

Contribuição ao Estudo de Microgrids Elétricas em Conjuntos Habitacionais: Novas Estratégias de Armazenamento, Geração Distribuída e Contratação de Energia Elétrica

Palavras-Chave: *Microgrid*, Armazenamento de energia, Otimização.

Autores:

Enzo Mendes Buzolin, FECFAU – UNICAMP

Prof. Dr. Alberto Luiz Francato, FECFAU – UNICAMP

INTRODUÇÃO:

As pesquisas sobre as oportunidades comerciais das *microgrids* são recentes. O desenvolvimento das pesquisas associadas ao tema, ainda estão muito associados ao estabelecimento físico dos *microgrids*, com pouca atenção às possibilidades comerciais que tal estrutura pode proporcionar. As *microgrids* têm sido sondadas pela comunidade técnica e científica, uma vez que podem colaborar pela melhor conformação do perfil de demanda a ser atendido pela geração local de energia e complementação do suprimento pela rede básica de distribuição. Desse modo, as pesquisas sobre este tema têm grande valor científico e tecnológico pois seu avanço possibilita maior viabilidade da geração distribuída, contribuindo para a sustentabilidade, que é promovida por menores perdas na transmissão e distribuição. A formação da *microgrid*, com suas interrelações na geração distribuída, armazenamento e compra de energia reforçam o aspecto cooperativo dentro de um conjunto habitacional e assim contribuem para criar uma consciência sustentável e econômica de seus usuários, além de viabilizar ganhos econômicos para os envolvidos.

A prevalência da matriz energética brasileira ainda é dada pela geração de energia por usinas hidrelétricas, sendo que boa parte delas ficam distantes dos pontos de demanda e tornando a transmissão de energia uma parcela custosa do processo. No relatório de 2023 da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), as perdas totais na distribuição representaram aproximadamente 15,75% do mercado consumidor em 2023, e parte dessa perda é repassada aos consumidores. Dentro desses 15,75%, há perdas técnicas relacionadas à transformação de energia elétrica em energia térmica nos condutores (efeito joule), e as perdas não técnicas que é a diferença entre as perdas totais e as perdas técnicas regulatórias. É de interesse dos consumidores, distribuidores e geradores, que as perdas na transmissão sejam minimizadas. A continuidade do uso da energia elétrica pela humanidade passa certamente pela eficiência energética,

onde procurar-se-á pela minimização dos custos de geração, minimização de perdas energéticas e é claro, pela maximização do aproveitamento energético que é feita com o uso racional e eficiente da energia.

Para os consumidores, a cultura do *marketing* energético já se faz presente na agenda de negócios do mercado imobiliário. Certamente uma edificação dotada de infraestrutura de geração de energia é valorizada e, portanto, desperta interesse de compradores. Novas oportunidades são vislumbradas com possibilidades operacionais que uma *microgrid* dotada de bateria de armazenamento e entrada de energia centralizada, de forma a explorar estratégias comerciais de um cliente de porte maior, no caso o conjunto habitacional e, portanto, as possibilidades de repartir os benefícios nesta configuração.

METODOLOGIA:

Na primeira parte deste trabalho de pesquisa, foram estudados a concepção básica de uma *microgrid*, as possibilidades comerciais do mercado de energia e as opções de implementações de novas infraestruturas capazes de potencializar ganhos em eficiência energética e ganhos financeiros. De forma complementar, este trabalho demandou conhecer princípios de funcionamento de baterias, noções de perfis de demanda energética de consumidores residenciais e técnicas numéricas de otimização.

Para segunda parte do projeto, foi necessário estipular o tamanho do conjunto habitacional para estudo de caso, perfil de consumo de energia elétrica dos moradores (Figura 2). A título de aplicação da metodologia deste trabalho, considerou-se uma família típica composta por 4 pessoas. O conjunto conta com 152 lotes e uma área de uso comum. O conjunto habitacional utilizado foi extraído de Barbiero, 2022. A *microgrid* estudada abrange todo o conjunto habitacional e num dos estudos de caso considerou-se uma bateria de grande porte que atende à todo o conjunto. Tal bateria pode fazer balanço de energia tanto com a energia excedente gerada pelos painéis solares nos momentos de pico da geração, como no aproveitamento de oportunidades comerciais com a compra de energia em horários que a tarifa é mais baixa. Vale ressaltar que esse estudo não considera que todas as residências tenham placas fotovoltaicas para geração.

Perfil 1 - Verão		Família 4 - 2 filhos fazem faculdade fora				
Equipamento	Quantidade	Potência	Uso mensal (dia/mês)	Uso diário (hora/dia)	Uso mensal (Horas/mês)	Total (KWh)
Chuveiro elétrico 220V	3	6000	5	1	5	30
Ar-condicionado	4	650	30	12	400	260
75" TV	1	245	30	1	30	7,35
65" TV	1	195	15	1	15	2,925
40" TV	1	75	5	1	5	0,375
32" TV	1	60	20	2	40	2,4
Máquina de lavar	1	1500	12	3	32	48
Forno elétrico	1	1000	20	1	20	20
Máquina de lavar louça	1	1200	20	1	25	30
Computador	1	100	30	8	240	24
Micro-ondas	1	750	30	0,5	15	11,25
Geladeira Duplex	2	180	30	8	480	86,4
Lâmpadas	35	9	30	12	320	2,88
Total						521,80 kWh
Valor						R\$ 353,49

Figura 1 – Simulação da demanda de energia de uma residência composta por 4 membros, considerando que dois deles só estão presentes no final de semana.

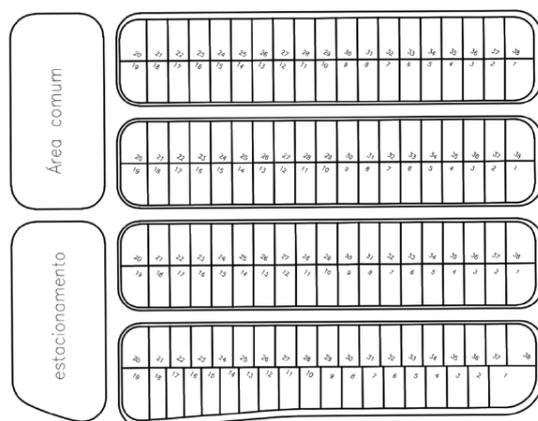


Figura 2 – Esquema fictício de um conjunto habitacional

Fonte: Barbiero (2022)

Foram utilizados dados do LABREN (2017) (Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia) para determinar a média da irradiação solar anual para a cidade de Campinas/SP. Calculou-se a quantidade de energia elétrica gerada por cada placa fotovoltaica, com eficiência da geração das placas solares de 16%.

Para a avaliação da eficiência da *microgrid* no conjunto habitacional construiu-se uma planilha no Microsoft Excel, dotada de recursos de otimização do Solver, no caso com recursos de programação linear. Assim o modelo numérico, baseado na planilha com recursos de otimização, pode desenvolver vários estudos como: a capacidade ideal de armazenamento do conjunto, a opção tarifária mais adequada, a estratégia comercial (compra e venda de energia do conjunto) e também o porte da estrutura de geração solar fotovoltaica total composta pela soma das gerações individualizadas. A expressão a seguir representa a energia total armazenada na bateria, em função das horas. Considerando que os valores do kWh possam ser diferentes ao longo do dia, com o modelo de otimização portanto é possível encontrar os melhores momentos para a energia gerada em excesso ser armazenada ou utilizada e estabelecer as previsões de compra e venda de energia para a distribuidora.

<i>EAB(t)</i> : Energia Armazenada na Bateria	<i>GAC(t)</i> : Geração na área comum
<i>DTC(t)</i> : Demanda Total do Conjunto	<i>ECR(t)</i> : Energia Comprada da Rede
<i>CHE(t)</i> : Compra Hora de Energia	<i>RVE</i> : Receita com Venda de Energia
<i>BE</i> : Balanço Energético	<i>VER</i> : Venda de Energia à Rede
<i>PCE</i> : Tarifa de Compra de Energia	<i>CHE</i> : Custo Horário de Energia
<i>FP</i> : Fator de Perda	<i>FD</i> : Fator de Desconto

$$EAB(t) = EAB(t - 1) * (1 - 2\%) + GAC(t) - DTC(t) - ECR(t)$$

E a fórmula utilizada para calcular o custo é:

$$\sum_{t=1}^{24} (CHE(t) * ECR(t)) + 2\% * EAB(t - 1) * ECR(t)$$

Esse estudo levou em consideração três casos para o calcula da eficiência dessa *microgrid*:

1. Sem placas solar em nenhuma residência e sem bateria para o condomínio;
2. 50 % das casas do condomínio fazem do uso de placas solares e não há bateria;
3. 50 % das casas do condomínio fazem do uso de placas solares e há bateria.

Vale ainda considerar que por se tratar de mercado livre de energia o estudo se faz do uso da Tarifa Branca de energia, tendo seus valores de tarifas na faixa fora de ponta, faixa intermediária e ponta. Seus valores são, respectivamente: R\$ 0,499 por kWh, R\$ 0,724 e R\$ 1,115.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Tendo a média de irradiação solar na cidade de Campinas, sendo ela 4,917 kWh/m². Considerando também uma placa solar de 410 Watts de potência e uma perda de 20% na geração. Temos uma geração mensal de apenas uma placa solar de 48,383 kWh/mês. Assim, o condomínio proposto (Figura 2) tem 152 lotes, ou seja, 152 casa, no entanto será levado em consideração que 76 casas têm placas solares, sendo 11 por cada casa, temos uma geração de 532,213 kWh por mês por casa.

Horas	EAB (kWh)	GAC (kWh)	DTC (kWh)	ECR (kWh)	BE (kWh)	VER (kWh)	PCE	CHE	RVE
0	20,0	0,00	18,0	0,0	2,0	0,0	R\$ 0,499	R\$ -	R\$ -
1	2,0	0,00	20,0	222,1	204,1	0,0	R\$ 0,499	R\$ 110,84	R\$ -
2	200,0	0,00	22,0	0,0	158,0	20,0	R\$ 0,499	R\$ -	R\$ 8,97
3	154,9	0,00	20,0	0,0	41,2	93,6	R\$ 0,499	R\$ -	R\$ 42,05
4	40,4	0,00	20,0	0,0	20,4	0,0	R\$ 0,499	R\$ -	R\$ 0,00
5	20,0	0,00	20,0	0,0	0,0	0,0	R\$ 0,499	R\$ -	R\$ 0,00
6	0,0	34,00	43,0	9,0	0,0	0,0	R\$ 0,499	R\$ 4,49	R\$ 0,00
7	0,0	67,00	75,0	8,0	0,0	0,0	R\$ 0,499	R\$ 3,99	R\$ 0,00
8	0,0	81,00	80,0	0,0	1,0	0,0	R\$ 0,499	R\$ -	R\$ -
9	1,0	100,00	58,0	77,5	120,5	0,0	R\$ 0,499	R\$ 38,68	R\$ -
10	118,1	124,00	38,0	0,0	204,1	0,0	R\$ 0,499	R\$ -	R\$ -
11	200,0	142,00	50,0	0,0	204,1	87,9	R\$ 0,499	R\$ 0,00	R\$ 39,48
12	200,0	159,00	112,0	0,0	204,1	42,9	R\$ 0,499	R\$ 0,00	R\$ 19,27
13	200,0	140,00	160,0	0,0	66,7	113,3	R\$ 0,499	R\$ -	R\$ 50,86
14	65,4	130,00	175,0	0,0	20,4	0,0	R\$ 0,499	R\$ -	R\$ 0,00
15	20,0	100,00	120,0	0,0	0,0	0,0	R\$ 0,499	R\$ -	R\$ 0,00
16	0,0	84,00	80,0	8,2	12,2	0,0	R\$ 0,499	R\$ 4,07	R\$ -
17	11,9	70,00	40,0	162,2	204,1	0,0	R\$ 0,724	R\$ 117,41	R\$ -
18	200,0	40,00	250,0	214,1	204,1	0,0	R\$ 1,115	R\$ 238,70	R\$ -
19	200,0	6,28	265,8	245,6	186,1	0,0	R\$ 1,115	R\$ 273,86	R\$ -
20	182,4	0,00	350,0	167,6	0,0	0,0	R\$ 1,115	R\$ 186,91	R\$ 0,00
21	0,0	0,00	278,0	278,0	0,0	0,0	R\$ 1,115	R\$ 309,97	R\$ 0,00
22	0,0	0,00	150,0	150,0	0,0	0,0	R\$ 0,724	R\$ 108,60	R\$ -
23	0,0	0,00	120,0	201,2	81,2	0,0	R\$ 0,499	R\$ 100,40	R\$ -
24	79,6	0,00	80,0	0,4	0,0	0,0	R\$ 0,499	R\$ 0,21	R\$ -
							R\$ 1.498,13	R\$ 160,64	

CB	200
EIB	20
FD	10%
FP	2%

Receita:	-R\$ 1.337,48
----------	---------------

Figura 3 – Planilha de otimização feito no Excel para ter o melhor resultado para o terceiro caso

O resultado do primeiro caso foi R\$ 2.067,09, do segundo R\$ 1.542,91 e do terceiro caso R\$ 1.337,48. Com isso é possível enxergar uma clara diferença entre os casos através do preço final a se pagar por dia. Para fins de um melhor entendimento, essa diferença fica maior quando é comparada com um mês, ano e 5 anos, mostrando que o fator do tempo combina com energia renováveis. De um mês, respectivamente, R\$ 62.012,70, R\$ 46.287,3 e R\$ 40.124,4. De um ano, respectivamente, R\$ 754.487,85, R\$ 563.162,15 e R\$ 488.180,2. De 5 anos, respectivamente, R\$ 3.772.439,25, R\$ 2.815.810,75 e R\$ 2.440.901,00.

CONCLUSÕES:

Portanto, ao analisar as diferenças de preço ao longo dos anos fica notória a vantagem de utilizar placas fotovoltaicas e bateria para uma *microgrid* em um condomínio. Ainda levando em consideração que a duração média dos painéis solares é de 25 a 30 anos e a duração média de uma bateria residencial é de 5 a 15 anos. Desse modo, pela durabilidade dos equipamentos e a diferença de preço que os três casos tiveram é notório que o caso mais vantajoso é o terceiro.

BIBLIOGRAFIA

ALMADA, J. B. "Modelagem, Controle e Gerenciamento da Operação de Microgrids com Fontes Renováveis," Dissertação (Mestrado em Engenharia elétrica). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2013.

BARBIERO, R. C. "Análise de Microrredes com Geração de Energia Solar Fotovoltaica em Condomínios Residenciais." Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – UNICAMP. Trabalho de Final de Curso. 46 p. 2022

HAYDEN, Ernie. Introduction To Microgrids. Securicon, [s. l.], 2013.

LEME, G. B. Modelagem e Simulação de uma Microgrid. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR Campus Toledo, [S. l.], 2019.

LIU, P.; GEORGIADIS, M. C.; PISTIKOPOULOS, E. N. (2013). **An energy systems engineering approach for the design and operation of microgrids in residential applications**. Chemical Engineering Research and Design.

MENDONÇA, L.P (2011). "Introdução a microrredes e seus desafios". Repositório UFRJ, Rio de Janeiro – RJ, 78 p.

RENGASAMY, M. *et al.* (2021). **Incorporation of microgrid technology solutions to reduce power loss in a distribution network with elimination of inefficient power conversion strategies**. Sustainability (Switzerland).

SYED, M. M. and MORRISON, G. M. (2021). **A Rapid Review on Community Connected Microgrids**. SUSTAINABILITY.

Tarifa Branca pode reduzir conta de luz em até 15%, mas exige cuidado. **CNN Brasil**, 3 de setembro de 2021. Disponível em: <[Tarifa Branca pode reduzir conta de luz em até 15%, mas exige cuidado | CNN Brasil](#)>. Acesso em: 27 de julho de 2024