

Projeto e Simulação de um Controlador Fuzzy para BT-STATCOM Monofásico ^{*}

Laila S. Ribeiro ^{*} Domingos Sávio L. Simonetti ^{**}

^{*} *Laboratório de Eletrônica de Potência e Acionamento Elétrico,
Universidade Federal do Espírito Santo, ES, (e-mail:
laila.sindra@gmail.com).*

^{**} *(e-mail: d.simonetti@ele.ufes.br)*

Abstract: The design and simulation of a fuzzy controller to a multilevel static compensator (STATCOM) connected to a low-voltage grid is presented, operating in order to maintain the power factor always close to unity. An H-bridge with a T cell in one of the legs is used as a DC-AC converter in the compensator. It is described the operation principle of the STATCOM and details of the controller's design, such as fuzzy sets and rules created. Operations with loads of several natures and intensities were simulated and in all of them, the controller presented a good performance, confirming its applicability along with the STATCOM in power factor control.

Resumo: É apresentado o projeto e simulação de um controlador fuzzy para um compensador estático (STATCOM) multinível conectado à rede de baixa tensão, atuando na manutenção do fator de potência sempre próximo da unidade. Uma ponte monofásica com célula T em uma das pernas é utilizada como conversor CC-CA no compensador. São descritos o princípio de operação do STATCOM e detalhes do projeto do controlador, como os conjuntos fuzzy e regras criadas. Operações com cargas de diversas intensidades e naturezas foram simuladas e em todas elas o controlador apresentou bom desempenho, confirmando sua aplicabilidade junto ao STATCOM no controle de fator de potência.

Keywords: STATCOM; fuzzy; distributed generation, multilevel converter; PWM; power factor control.

Palavras-chaves: STATCOM; fuzzy; geração distribuída, conversor multinível; PWM; controle de fator de potência.

1. INTRODUÇÃO

A Geração Distribuída (GD) está crescendo nos últimos anos. Considerando apenas energia solar, a geração mundial passou de 0,3 bilhões de kWh em 1989 para 700 bilhões em 2019 (EIA, 2020). A expectativa é que esse crescimento da GD continue, com a capacidade instalada mundial passando de aproximadamente 184 GW em 2020 para 436 GW em 2027, segundo informações de GVR (2020). Em sua maioria, os recursos de GD proveem serviços básicos, como fonte de energia ativa. Todavia, para garantir operação confiável de sistemas elétricos a nível de transmissão, serviços auxiliares são necessários, como potência reativa, controle de tensão e compensação de perdas (Xu et al., 2021). Portanto, convém explorar funcionalidades adicionais de conversores CC-CA que são comumente utilizados como interface entre a GD e a rede elétrica, entre elas o controle de reativos.

O excesso de potência reativa fluindo em sistemas de distribuição provoca aumento de perdas nas linhas e em equipamentos como transformadores e religadores. Portanto, a potência reativa deve ser reduzida para diminuir as perdas e melhorar a regulação de tensão. Com a redução de reativos, aumenta-se a capacidade do sistema para entregar

potência ativa e também se reduz a queda de tensão no circuito.

Para manter os reativos em níveis aceitáveis no sistema elétrico brasileiro, o artigo 95 da Resolução Normativa Nº 414 da ANEEL (ANEEL, 2010) determina que o valor mínimo de fator de potência, indutivo ou capacitivo, para as unidades consumidoras do grupo A é de 0,92. O fator de potência mede a relação entre a potência ativa e aparente que flui no ponto de medição e pode ser de natureza capacitiva ou indutiva. Quando seu valor é mais próximo de 1 têm-se mais potência ativa e menos potência reativa na composição da potência aparente. Complementarmente, a distribuidora de energia define um período consecutivo de 6 horas, entre 23h30min e 6h30min, no qual é cobrado excedentes de reativos apenas quando o fator de potência for inferior a 0,92 capacitivo. Nos outros períodos do dia, haverá cobrança somente se o fator de potência for abaixo de 0,92 indutivo.

A maior parte das instalações consumidoras de energia elétrica apresenta comportamento indutivo, motivo pelo qual é comum utilizar bancos de capacitores, fixos ou chaveados, em instalações consumidoras e em alguns pontos das linhas de distribuição, para compensar o excesso de energia reativa, evitando o pagamento de multas. Entretanto, o uso de bancos de capacitores possui alguns aspectos negativos

^{*} Agradecemos à FAPES pelo apoio financeiro.

como a produção de transientes durante a conexão e o fato de não serem capazes de consumir energia reativa.

Uma outra opção para o controle de reativos sem os aspectos negativos dos bancos de capacitores é o uso de conversores controlados operando como elementos reativos. Esses dispositivos são chamados de STATCOM (STATIC COMPensator) (Hingorani e Gyugyi, 2000) e podem ser controlados para apresentar comportamento semelhante a capacitores ou indutores variáveis, no ponto de conexão com a rede. Embora inicialmente os equipamentos STATCOM tenham sido aplicados a instalações industriais, a expansão do consumo elétrico levou a sua aplicação também em sistemas elétricos, a princípio no sistema de transmissão e posteriormente também na distribuição primária. Recentemente, com o aumento da conexão de unidades de geração distribuída de pequeno porte na distribuição secundária, também tem-se explorado seu uso na baixa tensão CA (IEEE, 2018).

Neste artigo, são mostrados projeto e simulações (utilizando o software MATLAB/Simulink[®]) de um controlador Fuzzy para um STATCOM que opera conectado à rede de baixa tensão. Portanto, será denominado BT-STATCOM. A seção 2 deste texto apresenta a descrição do BT-STATCOM, da rede e das cargas utilizadas na simulação. Em seguida, a seção 3 aborda o projeto do controlador fuzzy. Os resultados das simulações são mostrados na seção 4, e as conclusões obtidas na seção 5.

2. DESCRIÇÃO DO BT-STATCOM, REDE E CARGAS

2.1 Princípio de Funcionamento do STATCOM

A conexão do STATCOM à rede pode ser simplificada pelo diagrama da Fig. 1, onde V_S é a tensão da rede, V_I é a tensão do STATCOM e X_L é a impedância de acoplamento entre os elementos.

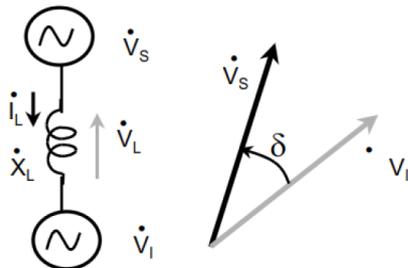


Figura 1. Esquema da conexão do STATCOM à rede.

As potências ativa e reativa que são fornecidas pela rede, em regime, podem ser calculadas através de (1) e (2), respectivamente. Para que o STATCOM atue como indutor ou capacitor variável, faz-se com que V_I esteja em fase com V_S , de modo que o ângulo δ seja nulo. Assim, a potência ativa absorvida pelo STATCOM é nula e a potência reativa é proporcional à diferença $|V_S| - |V_I|$.

$$P_S = \frac{V_S V_I}{X_L} \sin(\delta) \quad (1)$$

$$Q_S = \frac{V_S}{X_L} (V_S - V_I) \cos(\delta) \quad (2)$$

A Fig. 2 apresenta o diagrama obtido considerando δ nulo e as possíveis relações entre os módulos de V_S e V_I . Quando estão com módulos iguais, o STATCOM está flutuando (Fig. 2a). O comportamento indutivo ou capacitivo do dispositivo ocorre nas situações expressas na Fig. 2b e 2c, respectivamente. Em 2b, o dispositivo absorve potência reativa da rede ($Q_S > 0$) e em 2c o STATCOM fornece potência reativa à rede ($Q_S < 0$). Portanto, é possível controlar a quantidade de energia reativa que o equipamento absorve ou injeta através do controle do módulo de sua tensão V_I .

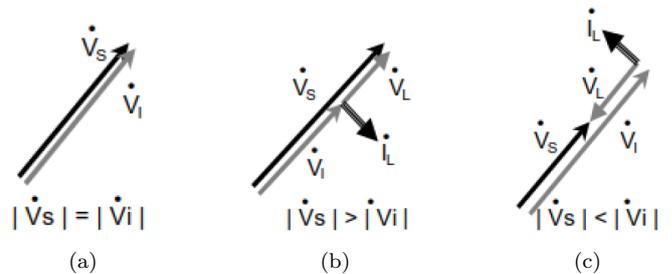


Figura 2. Diagramas fasoriais com tensão do STATCOM em fase com a rede.

2.2 Sistema simulado

O diagrama do sistema simulado está representado na Fig. 3. Nela estão destacadas as partes que compõe o BT-STATCOM. Dentre elas, o conversor CC-CA é responsável por gerar a tensão V_I , mencionada na seção 2.1 e o filtro LCL que desempenha a função tanto de filtro de harmônicos como a da impedância de acoplamento X_L da Fig. 1. O controlador fuzzy foi projetado para atuar sobre o índice de modulação de amplitude utilizado na aplicação da técnica de modulação por largura de pulso (PWM), que determina as chaves a serem acionadas durante a operação do conversor CC-CA. As modificações no índice de modulação permitem alterar o módulo de V_I e controlar o fator de potência (FP) no ponto de conexão. Neste ponto também é detectado o cruzamento por zero da tensão da rede, usado para sincronizar a tensão gerada do conversor CC-CA com a tensão no ponto de conexão. O método de detecção por zero verifica se o valor da tensão trocou de sinal negativo para positivo e gera um pulso que sinaliza o cruzamento.

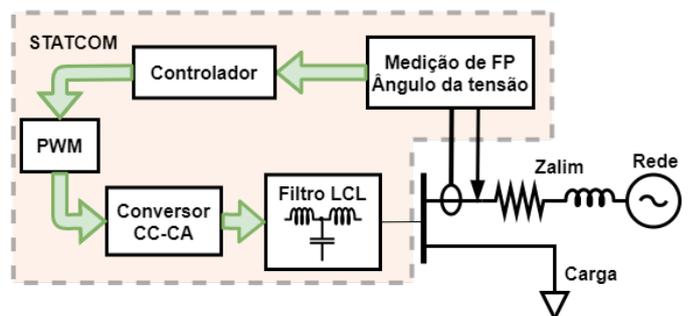


Figura 3. Diagrama do sistema simulado.

A topologia escolhida para formar o conversor CC-CA é uma ponte monofásica com célula T (PMCT), proposta originalmente por Hinga et al. (1994), mostrada na Fig.

4. Este conversor possui 5 níveis de tensão de saída e o acionamento das chaves para cada faixa de valores da tensão é conforme mostrado na Tabela 1. A Fig. 5 exibe a tensão de saída do conversor e permite observar os 5 níveis mencionados. Vale ressaltar que o uso de um conversor multinível não é mandatório para a aplicação em um STATCOM. Entretanto, apesar do aumento na complexidade do acionamento das chaves, seu uso traz benefícios como menor injeção de harmônicos na rede e redução dos esforços nas chaves, permitindo também a redução do tamanho do filtro de saída (Rodríguez et al., 2002).

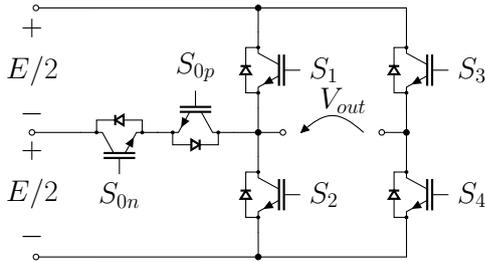


Figura 4. Ponte monofásica com célula T.

Tabela 1. Estados das chaves em cada faixa de V_{out} .

Faixa de tensão	S_{0p}	S_{0n}	S_1	S_2	S_3	S_4
$0 \leq V_{out} \leq E/2$	On	Off	Off	On	Off	On
$E/2 \leq V_{out} \leq E$	On	On	Off	Off	Off	On
$-E/2 \leq V_{out} \leq 0$	Off	On	On	Off	On	Off
$-E \leq V_{out} \leq -E/2$	Off	Off	On	On	On	Off

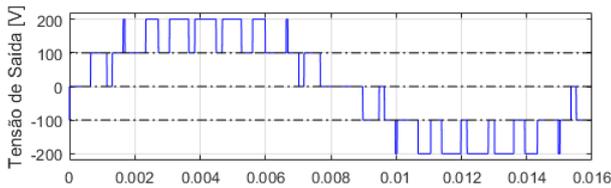


Figura 5. Tensão de saída do conversor CC-CA.

Técnicas PWM são comumente aplicadas para acionamento de chaves em conversores (Rashid e Kumar, 2014). A modulação utilizada neste trabalho consiste em um PWM com referência senoidal e múltiplas portadoras em oposição de fase, testado por Agelidis et al. (1997). As portadoras e a referência da modulação são apresentadas na Fig. 6.

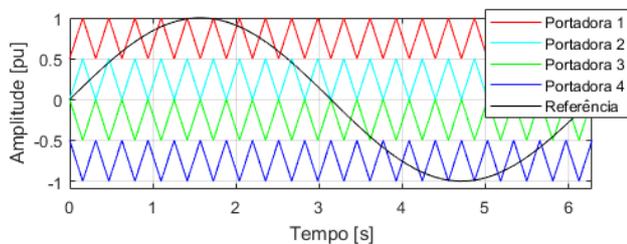


Figura 6. PWM com múltiplas portadoras em oposição de fase.

O filtro LCL que compõe o BT-STATCOM foi projetado com base na metodologia proposta no trabalho desenvolvido por Reznik et al. (2014), sendo que uma estratégia similar foi utilizada anteriormente por Liserre et al. (2005). A utilização do filtro reduz a quantidade de harmônicos

de chaveamento injetados na rede, prejudiciais para o funcionamento de diversos dispositivos (IEEE, 2014). A topologia do filtro é mostrada na Fig. 7 e o respectivo diagrama de Bode na Fig. 8. No diagrama, destaca-se o efeito da inserção do resistor de amortecimento R_f , cuja função é atenuar o pico da magnitude que aparece na frequência de ressonância. A função de transferência do filtro, que é razão entre a corrente de saída com a tensão de entrada, é mostrada em (3).

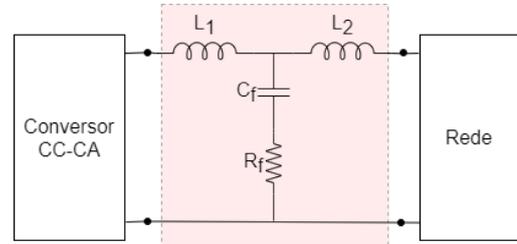


Figura 7. Topologia do Filtro LCL.

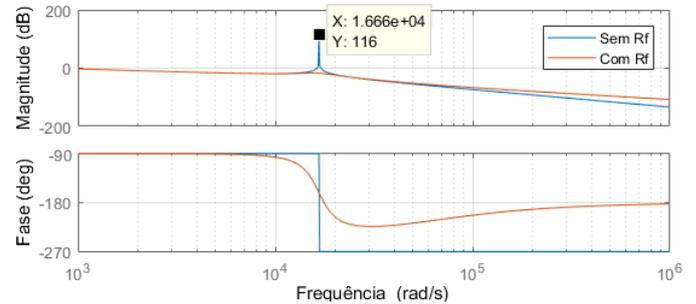


Figura 8. Resposta ao degrau do filtro LCL com e sem a resistência de amortecimento R_f .

$$H_{LCL}(s) = \frac{C_f R_f s + 1}{L_1 C_f L_2 s^3 + C_f (L_1 + L_2) R_f s^2 + (L_1 + L_2) s} \quad (3)$$

A Tabela 2 apresenta valores adotados para diversos parâmetros do sistema, como potência nominal ($Q_{STATCOM}$), tensão da rede (V_{REDE}), frequência da rede (f), frequência de chaveamento do conversor (f_{SW}), tensão de alimentação CC (E) e a impedância do alimentador (Z_{alim}). Também apresenta os valores de indutância, capacitância e resistência dos componentes do filtro LCL, a frequência de ressonância do filtro (f_{RES}) e a frequência de amostragem dos sinais de tensão e corrente usados para calcular o fator de potência ($f_{amostra}$). Esta frequência corresponde ao passo de simulação utilizado.

Tabela 2. Parâmetros do sistema

Parâmetro	Valor	Parâmetro	Valor
E	200V	L_1	1,26mH
V_{REDE}	127V	C_f	33 μ F
f	60Hz	R_f	0,12m Ω
f_{SW}	8400Hz	L_2	0,6 Ω
$Q_{STATCOM}$	4kvar	f_{RES}	2650,85Hz
Z_{alim}	0,105 \angle 35 $^\circ$ Ω	$f_{amostra}$	100kHz

O intervalo de medição do fator de potência do sistema é de 200ms. Este valor foi escolhido com base no item 9.1.3.1 do módulo 8 do PRODIST (ANEEL, 2022), que estabelece que os valores eficazes para a medição de tensão

em regime permanente podem ser calculados por meio de amostras coletadas em janelas sucessivas compreendendo uma sequência de 12 ciclos (200ms) a 15 ciclos (250ms). Assim, o tempo de 200ms (12 ciclos) foi adotado como período de acúmulo de energia para o cômputo do fator de potência e também para ação do controlador.

Nas simulações realizadas foram considerados 4 tipos de cargas: puramente resistiva; resistiva e indutiva; resistiva e capacitiva; e resistiva alimentada por um retificador (não-linear). Os 4 tipos de cargas também possuem 3 intensidades diferentes: leve, média e pesada. Os valores das cargas estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3. Cargas consideradas

Intensidade	FP por tipo de carga			Retificador ($P_{SAÍDA}$)
	R	RL	RC	
Leve - 1kW	1	0,71	0,71	1kW
Média - 5kW	1	0,8	0,8	5kW
Pesada - 10kW	1	0,75	0,75	10kW

3. CONTROLADOR FUZZY

A lógica nebulosa, popularmente conhecida pelo termo em inglês fuzzy, tem como uma das características mais fortes a capacidade de incorporar o raciocínio de um especialista à saída do sistema fuzzy. Isto é observado tanto na modelagem das entradas e saídas do sistema quanto na base de regras que estabelece as relações entre os conjuntos de entrada e de saída. Como o controlador baseado em lógica fuzzy processa regras definidas pelo projetista, estas podem ser facilmente modificadas para melhorar ou alterar a performance do sistema (Prasad et al., 2016).

O tipo de sistema adotado neste projeto foi o Mamdani em que são definidos conjuntos fuzzy no universo de saída (como é feito com as entradas) e a aplicação de cada regra resulta em um desses conjuntos (Mamdani e Assilian, 1975). Outro tipo de sistema fuzzy comum é o Takagi-Sugeno, no qual o resultado de cada regra é uma função das entradas (Takagi e Sugeno, 1985). Dubois e Prade (1994) apresentam algumas ferramentas matemáticas para manipulação de conjuntos fuzzy e aplicações da teoria. Entre as definições necessárias para manipulação dos conjuntos estão as escolhas dos métodos a serem utilizados para operações E, OU, implicação, agregação e defuzzificação. É comum utilizar as funções mínimo ou produto para as operações E e Implicação e as funções máximo ou OU PROBABILÍSTICO para as operações OU e Agregação. A Tabela 4 apresenta um resumo dos métodos escolhidos para o controlador fuzzy projetado.

Tabela 4. Métodos utilizados neste trabalho para as operações com conjuntos fuzzy

Operação	Método	Operação	Método
E	Mínimo	Agregação	Máximo
Implicação	Mínimo	Defuzzificação	Centroide
OU	Máximo		

3.1 Conjuntos fuzzy

Foram escolhidas 3 entradas para a formulação da lógica de controle: energia reativa (E_r); fator de potência (f_p);

índice de modulação anterior (m). A saída do controlador foi definida como a variação no índice de modulação (dm) do conversor CC-CA. A Tabela 5 resume as variáveis envolvidas e granularidades dos conjuntos criados.

Tabela 5. Conjuntos Fuzzy

Tipo	Variável	Granularidade
Entrada	Energia Reativa (E_r)	7
	Fator de Potência (f_p)	4
	Índice de modulação anterior (m)	3
Saída	Varição no índice de modulação (dm)	9

A energia reativa é acumulada a cada 200ms e posteriormente utilizada para cálculo do fator de potência. Após algumas simulações, percebeu-se que o sistema era mais sensível a cargas leves, apresentando maiores variações no fator de potência para uma mesma variação de índice de modulação, quando a potência das cargas era de baixo módulo. Por este motivo, os conjuntos criados para a energia reativa são mais estreitos próximo a zero, conforme mostrado na Fig. 9.

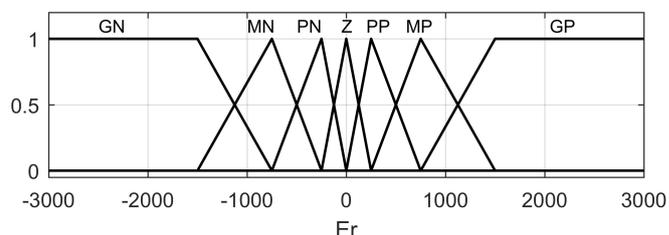


Figura 9. Conjuntos fuzzy definidos para a energia reativa.

Para o fator de potência a filosofia adotada foi de mantê-lo acima de 0,92, conforme a norma brasileira. Adicionalmente, a fim de que o BT-STATCOM não opere próximo ao seu limite de potência sem que haja necessidade, foi incluído um conjunto fuzzy de f_p muito alto, que é utilizado em conjunto com a variável m nas regras para avaliar este tipo de situação. A Fig. 10 apresenta os conjuntos utilizados para o f_p e a Fig. 11 para m . Por fim, a saída do controlador é definida como conjuntos triangulares, uniformemente distribuídos, mostrados na Fig. 12.

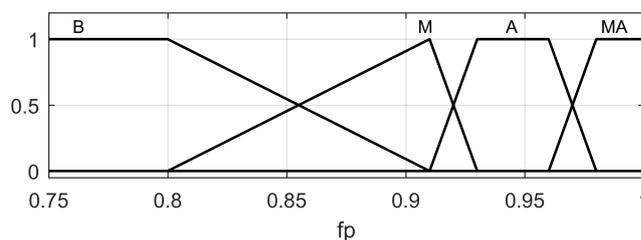


Figura 10. Conjuntos fuzzy definidos para o fator de potência.

3.2 Base de Regras

Ao todo foram criadas 30 regras para o controlador. 15 delas têm o objetivo de levar ou manter o fator de potência alto (conjunto A) enquanto que as outras 15 são aplicadas quando o f_p é muito alto (conjunto MA) para que o STATCOM não processe muita potência sem necessidade, evitando o consumo exagerado das fontes CC que

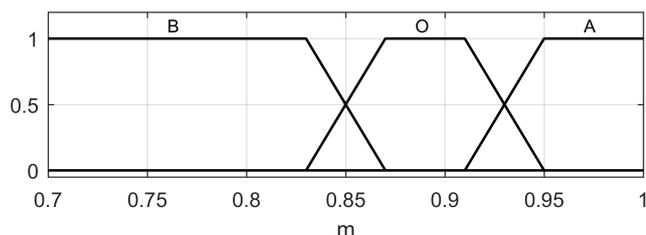


Figura 11. Conjuntos fuzzy definidos para o índice de modulação anterior.

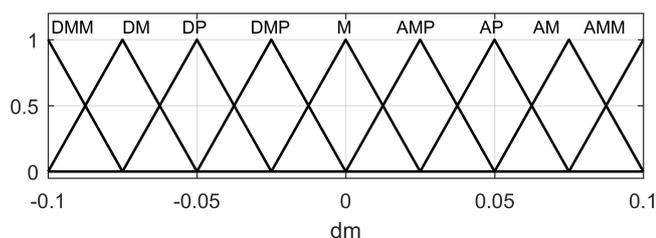


Figura 12. Conjuntos fuzzy definidos para a variação no índice de modulação.

alimentam o STATCOM. Para elevar o fp até A, a filosofia consiste em observar o fp e Er e então decidir se o índice de modulação deverá ser aumentado ou diminuído, e também se essa variação deve ser intensa ou um ajuste leve. Por exemplo, se o fp for baixo (conjunto B) e Er for grande e positivo (conjunto GP), então significa que a carga no ponto de acoplamento está muito indutiva. Neste caso, é necessário, aumentar muito o índice de modulação, para que o BT-STATCOM apresente comportamento capacitivo (conjunto de saída AMM). Entretanto, se Er for pequeno e positivo (conjunto PP), então a carga é levemente indutiva e embora o fp seja baixo, um aumento pequeno (conjunto AMP) deve ser feito no índice de modulação para que o BT-STATCOM apresente um comportamento levemente capacitivo e eleve o fp. As regras adotadas são apresentadas na Tabela 6. Nas regras em que símbolo “-” aparece, este representa que o valor da entrada não importa para a regra.

Tabela 6. Regras criadas

n°	Entradas			Saída	n°	Entradas			Saída
	m	fp	Er	dm		m	fp	Er	dm
1	-	B	GN	DMM	16	B	MA	GN	AP
2	-	B	MN	DP	17	B	MA	MN	AP
3	-	B	PN	DMP	18	B	MA	PN	AMP
4	-	B	Z	M	19	B	MA	Z	AMP
5	-	B	PP	AMP	20	B	MA	PP	AP
6	-	B	MP	AP	21	B	MA	MP	AM
7	-	B	GP	AMM	22	B	MA	GP	AMM
8	-	M	GN	DM	23	O	MA	-	M
9	-	M	MN	DP	24	A	MA	GN	DP
10	-	M	PN	DMP	25	A	MA	MN	DP
11	-	M	Z	M	26	A	MA	PN	DMP
12	-	M	PP	AMP	27	A	MA	Z	DMP
13	-	M	MP	AP	28	A	MA	PP	DP
14	-	M	GP	AM	29	A	MA	MP	DM
15	-	A	-	M	30	A	MA	GP	DMM

4. RESULTADOS OBTIDOS

Uma amostra da tensão na saída do conversor, antes do filtro LCL, e da corrente injetada na rede, pode ser ob-

servada na Fig. 13. A corrente apresenta formato senoidal bem definido e a tensão apresenta 5 níveis.

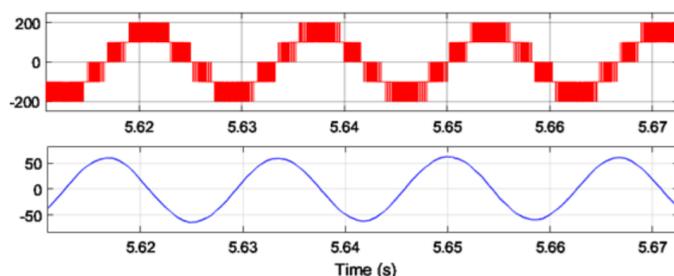


Figura 13. Tensão (em vermelho) e corrente (em azul) na saída da PMCT.

Para avaliar a distorção harmônica da corrente da rede quando o inversor está conectado, é mostrada a Fig. 14. A carga conectada nesta simulação é uma carga RL leve e observa-se que a distorção harmônica total (THD) obtida é de 1.36%.

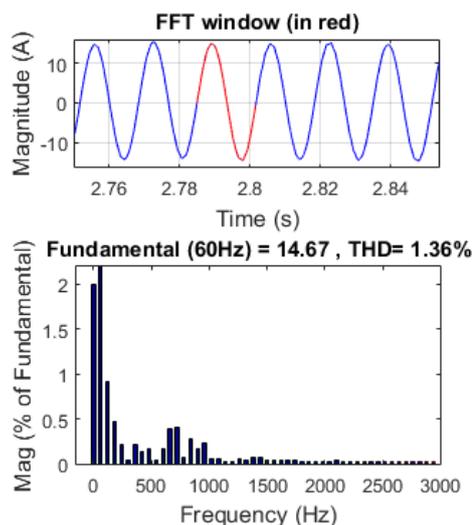


Figura 14. THD da corrente da rede com uma carga RL leve.

As simulações com os diversos tipos de cargas, definidas na Tabela 3, foram realizadas da seguinte maneira: inicialmente o sistema opera apenas com a carga conectada (sem o STATCOM) e no instante 0,6s insere-se o STATCOM, com índice de modulação inicial de 0,89. Como a amostragem ocorre a cada 200ms, um ponto de atenção ao observar estes gráficos é que os efeitos da atuação do dispositivo são observados após decorrido esse tempo.

O comportamento do dispositivo com cargas indutivas é mostrado na Fig. 15. Antes da ação do controle, observa-se que o fp estava abaixo do limite de 0,92 estabelecido pela norma brasileira. No instante de amostragem seguinte ao início do funcionamento do STATCOM, o fp já atingiu valores adequados para todas as intensidades de cargas testadas.

Para as cargas capacitivas, mostradas na Fig. 16, o controle também teve bom desempenho ao elevar o fator de potência após apenas 1 tempo de amostragem para a carga leve e 2 períodos para as cargas média e pesada.

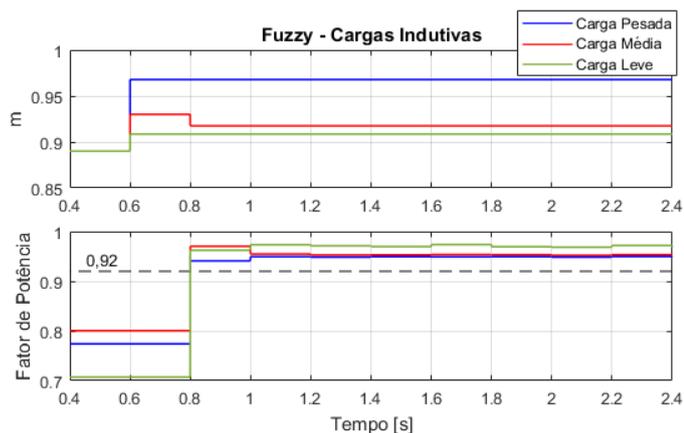


Figura 15. Controle de fp para cargas indutivas.

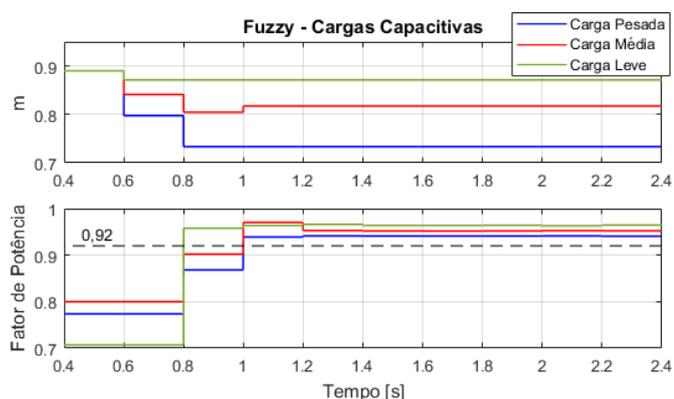


Figura 16. Controle de fp para cargas capacitivas.

As cargas média e pesada ligadas com retificador apresentam natureza levemente capacitiva no ponto de conexão com a rede, enquanto que a carga leve apresenta natureza resistiva. Nos casos das cargas leve e média, o fp já se encontrava acima de 0,92 antes da atuação do STATCOM. Para a carga pesada, assim como no caso das cargas capacitivas, o dispositivo elevou o fp após 2 períodos de amostragem. Esses resultados são mostrados na Fig. 17.

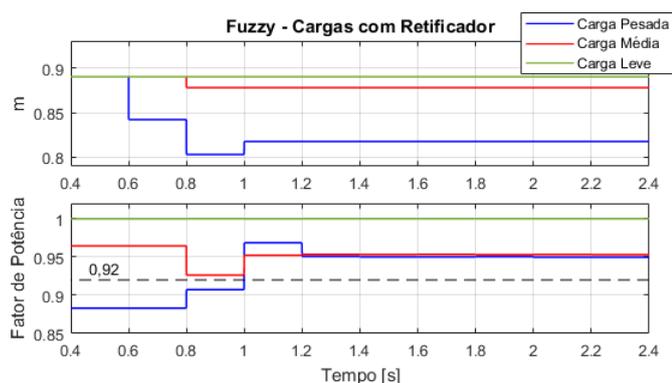


Figura 17. Controle de fp para cargas com retificador.

O BT-STATCOM também apresentou bom desempenho no controle de fp ao simular a troca das cargas conectadas. Neste teste, o sistema funciona inicialmente com carga resistiva leve e, em seguida, troca-se para carga capacitiva pesada, indutiva pesada, carga com retificador pesada e, por fim, carga indutiva leve, sempre operando por 1,5 segundo em cada carga. Na Fig. 18, observa-se que a

correção é feita em no máximo 0,8s para as variações adotadas.

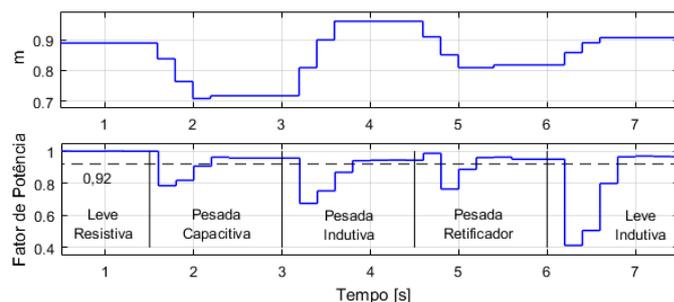


Figura 18. Desempenho do BT-STATCOM com variação de cargas.

5. CONCLUSÕES

Neste artigo, foi apresentado o projeto e simulação de um controlador fuzzy para um STATCOM conectado à rede de baixa tensão. O BT-STATCOM é composto por um conversor CC-CA de 5 níveis, cuja topologia é de ponte monofásica com célula T, com modulação PWM em oposição de fase. Também foi adicionado um filtro LCL no dispositivo. A corrente na saída do conversor possui forma de onda senoidal bem definida. Vale ressaltar também que a conexão do inversor não provoca alta distorção na corrente da rede, que fica com 1,36% de THD no teste realizado com carga RL leve.

O controlador fuzzy foi projetado com 3 entradas e sua saída é a variação no índice de modulação. Todas as funções pertinência dos conjuntos criados e as 30 regras adotadas foram mostradas ao longo do texto.

Foram simuladas operações com cargas de diversas intensidades e naturezas resistiva, indutiva, capacitiva e não-lineares (conectadas através de um retificador). Em todas elas o controlador apresentou bom desempenho, pois a sua operação elevou o fp acima de 0,92 em menos de 400ms, quando partindo a partir do estado de flutuação. A sua atuação em trocas de carga também foi boa, elevando o fator de potência em no máximo 800ms nos testes apresentados.

Os resultados obtidos mostram que o controlador baseado em lógica fuzzy é totalmente adequado ao uso de controle de fator de potência através de STATCOM, como proposto.

REFERÊNCIAS

- Agelidis, V., Baker, D., Lawrance, W., e Nayar, C. (1997). A multilevel PWM inverter topology for photovoltaic applications. In *ISIE '97 Proceeding of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, volume 2, 589–594 vol.2. doi:10.1109/ISIE.1997.649027.
- ANEEL (2010). Resolução normativa ANEEL. no 414, de 09 de setembro de 2010.
- ANEEL (2022). Procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional - PRODIST, módulo 8 - qualidade da energia elétrica.
- Dubois, D.J. e Prade, H.M. (1994). *Fuzzy sets and systems*. Academic Press.

