CONTROLADOR LOCAL DE BALANCEAMENTO DE CARGA PARA μGRIDS

José R. Sicchar*, Carlos T. da Costa Jr.†, José R. Silva‡

*1. Escola Superior de Tecnologia, Universidade do Estado do Amazonas
Av. Darcy Vargas, 1200, Parque Dez, CEP 69050-020, C. Postal 61, Manaus, AM, Brasil

†2. ITEC, Depto. de Eng. Elétrica, Universidade Federal do Pará
Av. Augusto Corrêa, 01 CEP 66075-900, Guamá, Belém, PA, Brasil

‡3. Design Lab, Depto. de Eng. Mecatrônica, Universidade de São Paulo
Av. Prof. Melo Morais, 2231, CEP 05508-900a, Butantã, SP, Brasil

Emails: jvilchez@uea.edu.br, cartav@ufpa.br, reinaldo@usp.br

Abstract— This article presents the results of a local controller for load balancing, in the feeders of the legacy secondary distribution grid. This system is based on a hybrid algorithm with three steps:the electrical current diagnose stage in the consumers units, from some variables such as the energy consumption, and its variation, the energy price and the solar radiation variation, inferred by a Mamdanis' Fuzzy system; the consumption forecast stage in the consumption units based on Markov chains, and performs the energy future consumption for twelve months;the load transfer stage between the grid feeders, which allows a new arrangement for switching overloaded consumers' feeders to the secondary less loaded grid feeders. Based on the results obtained, its possible to automate the analyze and scheduled of the energy consumption process to the final consumer and to guarantee efficiently the equilibrium state in the low-voltage grid feeders.

Keywords— Urban micro-grids, Load balancing, Fuzzy systems, Markov chains.

Resumo— Este artigo apresenta os resultados de um controlador local de balanceamento de carga, nas fases da rede de distribuição secundária legada. O sistema é composto por um algoritmo híbrido de três etapas: a etapa de diagnóstico de consumo de corrente nas unidades consumidoras, em função de variáveis como medição, variação de consumo, preço de energia e a variação de radiação solar, inferidos por um sistema Fuzzy Mamdani; a etapa de previsão de consumo de energia nas unidades consumidoras, baseado em cadeias de Markov que projeta o consumo de energia em doze meses; e a etapa de transferência de carga entre as fases da rede, permitindo um novo arranjo de comutação de fases sobre-carregadas do consumidor às fases da rede secundária menos carregadas. Com os resultados obtidos é possível automatizar o processo de análise, programação de consumo de energia nos consumidores finais, e garantir eficientemente o estado de equilibrio nas fases da rede secundária.

Palavras-chave— Micro-redes urbanas, Balanceamento de Carga, Sistemas Fuzzy, Cadeias de Markov.

1 Introdução

Nos circuitos da rede secundária de distribuição legada, observa-se que há um processo de modernização na sua estrutura no sentido de automatizar suas operações e serviços com a finalidade de melhorar não somente a qualidade da energia fornecida mas também os serviços inerentes ao consumidor final, conforme as diretrizes sugeridas no contexto das redes elétricas inteligentes ou smart grids (SG), evidenciando-se no mundo um constante processo de adapatação e evolução do sistema elétrico como um todo (Colak et al., 2016).

Nesse contexto, o recente surgimento das micro-redes ou micro-grids como pequenos sistemas de auto-geração de energia do consumidor, tem marcado um novo paradigma tornando-o um "prosumer, um agente ativo capaz de produzir também sua própria energia elétrica para consumo mas também para venda ou injeção no sistema de distribuição de energia elétrica, (Mariam et al., 2016).

Assim, uma nova estrutura tem aparecido no setor urbano, ou rede secundária:as micro-redes elétricas urbanas, ou apenas microgrids urbanas onde pode ser gerenciada entre outras operações, a energia consumida e a energia produzida pela unidade consumidora final (Mariam et al., 2016). Este sistema conta com um sub-sistema central de controle chamado de controlador central de microgrids (CCMG) (Reddy et al., 2014) para controlar os harmônicos, e o grau de defasagem entre a corrente injetada e a corrente da rede, (Mariam et al., 2016) bem como a comutação de cargas entre as fases da rede (Shahnia et al., 2014), ambos os procedimentos são uma solução interessante e eficiente para o problema de desbalanceamento entre as fases da rede secundária e das unidades consumidoras.

Entretanto, a injeção de corrente na rede vindas das microgrids ainda se torna uma solução onerosa para sua implementação em massa na rede secundária, principalmente pelo estado incipiente de politicas de desenvolvimento de microgrids aplicadas no setor urbano (Nunna et al., 2016).

Por outro lado, o balanceamento das fases da rede secundária, por meio da **reconfiguração automática de fases** (RAF) (Siti et al., 2011) é uma alternativa eficiente e viável para implementação em massa nos circuitos de baixa tensão.em função do seu baixo custo de aplicação e alta eficiência de operação.

A RAF identifica a faixa de carga de uma fase sobre-carregada para ser transferida à uma fase com menos nível de carga, e através de um diagnóstico ou processo de otimização de corrente e carga (Siti et al., 2011) ou tensão e carga (Shahnia et al., 2014), são selecionadas as unidades consumidoras (UC) para comutação à outra fase da rede, dependendo do tipo de ligação das mesmas.

Entretanto, o procedimento de otimização da RAF, não considera o nível de balanceamento das fases das UC, nem a projeção futura de consumo de energia ou de carga, fatores que se tornam interessantes ao grau de resilência da solução de balanceamento final das fases da rede secundária, em função de perturbações de pico de tensão e corrente fornecida pela rede.

Torna-se interessante então realizar o diagnóstico e projeção futura de consumo de energia, e carga das UC, para ter um critério de seleção eficiente no processo de balanceamento de fases da rede, e no gerenciamento de consumo de energia dos consumidores por parte do CCMG, o que pode permitir o desenvolvimento de serviços inteligentes, como a venda de pacotes customizados de energia e a programação de consumo entre outros.

Este artigo propõe um sistema de controle de balanceamento de carga nas fases da rede secundária, baseado na inferência do consumo de carga em cada fase, e também no diagnóstico de consumo e previsão de energia das UC. O sistema é um algoritmo híbrido de três etapas: a etapa de diagnóstico de consumo de energia nas fases das UC, a previsão de energia nas UC e, a inferência de transferência de carga nas fases da rede.

Com os resultados almeja-se melhorar a precisão e eficiência do balanceamento de fases da rede secundária. Estabelecendo um processo automatizado, confiável e integrado, com base no consumo de carga das fases da rede e da energia futura dos consumidores finais. O sistema é um controle alternativo de balanceamento de cargas no CCMG, para microgrids urbanas.

O artigo segue na segunda seção com a explanação da metologia proposta. Na terceira seção explana-se a arquitetura do sistema de controle proposto. Na quarta seção são apresentados os resultados de simulação e as discussões. Na última seção apresentam-se as conclusões e sugestões de trabalhos futuros.

2 Metodologia Proposta

A contribuição do artigo é estabelecer um algoritmo de balanceamento de cargas na rede secundária legada, que integre e automatize a análise de consumo das UC. Esperando-se como resultado o balanceamento de cargas eficiente e resiliente, em função do perfil de consumo e previsão de energia nas fases do consumidor.

A proposta parte do modelo de gerenciamento de consumo de energia para unidades consumidoras de baixa tensão, proposta pelos autores (Sicchar et al., 2015), onde foram desenvolvidos:um sub-sistema de diagnóstico de consumo de corrente nas fases numa máquina de inferência Fuzzy Mamdani, a partir de variáveis internas (consumo e variação de consumo de energia), e variáveis externas (grau de radiação solar e preço da energia) e; um sub-sistema de previsão baseado em cadeias de Markov que projeta o consumo de energia durante 12 meses nas fases do consumidor.

O resultado final indica o diagnóstico de consumo mensal, mostrando o nível de balanceamento das fases (comutação ou não comutação). Esses dois sub-sistemas formarão a etapa de diagnóstico de consumo (EDC) e, a etapa de previsão de consumo (EPC) respectivamente do sistema proposto. Seu resultado será a informação do sistema de seleção de comutação de fases, do processo de balanceamento de carga.

A etapa ou sub-sistema de transferência de carga (ETC) é baseada numa máquina de inferência Fuzzy Mamdani, que seleciona a faixa de potência para transferência de uma carga sobrecarregada a uma fase da rede menos carregada (Siti et al., 2011).

A implementação de validação por simulação será aplicada num circuito da rede secundária, na cidade de Manaus, comparando-se três soluções empregadas pela concessionária local, com a solução do sistema proposto.

3 Arquitetura do Sistema CBC

Na Figura 1 mostra-se a arquitetura do sistema proposto, denominado sistema de controle de balanceamento de carga (CBC) nas fases de microgrids urbanas; o mesmo é formado por algoritmos híbridos e tem tres etapas ou sub-sistemas: EDC, EPC, e ETP respectivamente.

A EDC e EPC processam em ambientes computacionais diferenciados, o diagnóstico de consumo do nível de corrente elétrica e a previsão de consumo futuro de energia respectivamente, nas fases do consumidor. Dando à *Interface de Gerenciamento de Consumo* (IGC) a matriz de consumo futuro de energia, onde se têm adicionalmente a situação mensal de balanceamento de cada fase.

A ETC infere a faixa de carga para transferência (no caso de fases sobre-carregadas) ou para recepção (no caso de fases menos carregadas). O resultado vai à IGC, além da matriz de comutação das fases das UC às fases da rede. Logo, a IGC transfere ao *Smart Meter* o fluxo resultante da ETC,para implementação pelo CCMG.

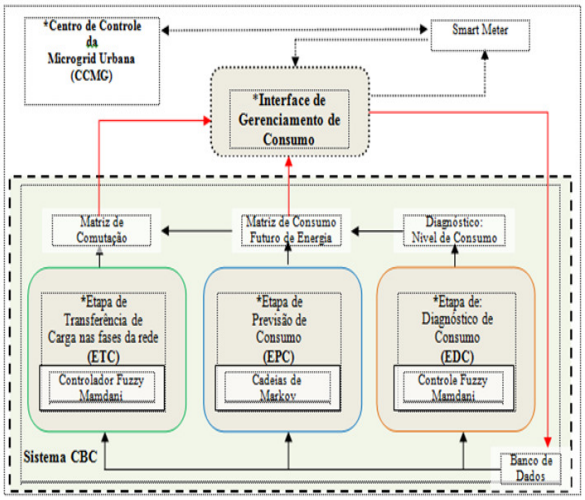

Figura 1: Arquitetura do Sistema CBC.

3.1 *Etapa de Diagnóstico de Consumo*

A Figura 2 mostra o modelo da EDC como um sistema Fuzzy Mamdani com quatro entradas: consumo de energia (CE), variação de consumo (energia) (VC), variação da radiação solar (VR) e, variação do preço de energia (VP).

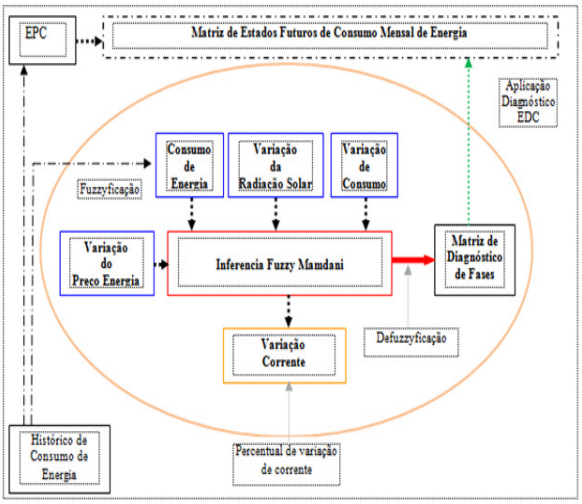

Figura 2: Etapa de Diagnóstico de Consumo.

A saída é a variação de corrente (VI) e indica as condições limites do seu consumo nas UC, as quais se aplicam na EPC para gerar a matriz de consumo futuro de energia.

3.2 *Etapa de Previsão de Consumo*

A Figura 3, mostra o modelo da EPC que projeta o consumo futuro da energia mensal nas fases das UC, a partir da dinâmica de transição dos estados com "π_{ij}" probabilidades (de "n" saltos) de asserção nos estados discretos de consumo de energia (baixo, médio e alto).

Com as "i" probabilidades de transição do estado de consumo anterior "X(k)" se atinge um novo estado de consumo "X(k+n)", com probabilidade de salto "j", como indica a equação 1.

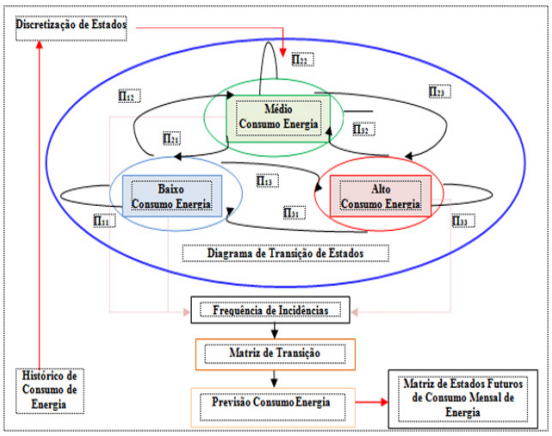

Figura 3: Etapa de Previsão de Consumo.

$$C_{\pi_{ij}}{}^{(n)} = P\{X(x+n) = j | X(k) = i \quad onde: C_{F_{\pi_{ij}}}{}^{(n)} \geq 0 \tag{1}$$

O consumo futuro de energia é obtido com um algoritmo de previsão baseado no método de Chalpman-Kolmogorov (Sicchar et al., 2015)

3.3 *Etapa de Transferência de Carga*

A Figura 4 mostra o modelo da ETC, via um sistema Fuzzy Mamdami de uma entrada "*Carga*"e uma saída "*Transferência de Carga*". O resultado indica a faixa de carga necessária para balanceamento nas fases da rede secundária.

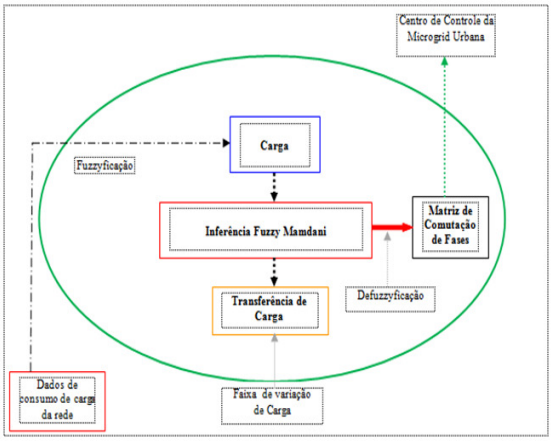

Figura 4: Etapa de Transferência de Carga.

4 Resultados de Simulação

Nesta seção apresentamos os resultados de simulação de validação do sistema DPT. Foram utilizados o toolbox *Fuzzy* do ambiente *Matlab* 2009 para o desenvolvimento da EDC e ETC, e o ambiente *Matchcad* 14 para a programação da EPC.

4.1 Validação nas fases das UC

Para a validação da EDC e EPC foram considerados os dados de consumo mensal de uma unidade consumidora trifásica no período de 2005-2009 de um circuito da rede secundária, em Manaus.

- `Resultados da EDC`: Seguindo o modelo da *Seção 3.1* e as regras de inferência das entradas do sistema (CE, VC, VR, VP) com a saída a variação de corrente (VI) (Sicchar et al., 2015) foram obtidas os percentuais limites para VI em função do nível de consumo de energia: baixo consumo de energia-BCE (100 kwh), médio consumo de energia- MCE (165 Kwh) e, alto consumo de energia-ACE (240 Kwh) como se indica na Tabela 1.

Tabela 1: Limites da corrente elétrica nas fases de UC Trifásica

Nível de Consumo	Variação de corrente(%)
BCE	$> 0,3$
MCE	$> 0,3$
ACE	$> 0,3$

- `Resultados da EPC`: Aplicando-se o modelo da Seção 3.2 e os dados das séries diferenciadas de consumo, geraram-se doze saltos à frente dos 48 meses de base para a previsão dos doze meses seguintes (Sicchar et al., 2015).

Tabela 2: Matriz de Consumo Futuro-Fase A

Mês	EPC	VC	VR	VP	VI	Diag
J	BCE	0	$0,1$	$0,2$	$< 0,3$	Ñ com
F	MCE	0	$0,1$	$0,1$	$< 0,3$	Ñ com
M	MCE	3	$0,1$	$0,2$	$< 0,3$	Ñ com
A	MCE	3	$0,2$	$0,1$	$< 0,3$	Ñ com
M	MCE	5	$0,2$	$0,1$	$< 0,3$	Ñ com
J	MCE	10	$0,3$	$0,1$	$< 0,3$	Ñ com
J	MCE	15	$0,3$	$0,2$	$< 0,3$	Ñ com
A	MCE*	35	$0,4$	$0,3$	$> 0,3$	Com
S	MCE*	36	$0,4$	$0,3$	$> 0,3$	Com
O	MCE*	37	$0,4$	$0,3$	$> 0,3$	Com
N	MCE	22	$0,3$	$0,3$	$< 0,3$	Ñ com
D	MCE	30	$0,2$	$0,3$	$< 0,3$	Ñ com

Na Tabela 2 apresenta-se a *Matriz de Consumo Futuro da Fase A*, observándo-se os resultados da **EPC** na sua segunda coluna, estando em asterisco, as previsões que não acertaram o estado verdadeiro, sendo neste caso alto consumo de energia (ACE) e não médio consumo de energia (MCE).Contudo, as faixas de variação encontradas para VC, VR, e VP, inferem um valor para VI para o diagnóstico final do nível de balanceamento de carga nas fases da UC. Na última coluna desta tabela indica-se a situação de balanceamento em cada fase das UC, onde é aplicado o critério de variação de corrente da **EDC**, havendo duas situações: Comutar (Com) e não comutar (Ñ com). Para as demais fases da UC foi seguido o mesmo critério de desenvolvimento.

Tabela 3: Matriz de Consumo Futuro-Fase B

Mês	EPC	VC	VR	VP	VI	Diag
J	BCE	0	$0,1$	$0,2$	$< 0,3$	Ñ com
F	MCE	0	$0,1$	$0,1$	$< 0,3$	Ñ com
M	MCE	22	$0,1$	$0,3$	$< 0,3$	Ñ com
A	MCE	30	$0,2$	$0,3$	$< 0,3$	Ñ com
M	MCE	21	$0,2$	$0,3$	$< 0,3$	Ñ com
J	MCE	22	$0,3$	$0,3$	$< 0,3$	Ñ com
J	MCE	24	$0,3$	$0,3$	$< 0,3$	Ñ com
A	MCE*	44	$0,4$	$0,3$	$> 0,3$	Com
S	MCE*	64	$0,4$	$0,4$	$> 0,3$	Com
O	MCE*	64	$0,4$	$0,4$	$> 0,3$	Com
N	MCE	45	$0,3$	$0,4$	$> 0,3$	Com
D	MCE	22	$0,2$	$0,3$	$< 0,3$	Ñ com

Para as demais fases da UC foi seguido o mesmo critério de desenvolvimento. Na Tabela 3 mostra-se a *Matriz de Consumo Futuro na Fase B*, indicando-se desbalanceamento de carga (Com) nos meses de agosto, setembro, outubro e, novembro e, balanceamento (Ñ com) nos demais meses.

Tabela 4: Matriz de Consumo Futuro-Fase C

Mês	EPC	VC	VR	VP	VI	Diag
J	BCE	0	$0,1$	$0,1$	$< 0,3$	Ñ com
F	MCE	0	$0,1$	$0,1$	$< 0,3$	Ñ com
M	BCE	10	$0,1$	$0,1$	$< 0,3$	Ñ com
A	BCE	10	$0,2$	$0,1$	$< 0,3$	Ñ com
M	BCE	10	$0,2$	$0,1$	$< 0,3$	Ñ com
J	MCE	20	$0,3$	$0,3$	$< 0,3$	Ñ com
J	MCE	20	$0,3$	$0,3$	$< 0,3$	Ñ com
A	MCE	20	$0,4$	$0,3$	$< 0,3$	Ñ com
S	MCE	20	$0,4$	$0,3$	$< 0,3$	Ñ com
O	MCE*	20	$0,4$	$0,3$	$< 0,3$	Ñ com
N	MCE*	20	$0,3$	$0,3$	$< 0,3$	Ñ com
D	BCE	20	$0,2$	$0,3$	$< 0,3$	Ñ com

A Tabela 4 mostra a *Matriz de Consumo Futuro na Fase C*, indicando-se fases balanceadas (Ñ com) em todos os meses.

4.2 Validação de balanceamento de carga na rede

Foi desenvolvido o modelo da *Seção 3.3*. Tendo-se na Tabela 5 o consumo de carga nas três fases secundárias de um transformador de 110 KVA com fator de potência de 0,92 e ligação estrela entre

a rede primária e a secundária. A UC 9 representa (em negrito), a UC trifásica com aplicação da EDC e EPC. A previsão de consumo é considerada na comutação de fases das UC.

Tabela 5: Dados de Consumo de Carga da Rede Secundária por Fase

F_AUC	Kw	F_BUC	Kw	F_CUC	Kw
1	2,0	21	0,6	21	0,5
2	2,3	22	0,1	37	0,1
3	1,6	23	0,6	38	1,3
4	1,2	24	1,0	24	0,8
5	1,0	5	0,6	39	0,2
6	1,8	25	0,1	40	0,6
7	1,8	26	0,1	41	0,1
8	1,5	27	1,5	42	0,1
9	0,7	**9**	0,5	**9**	0,2
10	2,5	28	1,7	43	1,8
11	2,0	29	1,0	44	0,1
12	0,2	30	1,2	45	0,6
13	1,8	31	1,5	46	0,1
14	2,5	32	0,1	47	1,6
15	2,4	33	0,1	48	0,5
16	2,7	34	0,1	49	1,4
17	1,0	17	1,0	17	0,5
18	0,5	35	1,7	50	0,2
19	1,5	36	2,5	51	1,0
20	1,0	20	1,0	20	0,3
F_A	32	F_B	17	F_C	12

O balanceamento absoluto inicial (BAI) entre as fases, é obtido por (2):

$$\frac{BAI}{fase} = \frac{(|F_A - F_B| + |F_B - F_C| + |F_C - F_A|)}{3} = 13,33(Kw) \quad (2)$$

A corrente de neutro I_N é determinada pelas correntes em cada fase, segundo (3):

$$I_N = I_{F_A} + I_{F_B} + I_{F_C} = 38,28(A) \quad (3)$$

Verificando-se desbalanceamento de carga entre as fases da rede secundária.

O modelo da ETC (*Seção 3.3*) é implementado via um controlador Fuzzy Mamdani com uma entrada (Carga) e uma saída (Transferência de Carga) baseado na técnica de (Siti et al., 2011).

A nomenclatura das variáveis de entrada e de saída do sistema são mostradas nas Tabelas 6, 7 e as regras Fuzzy aplicadas no sistema na Tabela 8.

Da Tabela 5 temos a potência de entrada P_{in}

$$P_{in} = \begin{bmatrix} 32 & 17 & 12 \end{bmatrix}^T (Kw) \quad (4)$$

O vetor de potência para transferência de carga obtido pelas regras da **ETC** nas fases é:

$$\triangle P_{Fuzzy} = \begin{bmatrix} -14 & 2 & 8 \end{bmatrix}^T (Kw) \quad (5)$$

Tabela 6: Nomenclatura Fuzzy da entrada

Ent	Desc	Nom Fuzzy	faixa em Kw
1	Extrem Hipo-Carregada	EHC	0 -5
2	Hipo-Carregada	HC	3,8 -9,0
3	Med Hipo-Carregada	MHC	7,3 -13,3
4	Perf Carregada	PC	11,8 -19,3
5	Leve Sobre-Carregada	LSC	16,3 -23,3
6	Med Sobre-Carregada	MSC	21,7 -28,4
7	Sobre-Carregada	SC	21,2 -33,4
8	Forte-Carregada	FSC	32,3 -39,8

Tabela 7: Nomenclatura Fuzzy da Saída

Ent	Desc	Nom Fuzzy	faixa em Kw
1	Subtração Grande	SG	−20,0 à −15,3
2	Subtração	S	−16,5 à -10
3	Subtração Média	SM	−12,9 à 3,6
4	Subtração Leve	SL	−4,9 à 2
5	Adição Perfeita	AP	0 -6
6	Adição Média	AM	5,0 -11,2
7	Adição Grande	AG	10,1 -15,7
8	Adição Super Grande	ASG	15 -20

Entretanto, temos que:

$$\sum \triangle P_{Fuzzy} = -4(Kw) \neq 0 \quad (6)$$

Então é necessário reduzir esse diferencial de potência, em função do erro médio (EM):

$$EM = round\left[\left(\frac{1}{3}\right) \quad \sum \triangle P_{Fuzzy} \right] = -2 \quad (7)$$

O "EM"é usado para obter matriz de erro:

$$\triangle P_{erro} = \begin{bmatrix} EM \\ EM \\ \sum \triangle P_{Fuzzy} - 2 * EM \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2 \\ -2 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Tendo-se finalmente as faixas de transferência corrigidas de potência entre as fases:

$$\triangle P = \triangle P_{Fuzzy} - \triangle P_{erro} = \begin{bmatrix} -12 \\ 4 \\ 8 \end{bmatrix} \quad (9)$$

E assim as fases balanceadas:

$$P_{final} = P_{in} + \triangle P = \begin{bmatrix} 20 \\ 21 \\ 20 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Tabela 8: Regras Fuzzy

Regra	Se entrada	é	então saída	é
1	”Carga”	EHC	”Transf”	ASG
2	”Carga”	HC	”Transf”	AG
3	”Carga”	MHC	”Transf”	AM
4	”Carga”	PC	”Transf”	AP
5	”Carga”	LSC	”Transf”	SL
6	”Carga”	MSC	”Transf”	SM
7	”Carga”	SC	”Transf”	S
8	”Carga”	FSC	”Transf”	SG

A solução obtida foi comparada com três soluções aplicadas pela concessionária (STC1, STC2 e STCO) baseadas em procedimentos com medição em campo.Todas as soluções tornaram ”I_N”nula, mas apenas o CBC atingiu o menor balanceamento absoluto final (BAF) pela inferência implementada na ETC. Para a seleção de comutação das UC se considerou ao invés da medição manual, o estado futuro de consumo de energia das UC monofásicas: 2,10,14,16,18,19 da Tabela 5.

Tabela 9: Desempenho de Balanceamento

Param	P_{in}	STC1	STC2	STCO	CBC
P_{F_A} Kw	32	25	20	22	20
P_{F_B} Kw	17	12	18	19	21
P_{F_C} Kw	12	24	23	20	20
I_N A	38,3	0	0	0	0
BAI Kw	13,3	–	–	–	–
BAF Kw	–	8,7	3,3	2	0,6

A Figura 5(a) mostra a distribuição homogênea de carga nas fases após o balanceamento de carga. O sistema CBC apresenta a melhor distribuição de transferência de carga. Na Figura 5(b) verifica-se pelo boxplot o menor BAF, neste caso atingido pelo sistema CBC (flechas vermelhas).

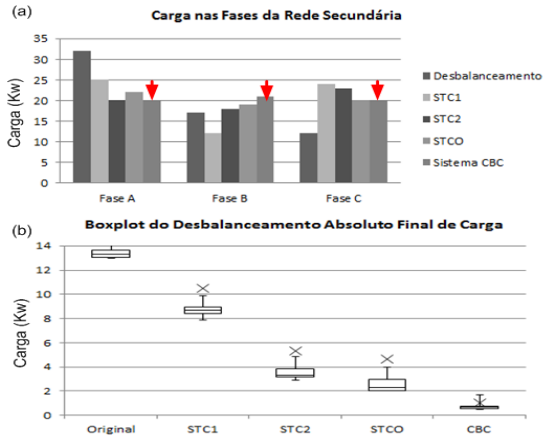

Figura 5: Desempenho do sistema CBC.

5 Conclusões

Foi validado um processo alternativo para balanceamento de cargas nas fases da rede secundária para microgrids urbanas. Obtendo-se a matriz de consumo em cada fase da UC estudada. O sistema foi comparado com três soluções de balanceamento de carga da concessionária, eliminando a corrente de neutro e atingindo o balanceamento eficiente entre as fases. Sugerimos avaliar o efeito da seleção de comutação das UC baseado no consumo futuro de energia com outros métodos que otimizem arranjos de comutação, como redes neurais MLP ou algoritmos genéticos.

Agradecimentos

Os autores agradecem a UEA, USP e UFPA por tornarem possível a realização do trabalho.

Referências

Colak, I., Sagiroglu, S., Fulli, G., Yesilbudak, M. and Covrig, C.-F. (2016). A survey on the critical issues in smart grid technologies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **54**: 396–405.

Mariam, L., Basu, M. and Conlon, M. F. (2016). Microgrid: Architecture, policy and future trends, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **64**: 477–489.

Nunna, H. K., Saklani, A. M., Sesetti, A., Battula, S., Doolla, S. and Srinivasan, D. (2016). Multi-agent based demand response management system for combined operation of smart microgrids, *Sustainable Energy, Grids and Networks* **6**: 25–34.

Reddy, K., Kumar, M., Mallick, T., Sharon, H. and Lokeswaran, S. (2014). A review of integration, control, communication and metering (iccm) of renewable energy based smart grid, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **38**: 180–192.

Shahnia, F., Wolfs, P. J. and Ghosh, A. (2014). Voltage unbalance reduction in low voltage feeders by dynamic switching of residential customers among three phases, *IEEE Transactions on Smart Grid* **5**(3): 1318–1327.

Sicchar, J. R., Da Costa JR, C. T., Silva, J. R. and De Freitas, R. C. (2015). Gerenciamento de consumo de energia em resideências com frame gcr, pp. 1–6.

Siti, W. M., Jimoh, A. and Nicolae, D. (2011). Distribution network phase load balancing as a combinatorial optimization problem using fuzzy logic and newton–raphson, *Electric Power Systems Research* **81**(5): 1079–1087.