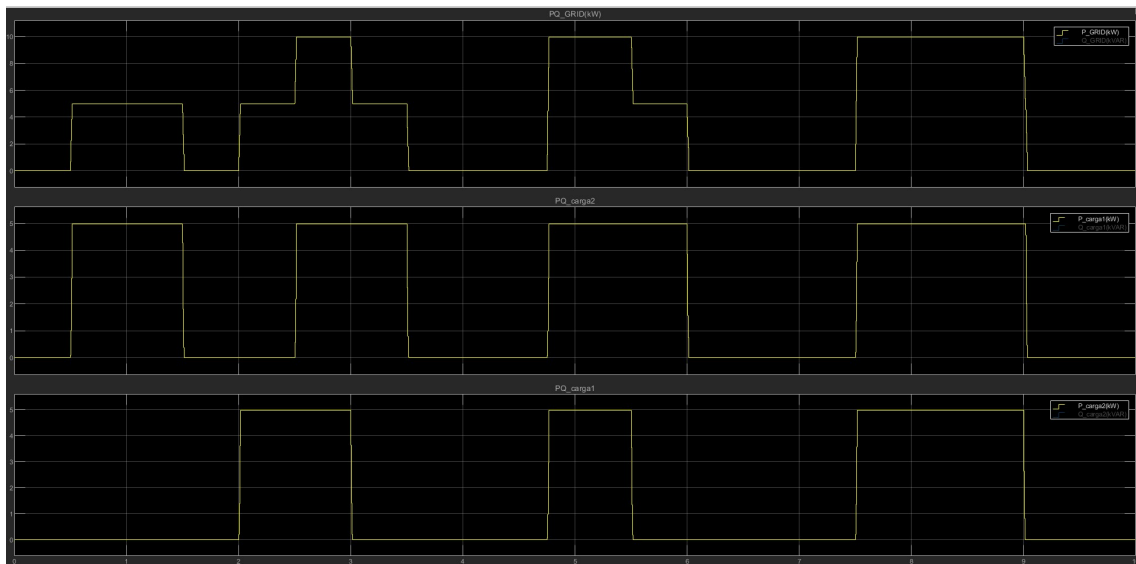


Figura 13: Potência em diversas partes do sistema.

É possível ver que o sistema fornece corretamente a potência demandada pela carga. Desta forma, este sistema é funcional.

b Grid, carga e solar.

Esta simulação foi feita somente para verificar o funcionamento da malha elétrica junto à malha solar. Desta forma, foi utilizada uma carga de 5kW, e em outra simulação a carga utilizada foi de 12kW.

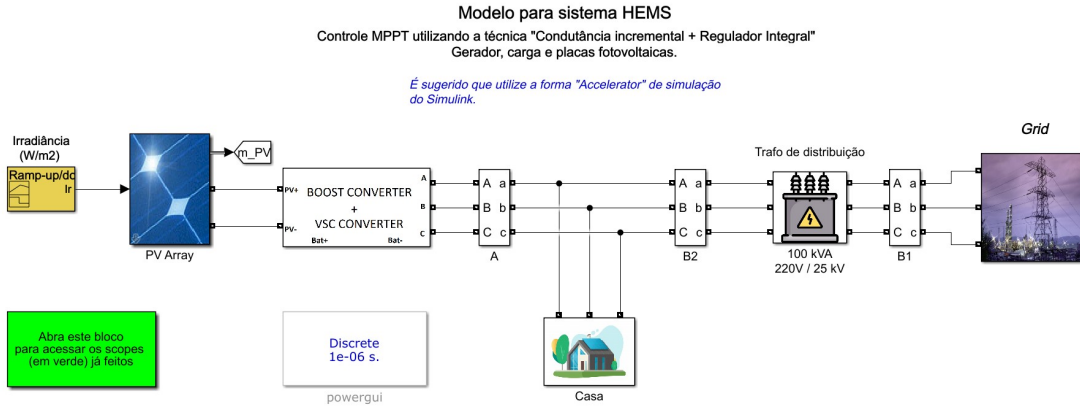


Figura 14: Visão geral do sistema com grid, carga e painéis fotovoltaicos.

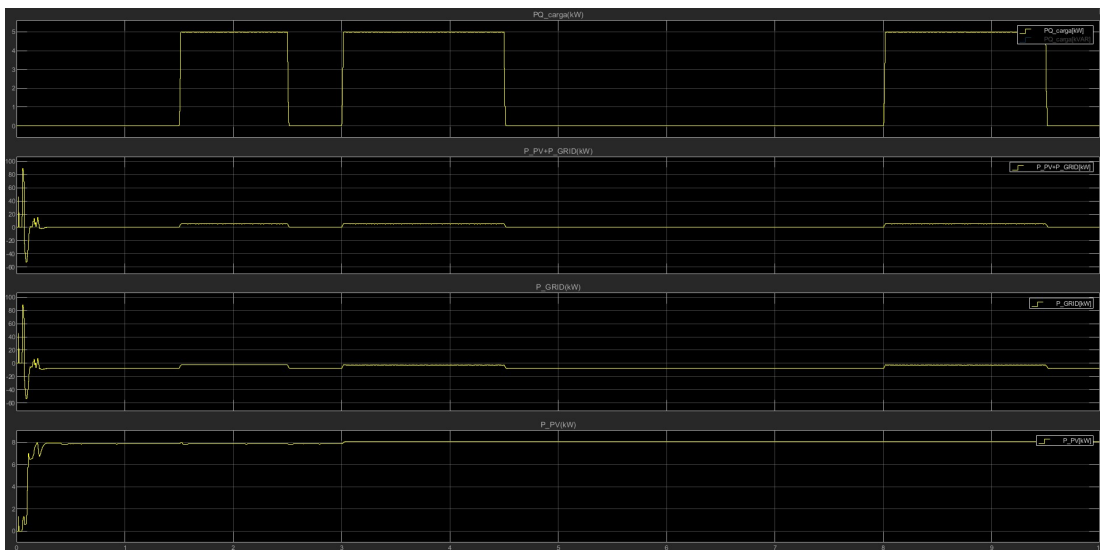


Figura 15: Potência em diversas partes do sistema para uma carga de 5kW.

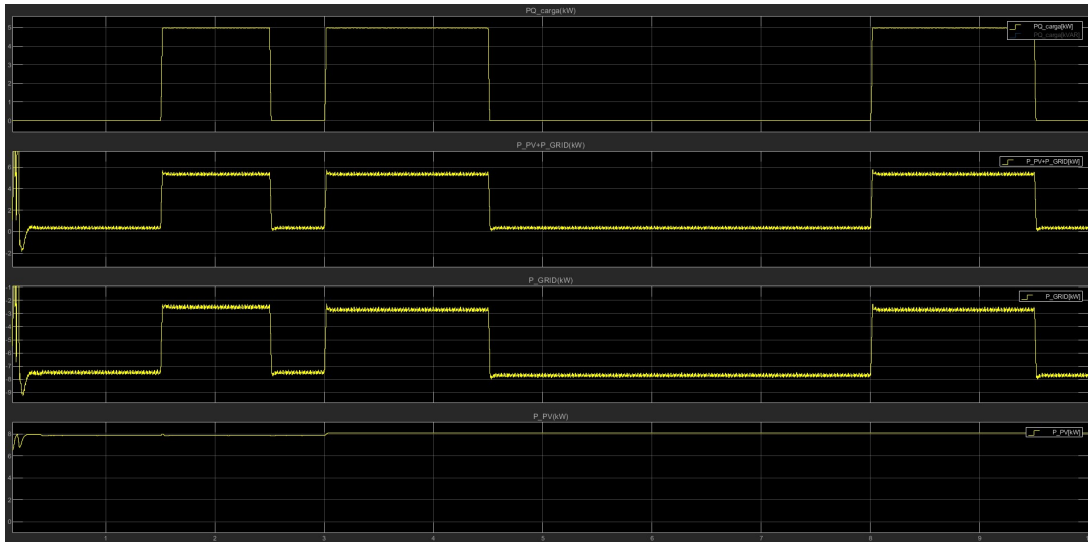


Figura 16: Zoom nas potências em diversas partes do sistema para uma carga de 5kW.

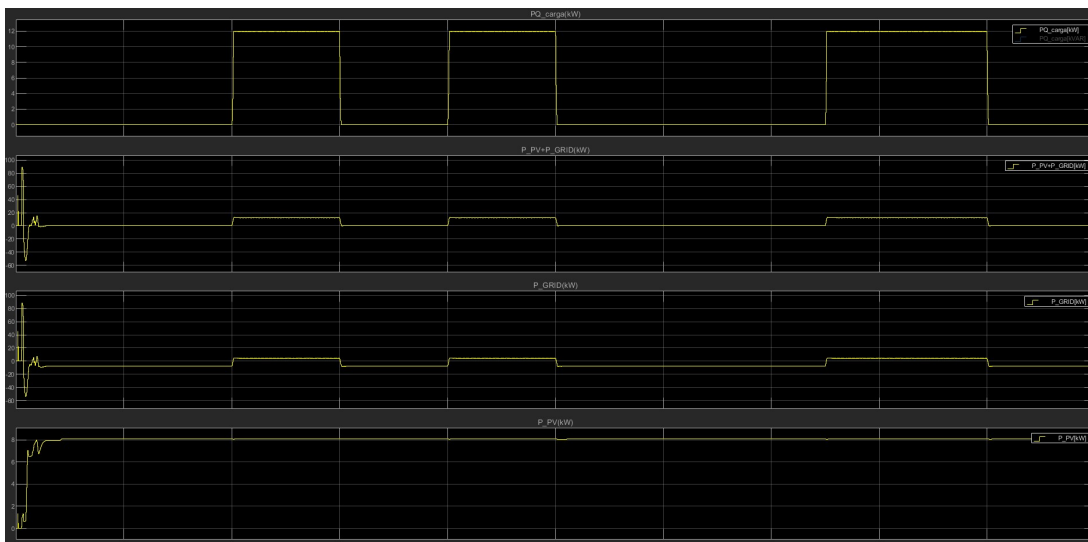


Figura 17: Potência em diversas partes do sistema para uma carga de 12kW.

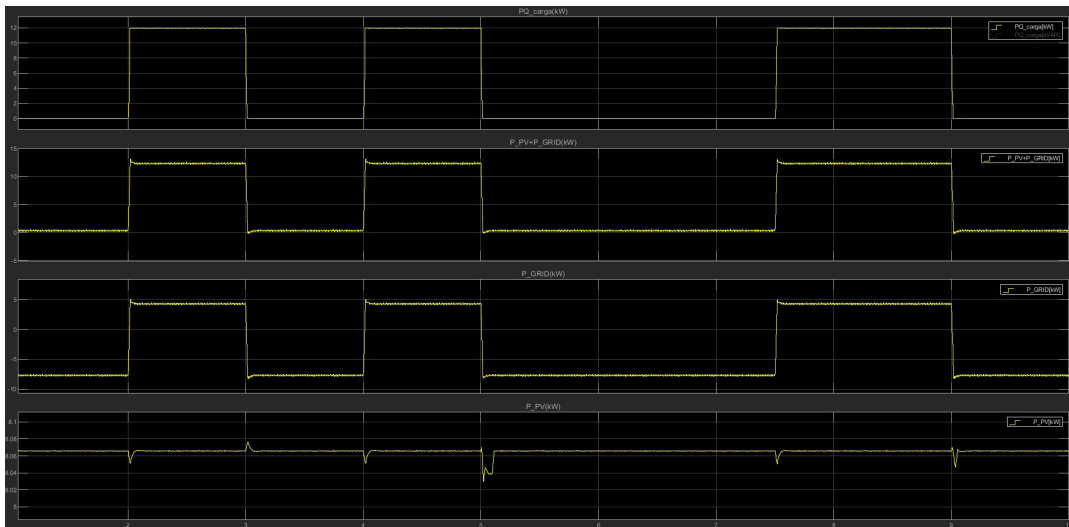


Figura 18: Zoom nas potências em diversas partes do sistema para uma carga de 12kW.

Com a carga menor, a malha elétrica absorve a potência excedente gerada pelas células fotovoltaicas, e com a carga maior a malha fornece a potência faltante. Desta forma é possível ver que o sistema fornece corretamente a potência demandada pela carga.

c Análise de curto com grid, carga e solar.

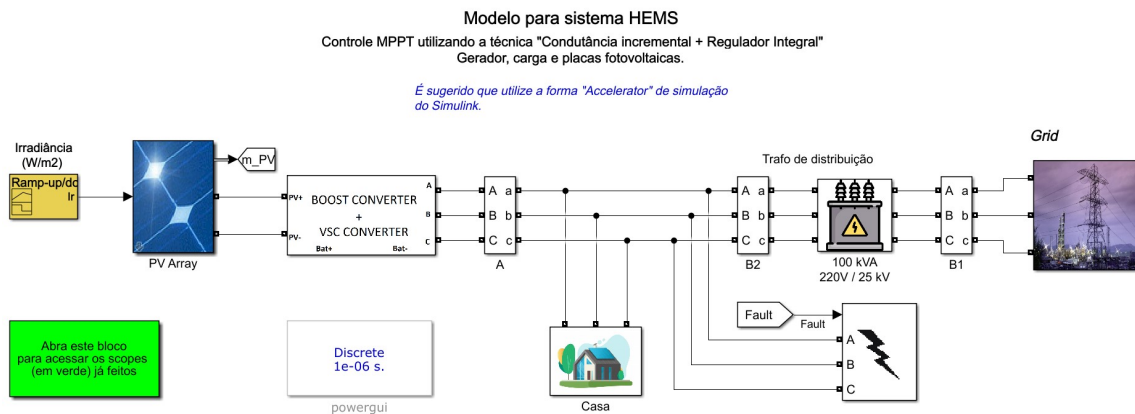


Figura 19: Visão geral do sistema para análise de curto-circuito na carga.

Em todas as simulações de curto que estão abaixo serão mostrados as potências do sistema, as tensões e correntes nas barras, e se necessário outro gráfico que ajude a ilustrar algo específico. A ativação de curtos e cargas segue esta configuração:

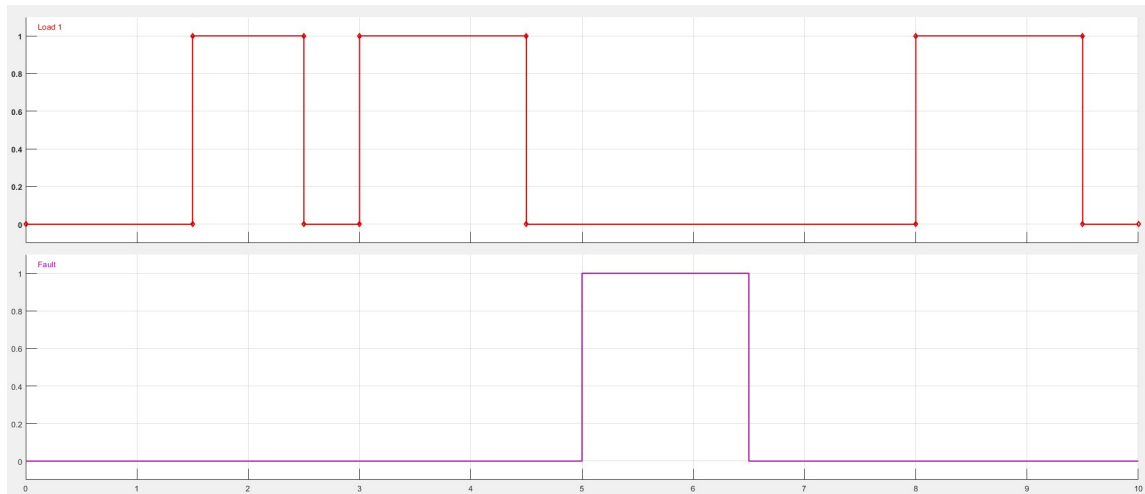


Figura 20: Curvas de ativação dos blocos de carga e curto-circuito.

- Continuando com a carga de 12kW para as demais simulações, primeiramente foi simulado um curto trifásico na carga para verificar a reação do sistema.

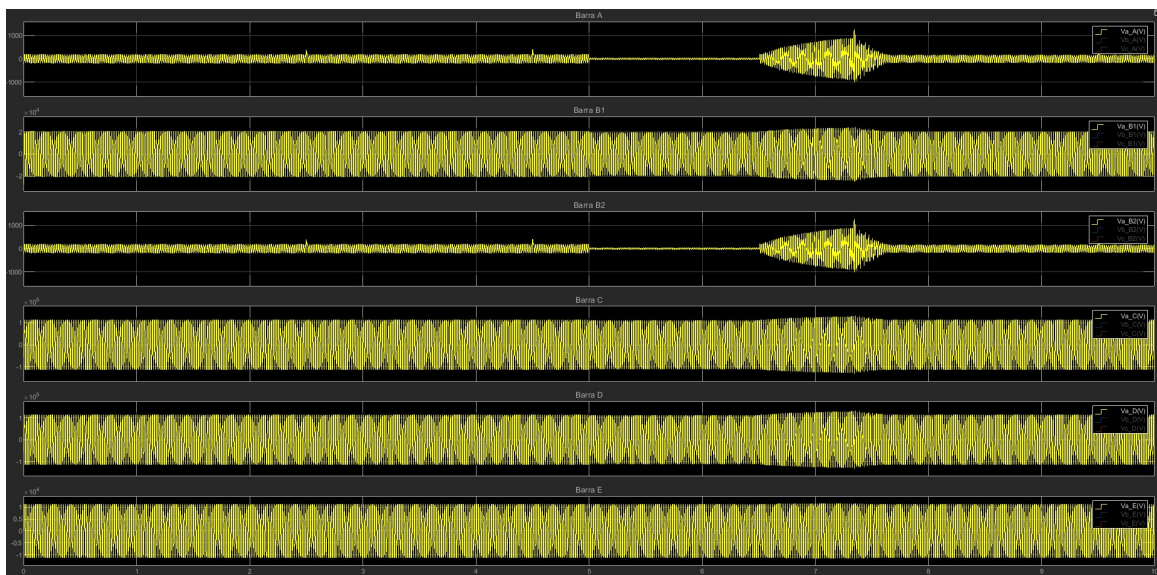


Figura 21: Tensão nas barras do sistema para o curto trifásico.

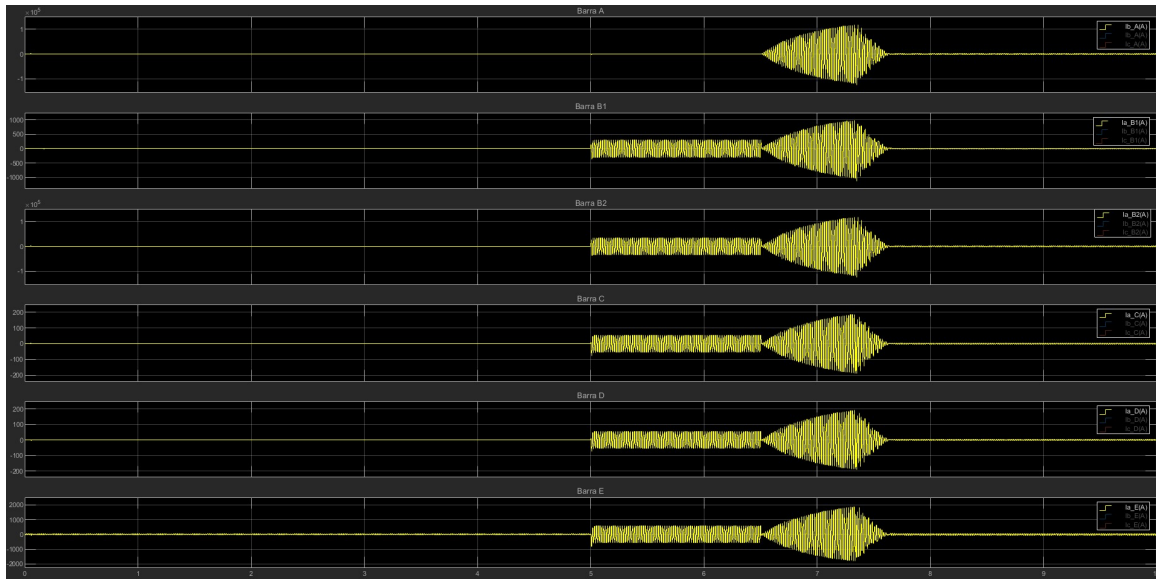


Figura 22: Correntes nas barras do sistema para o curto trifásico.

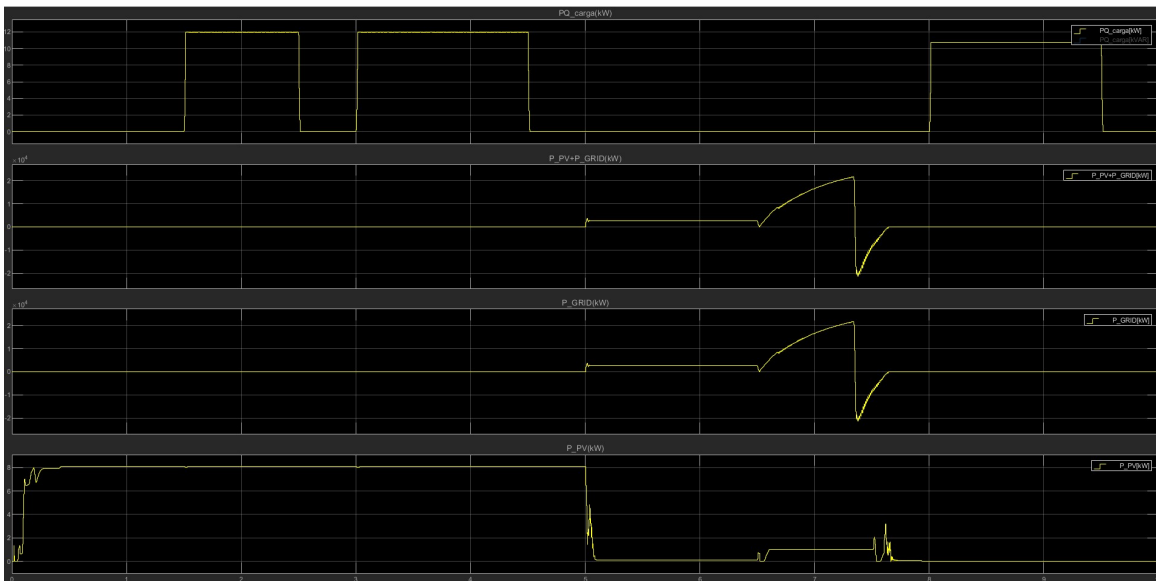


Figura 23: Potências do sistema para o curto trifásico.

É possível ver que o curto, como esperado, aumenta muito a corrente no sistema em todas as barras, enquanto a tensão tem maior queda quando próximo à carga. Após passar o transformador de distribuição, a tensão tem leve queda quando comparada ao valor pré-falta, porém muito pequena, e quanto mais longe do ponto de curto, menos perceptível é essa queda de tensão. A potência fornecida pelo sistema fotovoltaico não volta após o curto, visto que claramente ultrapassou as condições de operação tanto do conversor quanto do próprio painel. Isso pode ser visto analisando a tensão e corrente do conversor no gráfico abaixo:

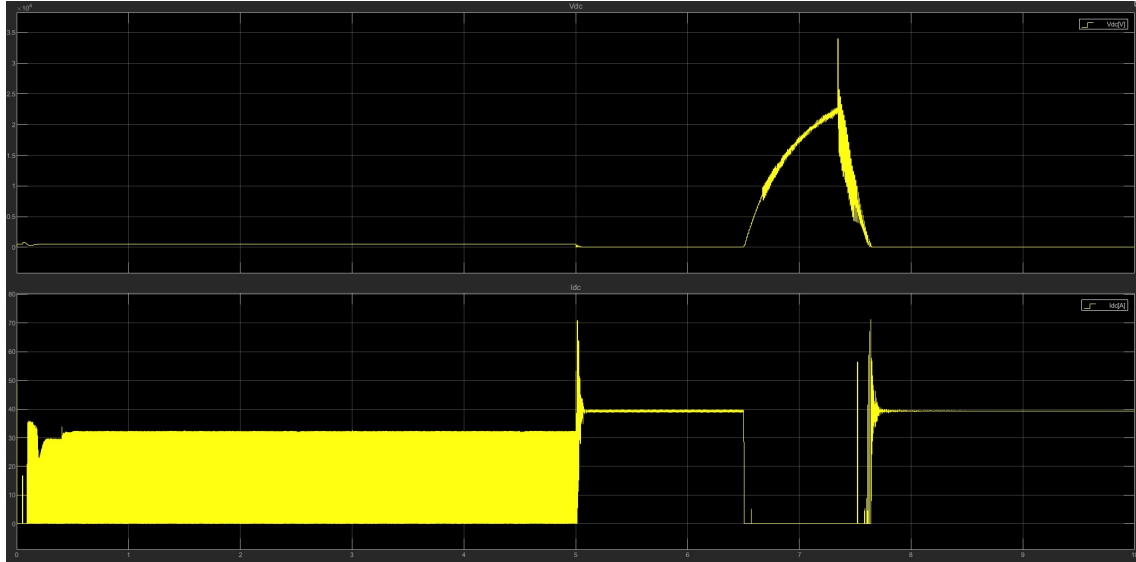


Figura 24: Corrente e tensão no conversor do painéis fotovoltaicos.

A corrente perde referência, e é como se o curto fosse mantido nos painéis mesmo após ele ter sido extinguido. Em seguida foi simulado um curto bifásico entre as fases "b" e "c" no mesmo local:

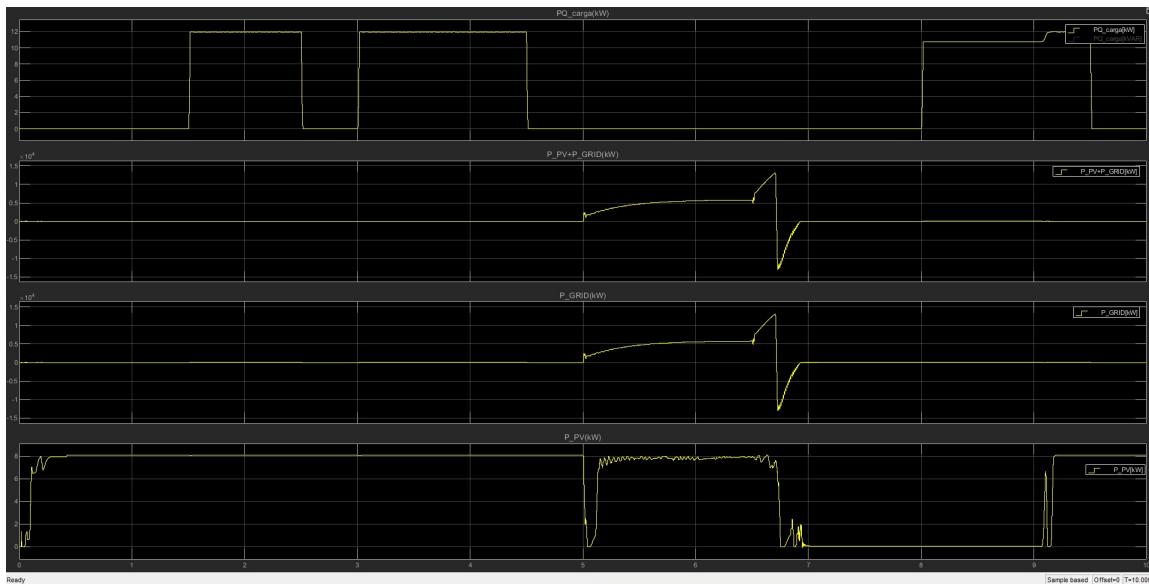


Figura 25: Potências do sistema para o curto bifásico.

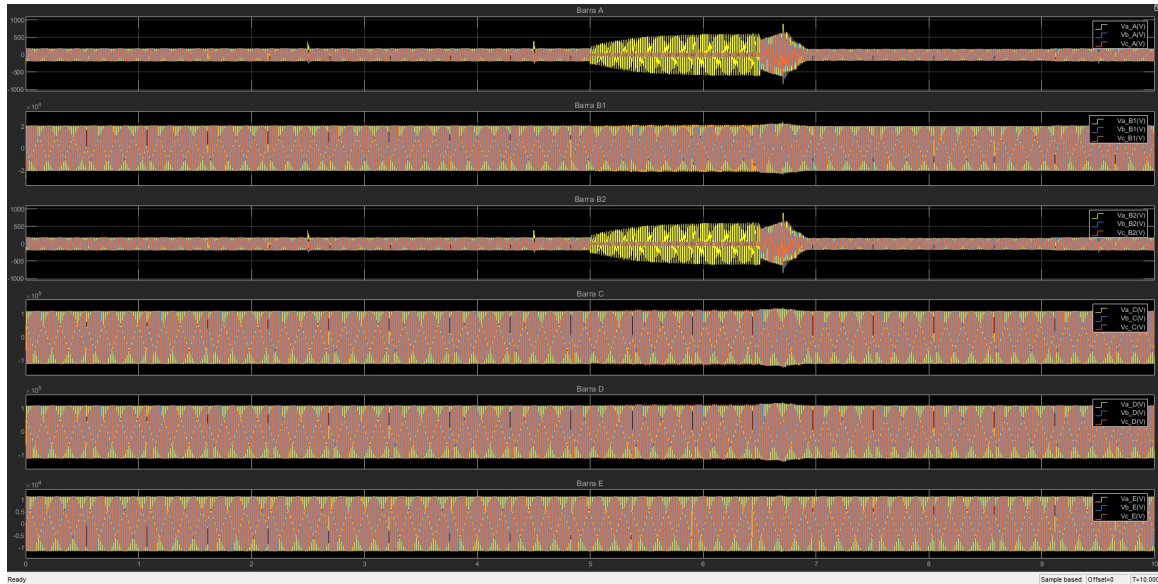


Figura 26: Tensão nas barras do sistema para o curto bifásico.

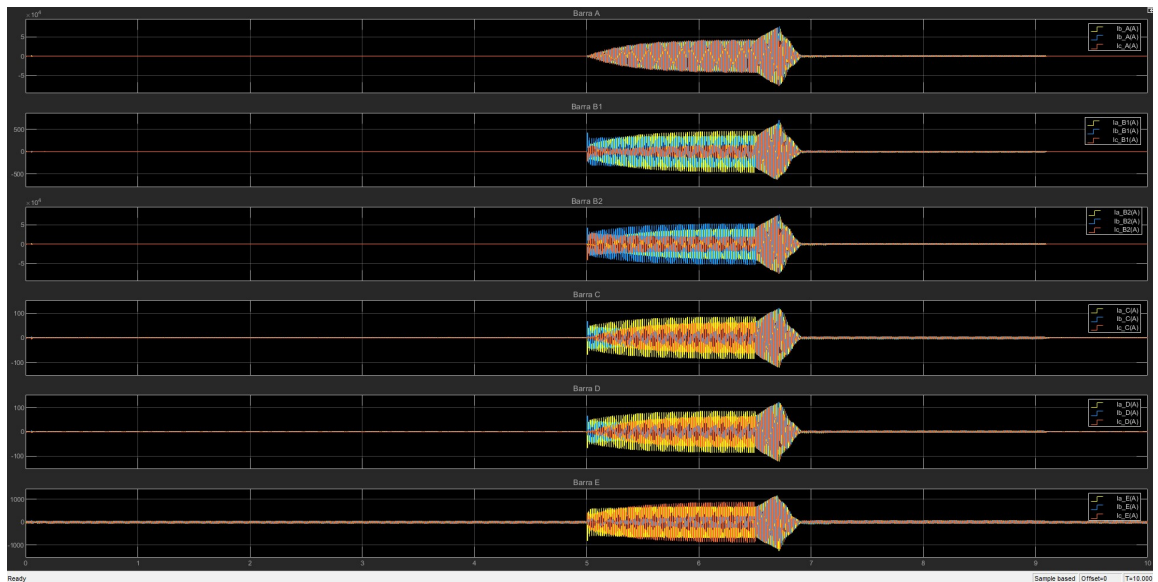


Figura 27: Corrente nas barras do sistema para o curto bifásico.

É possível ver que a magnitude do aumento de corrente é menor quando comparado ao curto trifásico, como esperado. A tensão novamente tem maior queda quando próxima ao curto, e ao passar pelo transformador de distribuição a tensão tem uma leve queda quando comparada ao pré-curto e quanto mais distante do ponto de falta, menor é essa queda. A corrente na barra A teve praticamente a mesma magnitude nas três fases, enquanto nas barras referentes ao grid (B a E), é possível ver que entre as correntes nas fases "b" e "c" (que sofreram o curto), quanto mais próximo ao ponto de falta, maior é a corrente em "b" comparada a "c". Quanto à volta do sistema fotovoltaico, é possível ver que ao final da simulação ele esboça uma reação para voltar ao seu valor original, provavelmente pela menor magnitude de curto quando comparado ao trifásico, o que causa maior facilidade do sistema a voltar ao normal.

- Em seguida foi simulado um curto fase-terra:

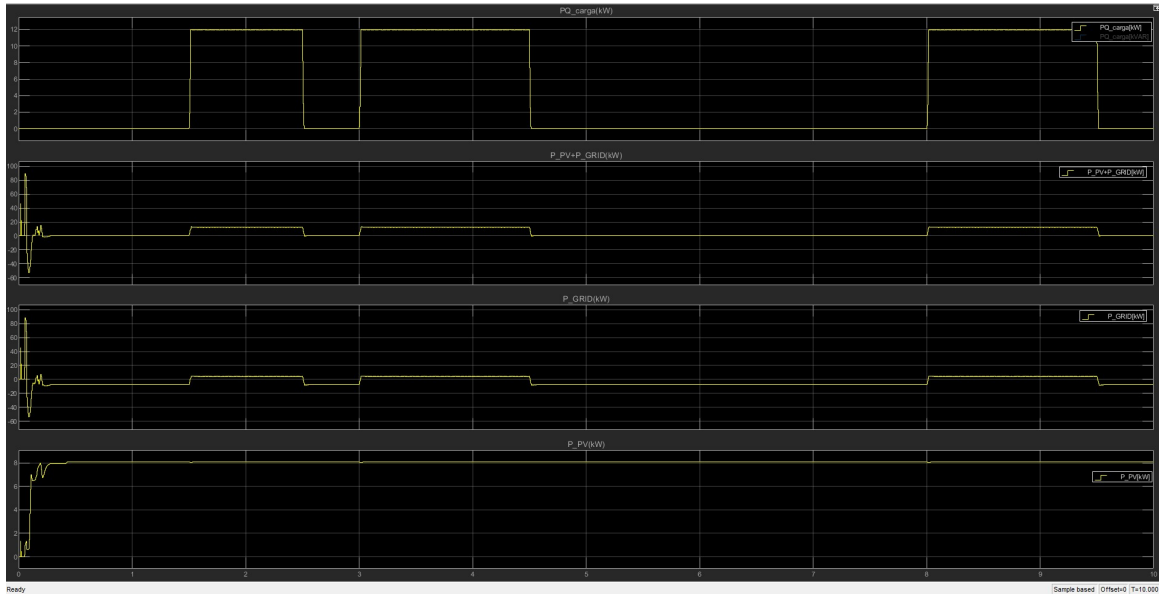


Figura 28: Potência nas barras do sistema para o curto fase-terra.

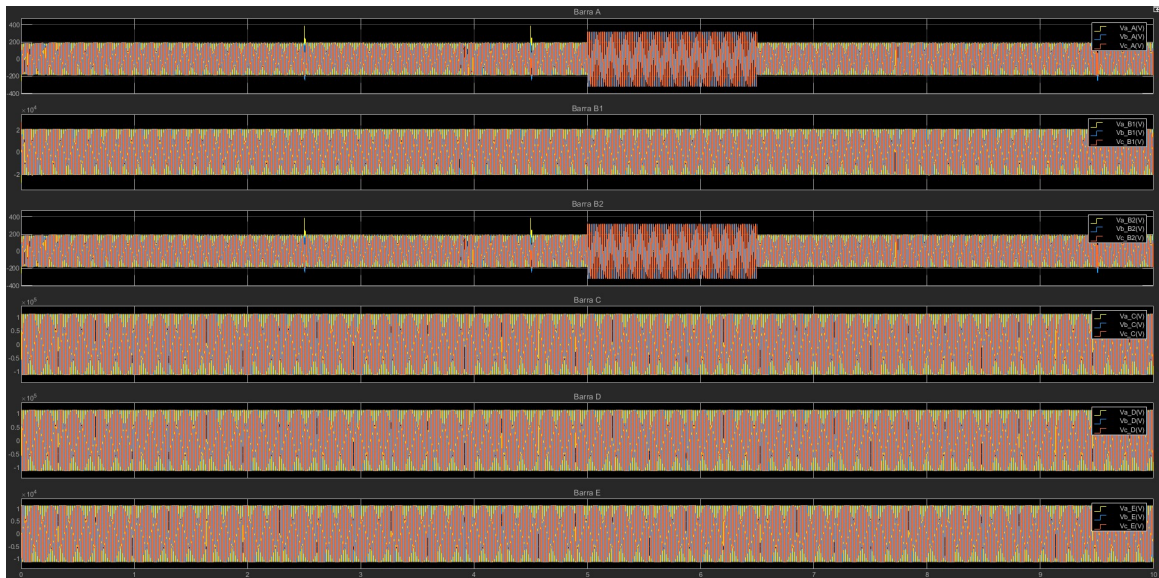


Figura 29: Tensão nas barras do sistema para o curto fase-terra.

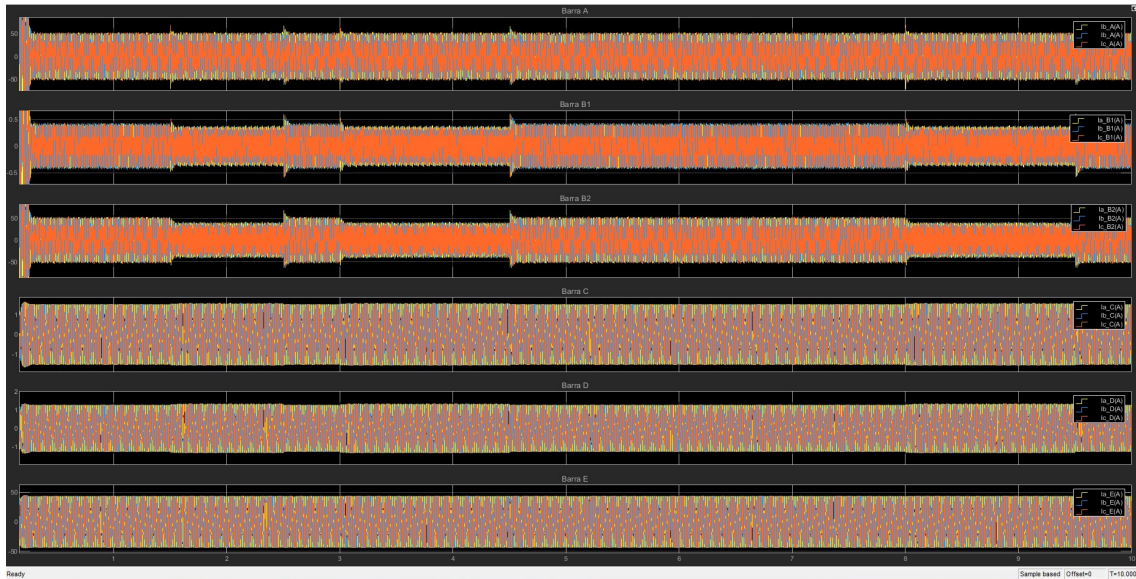


Figura 30: Corrente nas barras do sistema para o curto fase-terra.

- Agora, a análise de curto será feita supondo que o evento ocorreu na rede de distribuição, ou seja, antes do transformador de distribuição como na Figura 31. Primeiramente, foi aplicado um curto-circuito trifásico:

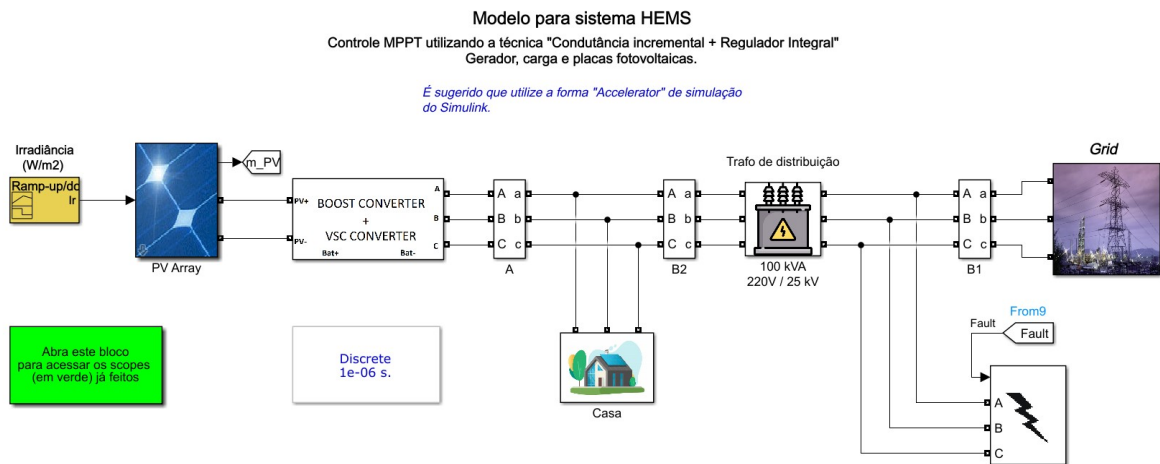


Figura 31: Local de aplicação do curto-circuito na rede de distribuição.

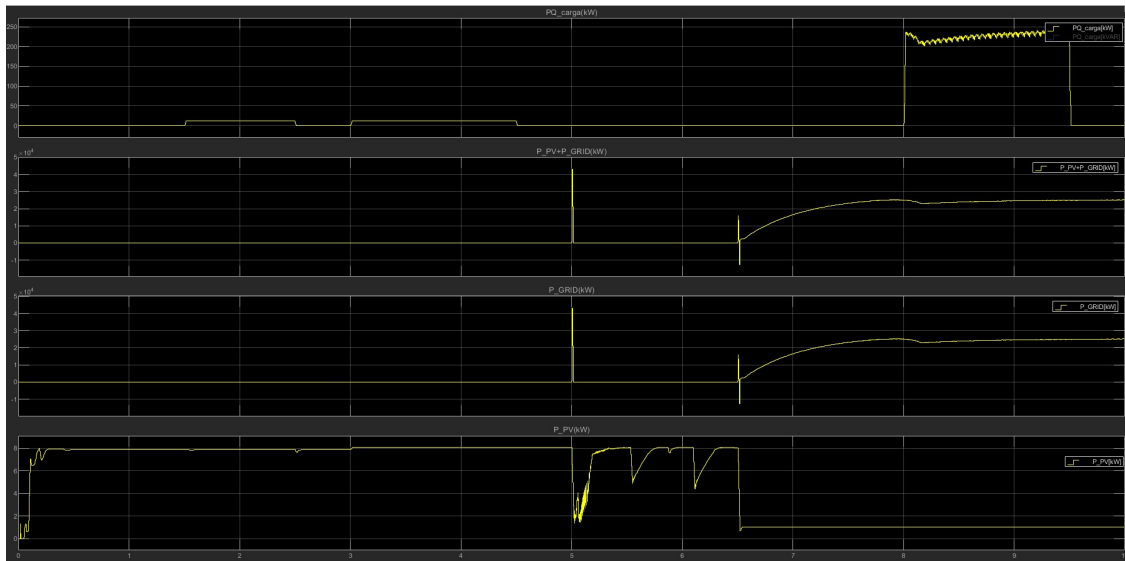


Figura 32: Potências no sistema para o curto trifásico.

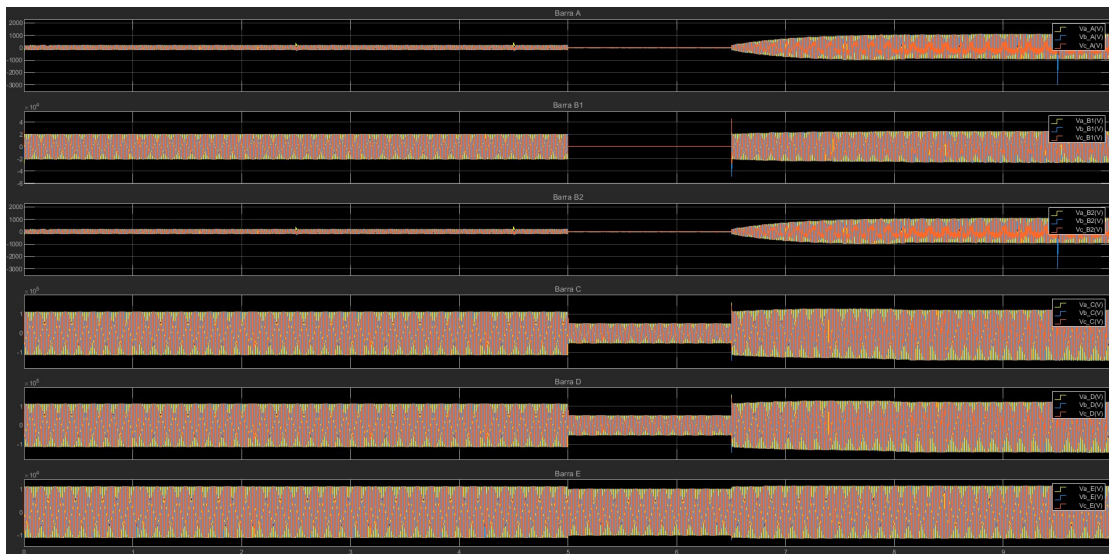


Figura 33: Tensão nas barras do sistema para o curto trifásico.

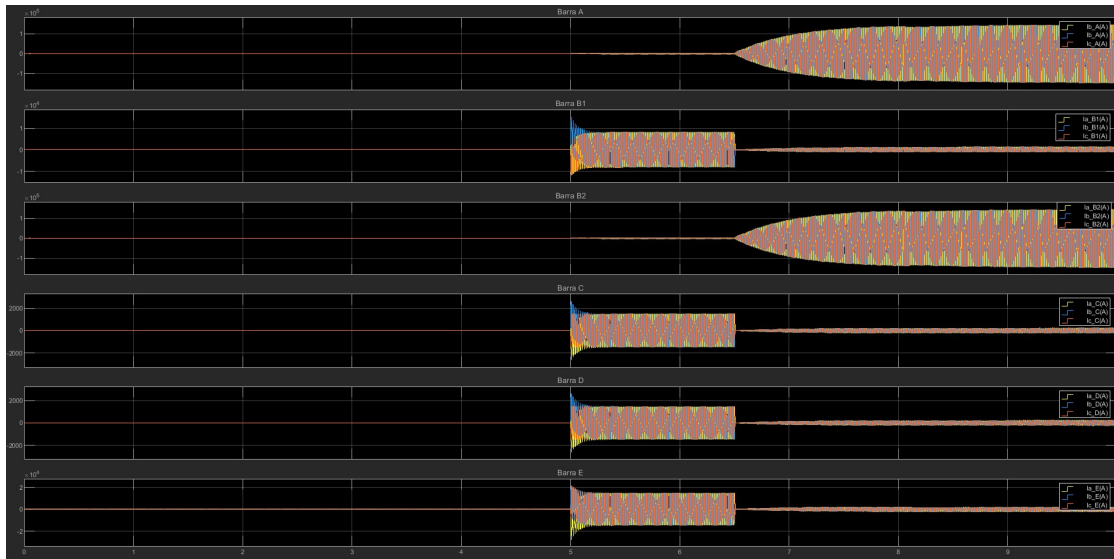


Figura 34: Corrente nas barras do sistema para o curto trifásico.

É possível ver que o sistema não se recupera dentro do tempo de simulação, e a potência fornecida à carga é muito superior à demanda. O grid perde a referência e começa a fornecer potência descontroladamente, na grandeza de 20 MW, o que é um absurdo. É possível ver que após o término do curto, a corrente e a tensão nas barras A e B2 crescem para níveis extremos, o que confirma essa potência sendo cedida descontroladamente. Novamente, com exceção das duas barras citadas anteriormente, quanto mais longe do ponto de curto, menor é a queda de tensão da barra (vide a barra E).

- Agora será feito um curto bifásico, entre as fases "b" e "c", em contato com a terra:

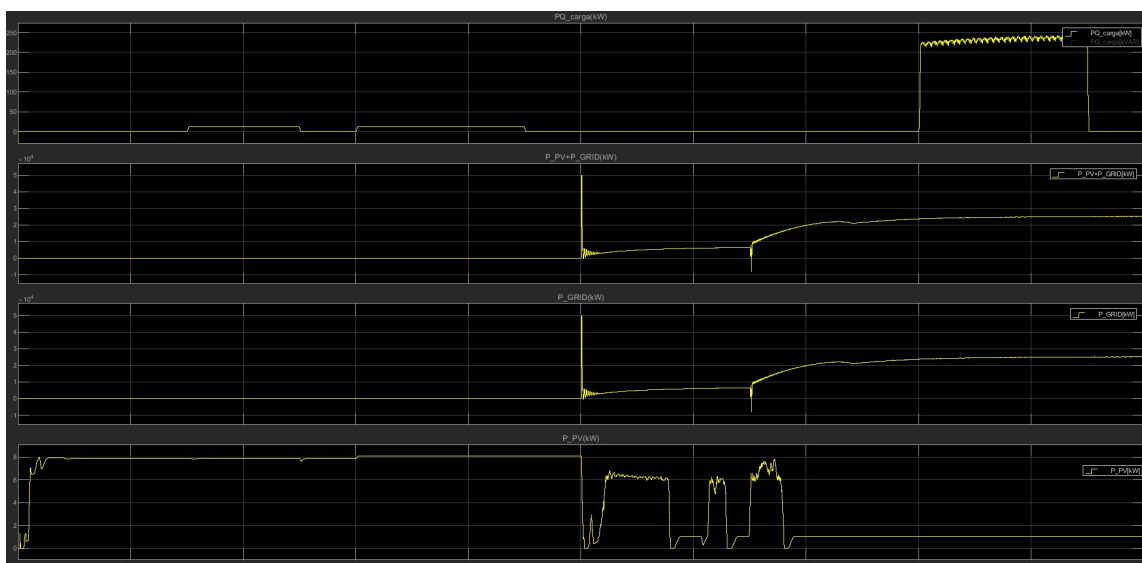


Figura 35: Potências no sistema para o curto bifásico.

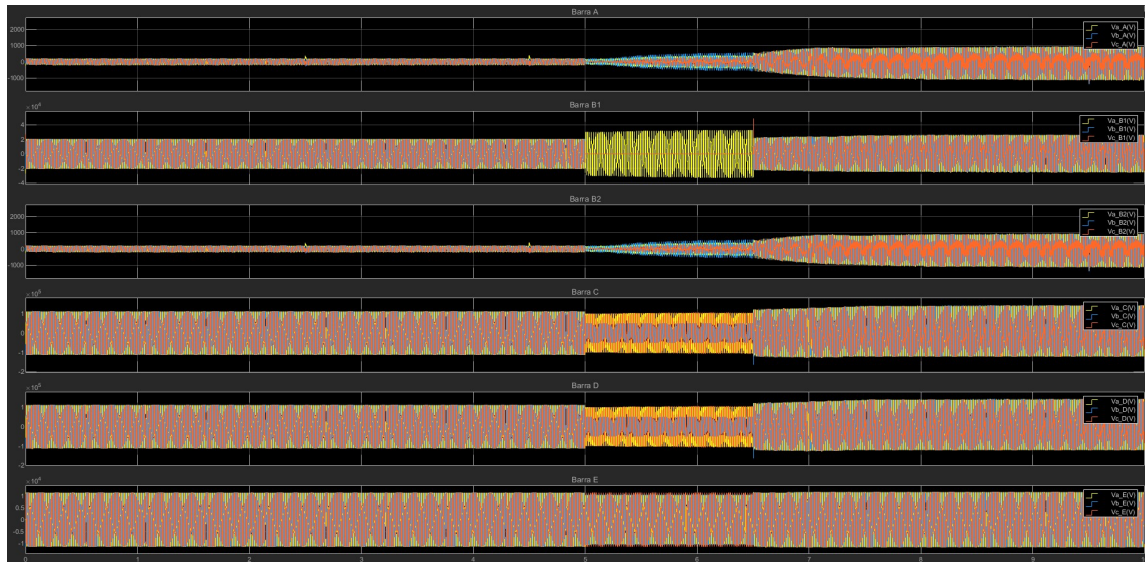


Figura 36: Tensão nas barras do sistema para o curto bifásico.

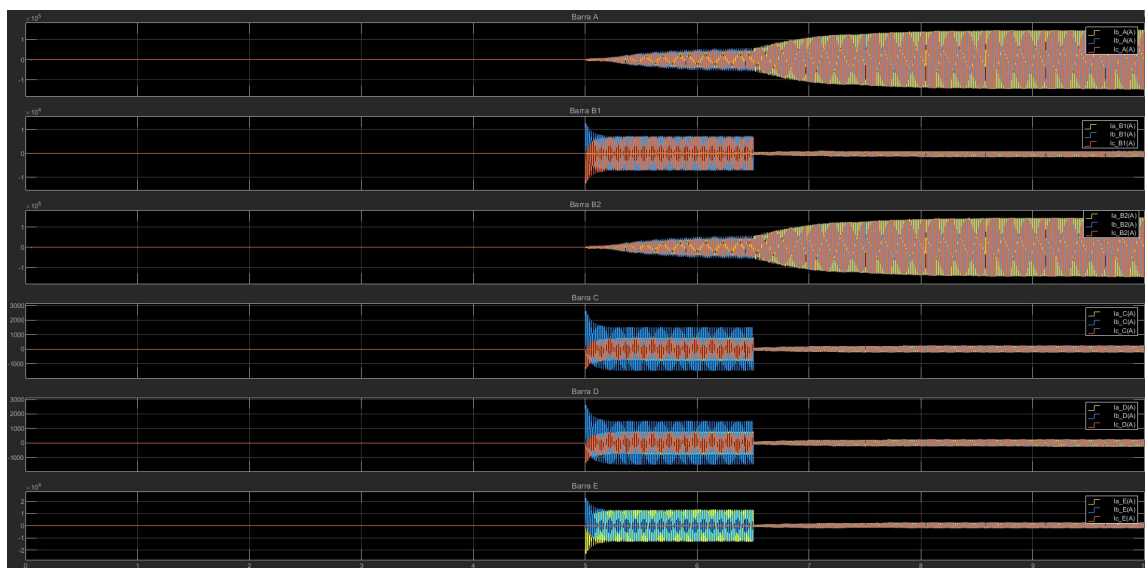


Figura 37: Corrente nas barras do sistema para o curto bifásico.

É possível ver novamente que o curto foi muito intenso, e teve comportamento semelhante em forma quando comparado ao trifásico. Novamente a potência após o término do curto-circuito cresce descontroladamente até chegar em magnitudes absurdas para o sistema, e o sistema fotovoltaico não se recupera dentro do período de simulação.

- Agora será aplicado um curto fase-terra, utilizando a fase "a":

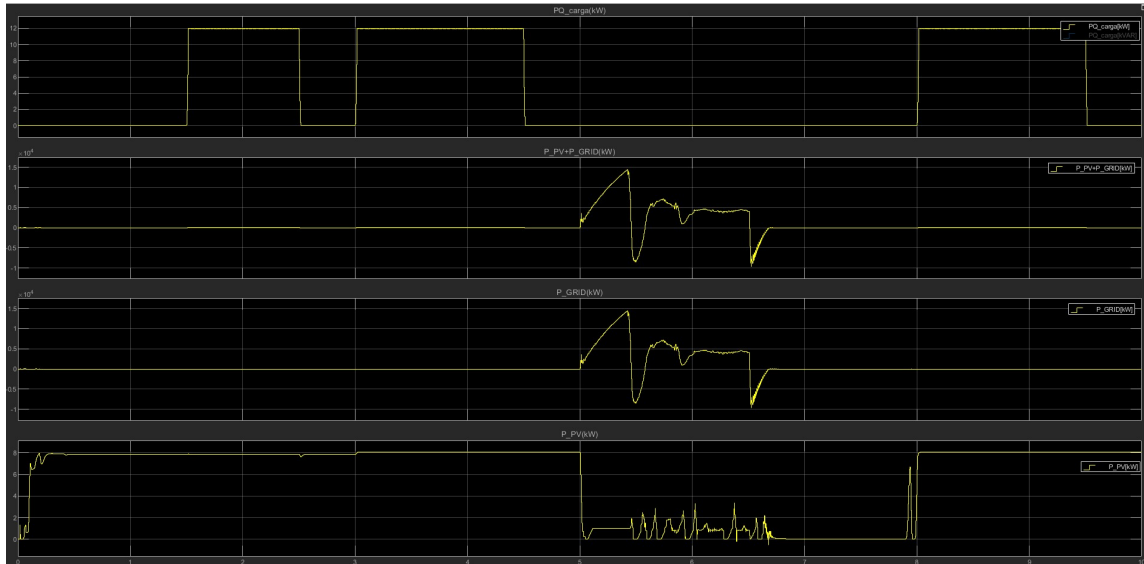


Figura 38: Potências no sistema para o curto fase-terra.

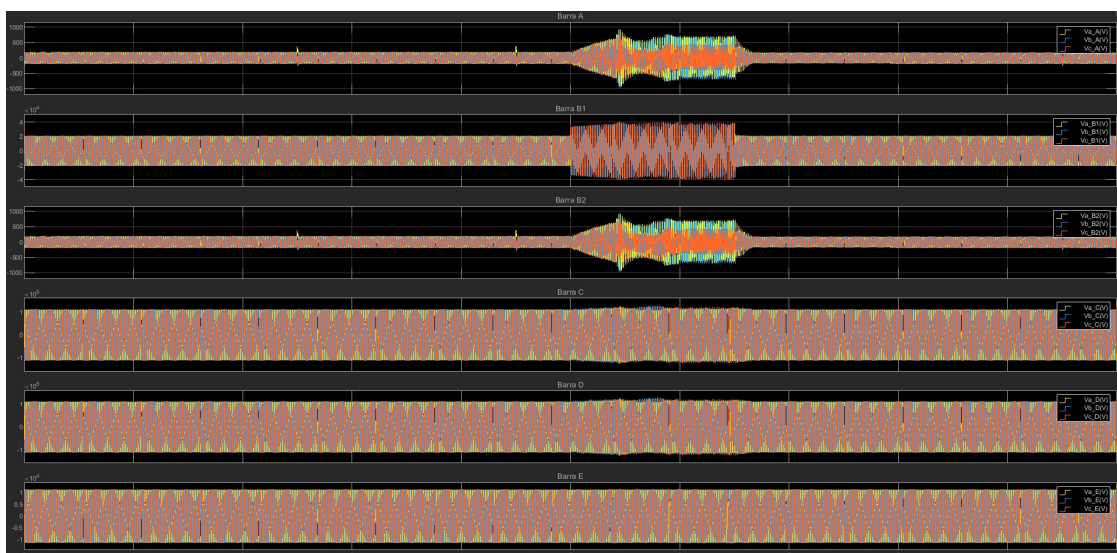


Figura 39: Tensão nas barras do sistema para o curto fase-terra.

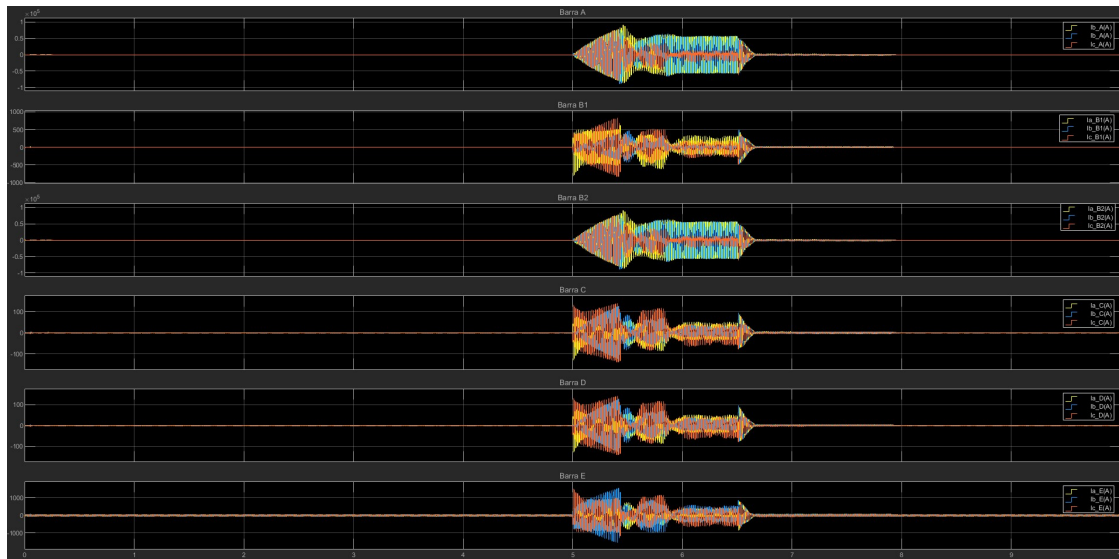


Figura 40: Corrente nas barras do sistema para o curto fase-terra.

Por fim, é possível ver que o curto fase-terra tem uma magnitude menor, e o sistema consegue suportá-lo pelo período em que foi aplicado. Por consequência, os níveis de potência fornecida pelo grid voltam ao normal em menos de meio segundo, enquanto o sistema fotovoltaico se recupera em cerca de 1,5 segundos, enquanto no caso anterior de curto na carga os painéis não cessaram o funcionamento em nenhum momento.

- Agora, a análise de curto será feita supondo que o evento ocorreu na rede de transmissão, ou seja, antes do transformador de abaixador como na imagem a seguir:

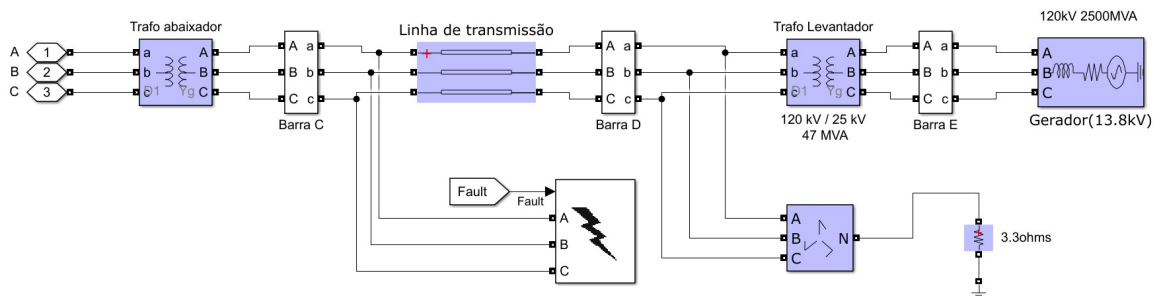


Figura 41: Local de aplicação do curto-circuito.

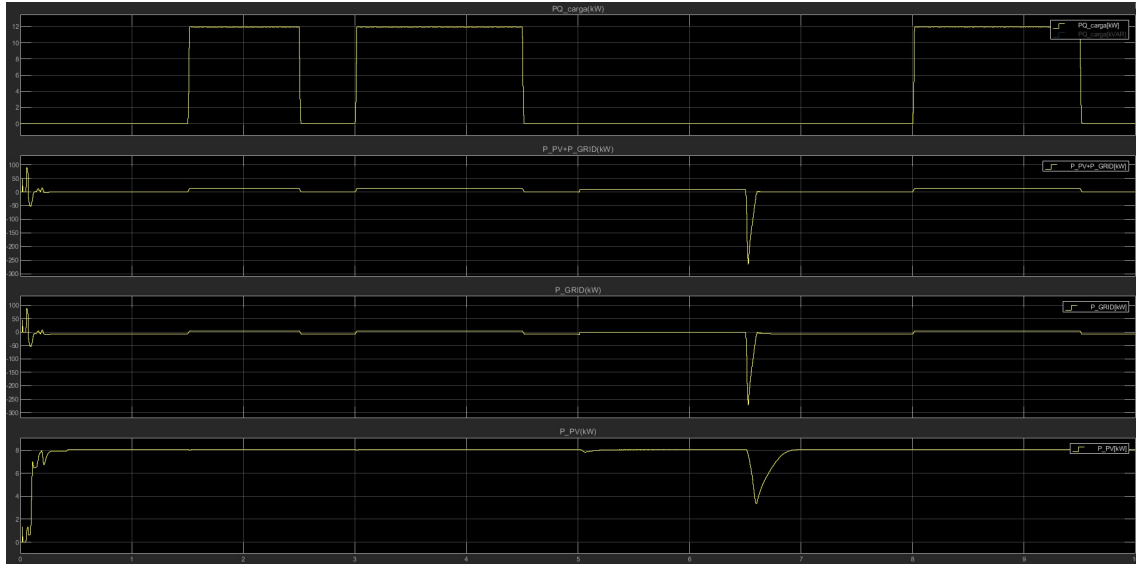


Figura 42: Potências no sistema para o curto trifásico.

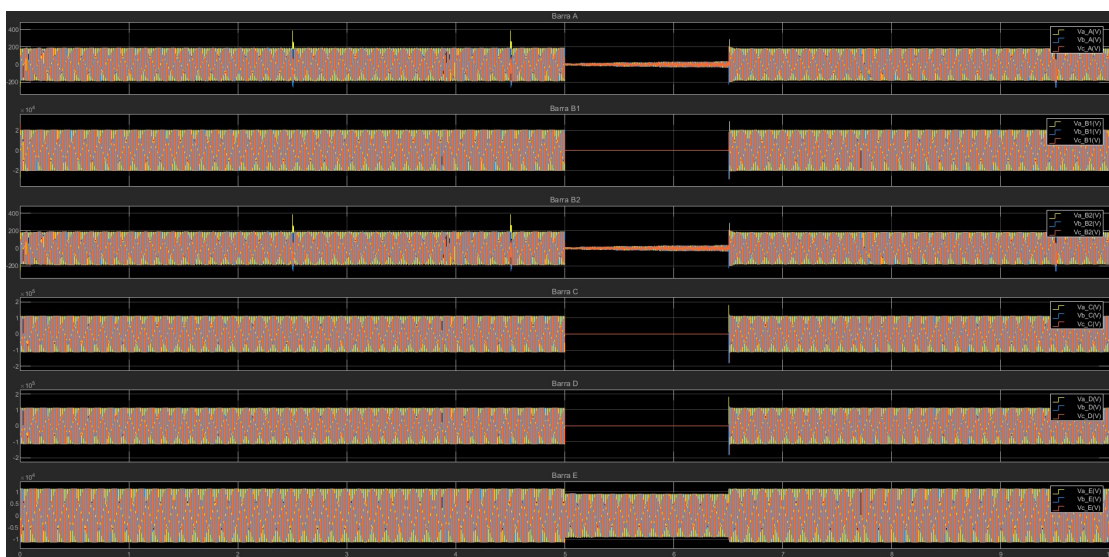


Figura 43: Tensão nas barras do sistema para o curto trifásico.

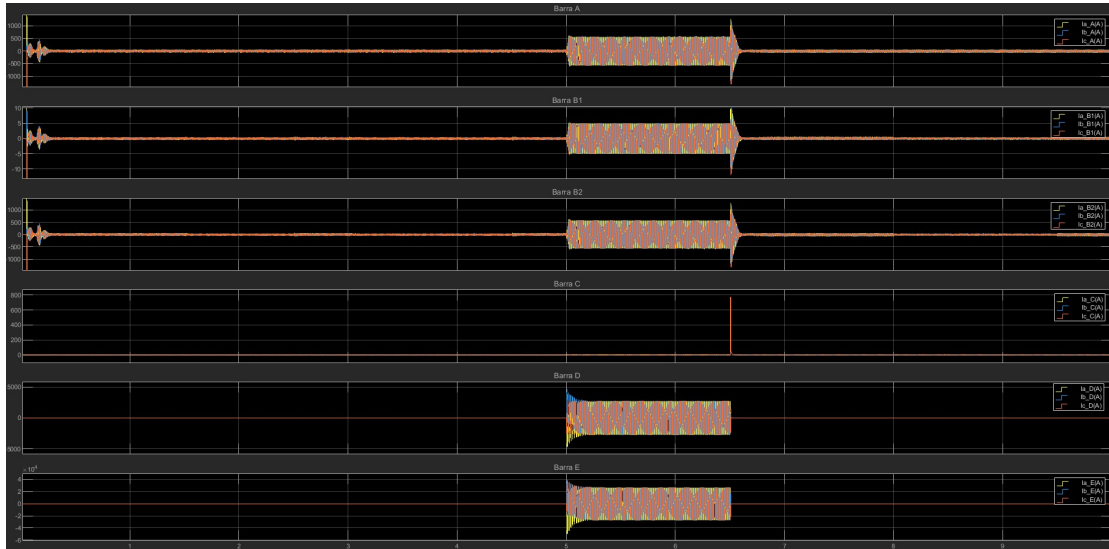


Figura 44: Corrente nas barras do sistema para o curto trifásico.

Pelo gráfico de corrente, é possível ver que em forma as barras tem comportamentos parecidos com exceção da barra C, que é a adjacente ao ponto de curto em direção à carga. Ela sofre um pico absurdo logo que o curto é extinto, fazendo com que a grandeza nas barras à jusante em direção à carga praticamente dobre, e mesmo assim o sistema se recupera e demonstra robustez. A tensão sofre grande queda nas barras B1, C e D, apesar de haver um transformador entre B1 e C, o efeito ainda foi bastante considerável após o transformador abaixador. No gráfico de potência, com exceção da queda da potência das placas solares logo ao término do curto mas que rapidamente se recuperou, não houveram grandes acontecimentos.

- Agora, será aplicado um curto bifásico, entre as linhas "b" e "c" em contato com a terra:

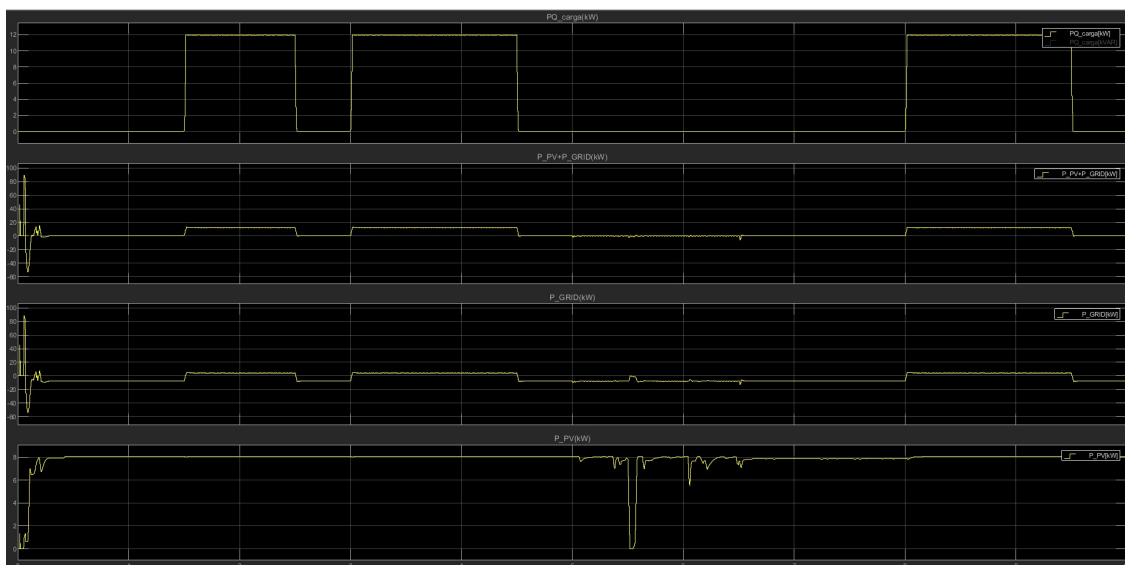


Figura 45: Potências no sistema para o curto bifásico.

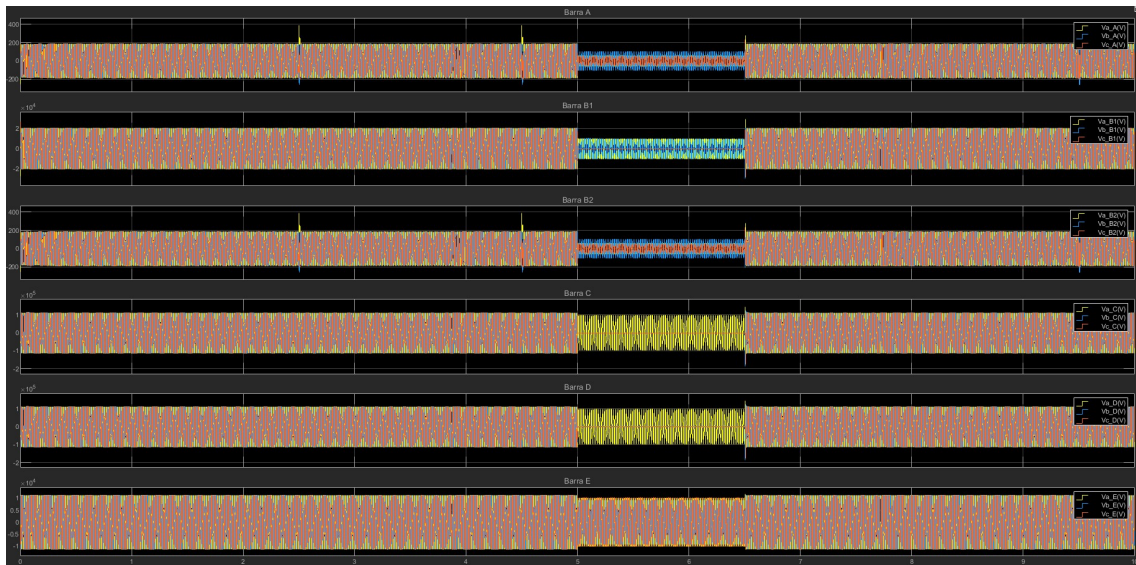


Figura 46: Tensão nas barras do sistema para o curto bifásico.

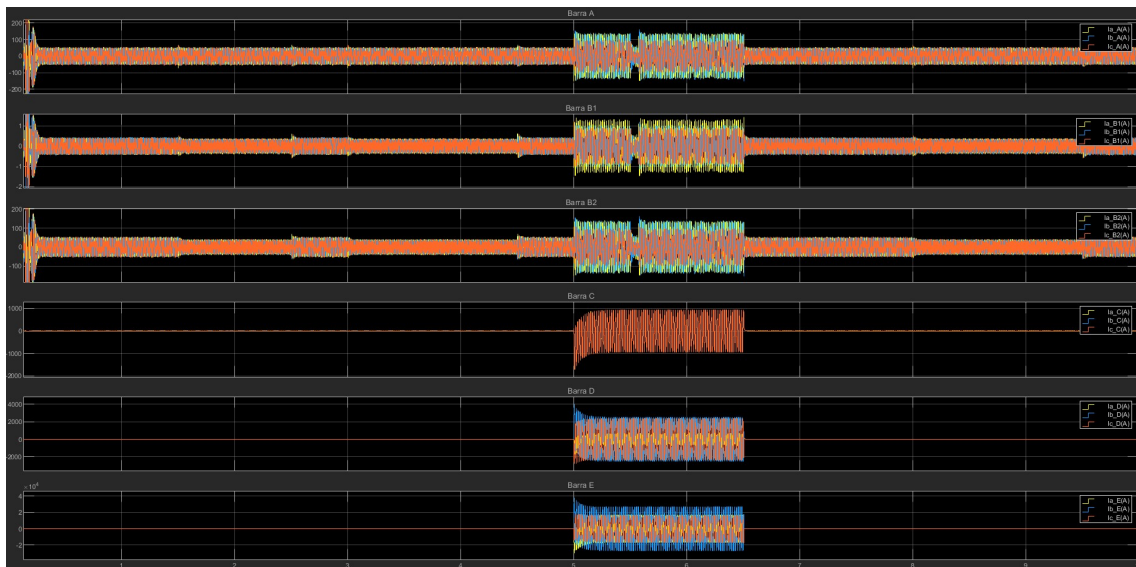


Figura 47: Corrente nas barras do sistema para o curto bifásico.

Agora o curto bifásico teve, em forma, comportamento parecido com o trifásico. Novamente, o sistema teve rápida recuperação e voltou a funcionar normalmente após o curto, retornando aos valores pré-falta.

- Agora será aplicado um curto fase-terra, utilizando a fase "a":

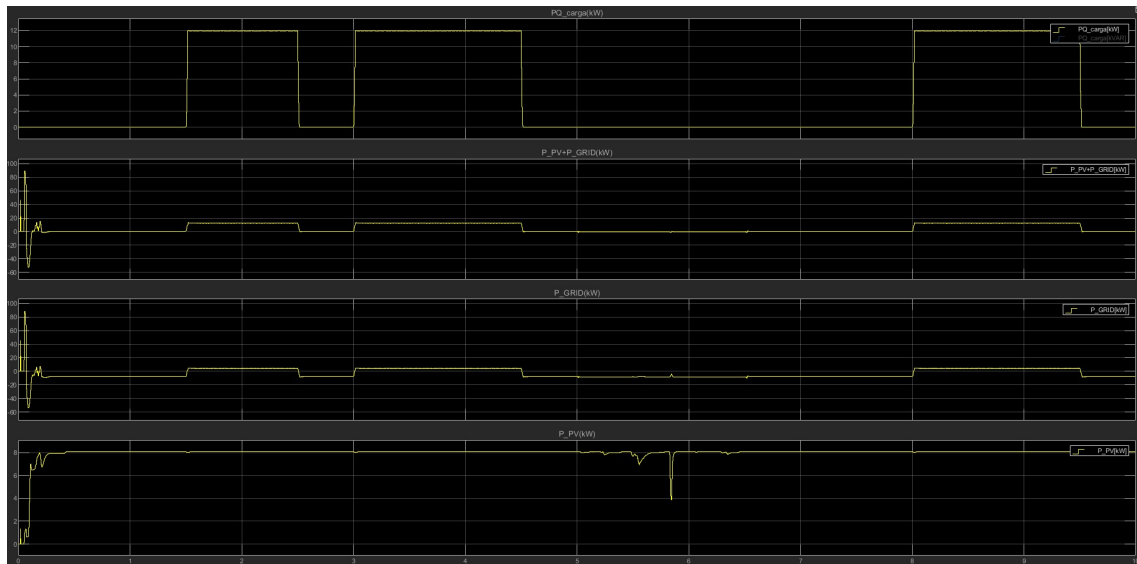


Figura 48: Potências no sistema para o curto fase-terra.

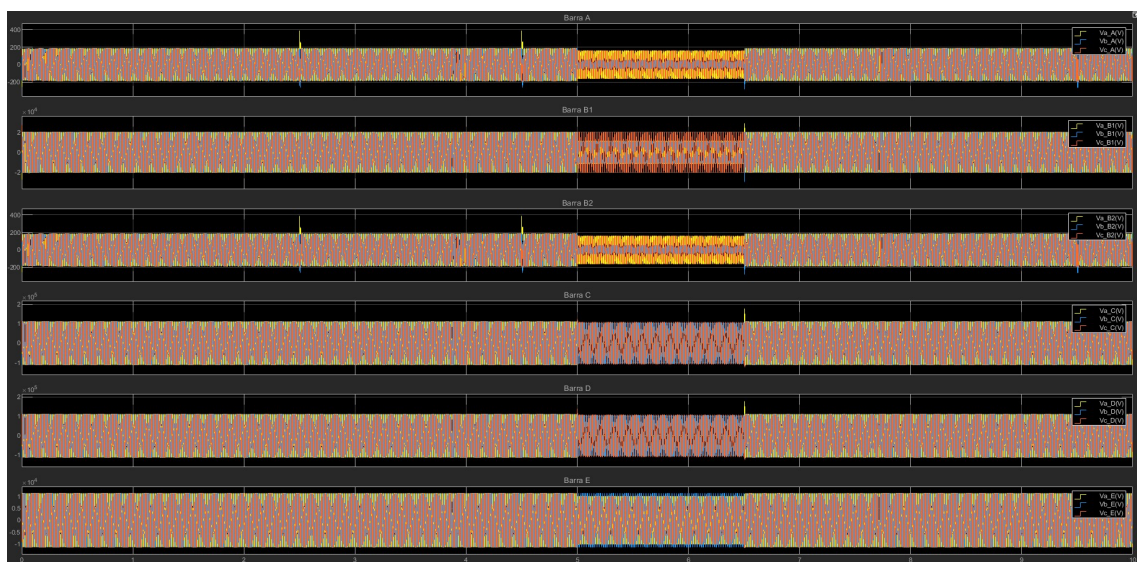


Figura 49: Tensão nas barras do sistema para o curto fase-terra.

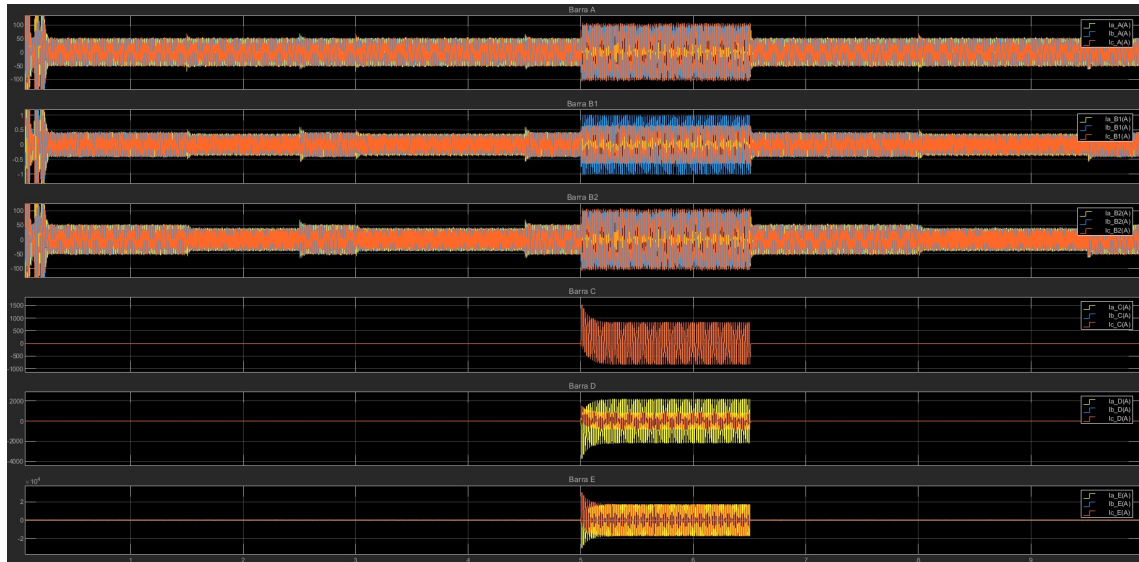


Figura 50: Corrente nas barras do sistema para o curto fase-terra.

No geral, nenhuma das magnitudes de curto fez com que o sistema fotovoltaico parasse de funcionar por um tempo considerável. Provavelmente pela distância e pela presença de transformadores entre o ponto de falta e os painéis, o efeito foi bastante amenizado e quase não foi percebido pelas placas solares. Desta forma, o sistema foi mais robusto quando comparado a um curto na rede de distribuição.

4 Conclusão

O objetivo desse trabalho era realizar simulações que representassem um modelo HEMS (Home Energy Management System) e verificar como funciona o fluxo de potência das principais partes do sistema: malha elétrica e painéis solares, além de estudar a reação do sistema em cada uma das situações simuladas à diferentes níveis de curtos em diferentes partes do sistema.

Para alcançar uma forma mais didática, os experimentos foram feitos de forma linear, ou seja, do modelo mais simples para o mais complexo. Inicialmente, o sistema era composto da malha elétrica e da carga, em seguida foi adicionado o sistema fotovoltaico e por fim a bateria. Conseqüentemente, devido à complexidade desses modelos foi necessário verificar o funcionamento dos sistemas de controle, como o MPPT, VSC, PWM e conversor Boost e assim melhor desenvolver o projeto. Foram adicionadas barras de medição nos pontos importantes do sistema para que houvesse melhor controle do funcionamento do mesmo, além de auxiliar, por exemplo, a análise de curto em cada parte do conjunto.

Importante ressaltar também que o sistema é invariante no tempo, no sentido de que se as mesmas configurações foram implementadas, o resultado será o mesmo. Este sistema é fictício, com objetivo apenas de demonstrar a teoria ideal, visto que por exemplo as perdas no sistema não são representadas. Dessa forma, uma implementação possível para torná-lo mais real seria desenvolver uma forma de computar estas perdas ao longo do sistema, sejam em linhas de transmissão, equipamentos gerais ou transformadores, trazendo resultados mais fidedignos à realidade e torná-lo mais funcional fora do ambiente acadêmico.

De acordo com as simulações apresentadas neste documento, a área mais "perigosa" seria a rede de distribuição, em que tanto curtos bifásicos e trifásicos causaram um grande aumento de potência no sistema e a dificuldade da volta do sistema fotovoltaico dentro do período de simulação mesmo após o término do curto-circuito. Desta forma, um estudo futuro de proteção para este modelo de simulação pode trazer benefícios para entender melhor a forma como se pode prevenir problemas na rede originados por um curto. Também, a inserção de uma bateria pode trazer ainda mais benefícios para o aprendizado de como funciona um sistema fotovoltaico completo, onde durante a incidência solar a bateria seria carregada pelos painéis, e à noite essa carga seria utilizada pelo consumidor, podendo gastar menos com o uso da energia da rede, e dependendo da situação ainda pode injetar energia na rede à pedido da concessionária.

Referências

- [1] Grid-Connected PV Array [Online]. Disponível: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/34752-grid-connected-pv-array>
- [2] Como funciona o Pannel Solar Fotovoltaico [Online]. Disponível: <https://www.portalsolar.com.br/como-funciona-o-pannel-solar-fotovoltaico.html>
- [3] A modified Incremental Conductance Based Photovoltaic MPPT Charge Controller [Online]. Disponível : <https://ieeexplore.ieee.org/document/8679308>
- [4] História da eletricidade. [Online]. Disponível: [https://www.sofisica.com.br/conteudos/HistoriaDaFisica/historiadaeletricidade.php#:~:text=Foi%20descoberta%20por%20um%20fil%C3%B3sofo,%C3%A9lektron\)%20surgiu%20o%20nome%20eletricidade.](https://www.sofisica.com.br/conteudos/HistoriaDaFisica/historiadaeletricidade.php#:~:text=Foi%20descoberta%20por%20um%20fil%C3%B3sofo,%C3%A9lektron)%20surgiu%20o%20nome%20eletricidade.)