XVIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
XIV ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
AMBIENTE CONSTRUÍDO E USUÁRIO: PERSPECTIVAS LATINO-AMERICANAS

Casa urbana zero: Proposta de autoprodução de energia elétrica em edificação urbana

Casa urbana cero: Propuesta de autoproducción de energía eléctrica en edificaciones urbanas

Zero urban house: Proposal for self-production of electrical energy in urban building

Energias renováveis / *Energías Renovables / Renewable energies*

Walter José Ferreira Galvão
Centro Universitário Senac | São Paulo |Brasil | walter.jgalvao@sp.senac.br

Braulo Vitorino
Centro Universitário Senac | São Paulo |Brasil | braulovit@yahoo.com.br

Resumo

A energia elétrica está inserida integralmente nas atividades da vida contemporânea. Assim, todas as edificações das cidades precisam ser providas de eletricidade para o atendimento das demandas dos usuários e o princípio de seu fornecimento é baseada na sua geração remota e em larga escala, que é transmitida para os pontos de consumo, ou seja, os centros urbanos. O problema é que essas fontes geradoras de eletricidade em larga escala são, em geral, extremamente impactantes ao meio ambiente natural. Destarte, esse trabalho propõe uma habitação para a cidade de São Paulo que não utilize energia elétrica oriunda de grandes usinas de geração e distribuição. Para isto foram feitas propostas para o completo atendimento das comodidades inerentes ao uso de energia elétrica, ora utilizando fontes renováveis de geração de eletricidade como a solar, ora adotando estratégias alternativas para o provimento de Conforto Ambiental térmico, como a inércia térmica e a ventilação.

Palavras-chave: Fontes renováveis de energia. Autossuficiência de eletricidade; baixo impacto ambiental na geração de energia elétrica.

Resumen

La energía eléctrica está incluida integralmente en las actividades de la vida contemporánea. Así, todos los edificios de las ciudades necesitan disponer de electricidad para satisfacer las demandas de los usuarios y el principio de su suministro se basa en su generación remota y a gran escala, que se transmite a los puntos de consumo, es decir, los centros urbanos. El problema es que estas fuentes de generación de electricidad a gran escala tienen, en general, un gran impacto en el medio ambiente natural. Por lo tanto, este trabajo propone viviendas para la ciudad de São Paulo que no utilizan energía eléctrica proveniente de grandes plantas de generación y distribución. Para ello, se plantearon propuestas para satisfacer plenamente las comodidades inherentes al uso de la energía eléctrica, ya sea utilizando fuentes renovables de generación eléctrica como la solar, o adoptando estrategias alternativas para brindar Confort Ambiental térmico, como la inercia térmica y la ventilación.

Palabras clave: Fuentes de energía renovables. Autosuficiencia eléctrica; Bajo impacto ambiental en la generación de energía eléctrica.

Abstract

Electricity is an integral part of contemporary life activities. Thus, all buildings in cities need to be provided with electricity to meet user demands, and the principle of its supply is based on its remote and large-scale generation, which is transmitted to consumption points, i.e., urban centers. The problem is that these large-scale electricity generation sources are generally extremely impactful to the natural environment. Therefore, this paper proposes housing for the city of São Paulo that does not use electricity from large generation and distribution plants. To this end, proposals were made for the complete fulfillment of the amenities inherent to the use of electricity, sometimes using renewable sources of electricity generation such as solar energy, sometimes adopting alternative strategies for providing thermal environmental comfort, such as thermal inertia and ventilation.

Keywords: Renewable energy sources. Electricity self-sufficiency; low environmental impact in the generation of electrical energy.

Introdução

Após o advento e popularização da lâmpada elétrica, no final do século XIX, a eletricidade definitivamente entrou no cotidiano das edificações. Então, rapidamente surgiu a necessidade da geração de eletricidade, fazendo com que fossem produzidas fontes geradoras que pudessem suportar a crescente demanda (MOKHTARI et al., 2017).

No entanto, nos anos de 1970 ocorreu uma crise mundial no petróleo, principal insumo para a geração de energia elétrica, o que causou um forte impacto nos hábitos de consumo de eletricidade, assim como fortaleceu o interesse pelo uso de novas técnicas e recursos para a sua geração (HUNT, et al., 2018). Em adição, no final do século XX ganham força os princípios da sustentabilidade, privilegiando a busca por recursos que sejam menos impactantes ao meio ambiente natural.

Nas primeiras décadas do século XXI, o governo brasileiro passou a incentivar o uso de energias alternativas e de baixo impacto ambiental, como a solar e a eólica. Porém, a lógica de geração de energia elétrica em larga escala e em locais distantes dos grandes centros consumidores ainda prevalece. Como exemplo podem ser referidos o parque eólico de Lagoa dos Ventos e as usinas



Figura 1 – Usina Fotovoltaica Serra do Mel 1 e 2. Fonte https://brasilenergia.com.br/energia/usinas-solares-serra-do-mel-1-e-2-comecam-a-produzir/ acessado em 19/06/2024

fotovoltaicas Serra do Mel I e II, com capacidades de geração de 716,5MW e 320MW, respectivamente. Esse princípio ocupa vastas porções de terreno, ocasionando, assim, um choque à fauna e flora em seus locais de implantação (VIEIRA, 2021).

Em função do exposto, esse trabalho propõe uma casa para a cidade de São Paulo que adote o ideal de consumo zero de energia transmitida, isto é, que ela seja totalmente independente do sistema de geração em larga escala e distribuição de energia elétrica e que continue atendendo às comodidades da vida atual.

Procedimentos metodológicos

Para o atendimento do objetivo do trabalho, foram utilizados painéis fotovoltaicos para geração de eletricidade (sistema autônomo isolado com armazenamento – *off grid*), assim como um sistema de aquecimento de água solar.

Primeiramente, buscou identificar os aparelhos que mais consomem energia elétrica nas

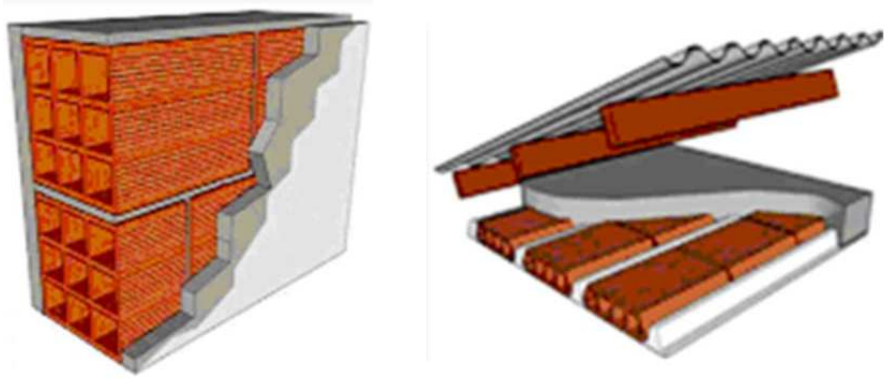


Figura 2 – Detalhes esquemáticos da parede externa e cobertura. Fonte http://www.mme.gov.br/projeteee/componentes-construtivos/ consultado em 17/06/2023/

habitações brasileiras sendo esses o chuveiro elétrico e o ar-condicionado, respectivamente (ELETROBRAS/PROCEL, 2007). Como esses aparelhos são incompatíveis com a adoção de sistemas fotovoltaicos *off Grid* considerados nesse trabalho, foram usadas soluções alternativas para sua substituição.

Para minimizar a dependência do ar-condicionado para o provimento de conforto ambiental térmico, foram escolhidas as vedações das envoltórias da edificação (divisórias externas e coberturas) conforme os preceitos da norma NBR 15220 (ABNT, 2005) mediando o balanço térmico (perda e ganho de calor) para adaptá-la à zona bioclimática 3 onde, segundo a citada norma, se encontra a cidade de São Paulo. Digno de nota que para a zona bioclimática 3 a NBR 15220 (ABNT, 2005) recomenda uma cobertura com Transmitância Térmica (U) máxima de 2,20 W/m²K e um Fator Solar (FSo) máximo de 6,5%. Já para as paredes externas, a norma recomenda que ela deva ter Transmitância Térmica (U) máxima de 3,60 W/m²K e um Fator Solar (FSo) máximo de 4%.

Assim, foi adotada uma cobertura composta por uma laje mista (pré-moldada), telha de fibrocimento separadas por uma camada de ar e abaixo, outra camada de ar e um forro de gesso. Sua Transmitância Térmica (U) é de 1,41 W/m²K, Fator Solar (FSo) de 2,8 % e Absortância (α) de 20 %. Para as vedações verticais externas foram utilizadas paredes de tijolos 9 furos quadrados, com dimensões 14,0x19,0x29,0cm, assentados na maior dimensão com argamassa de emboço de 2,5 cm, o que resultou numa parede de 19 cm de espessura. A Transmitância Térmica (U) da parede é de 2,27 W/m²K e o Fator Solar (FSo) de 1,8.

Em adição, foi realizada simulação computacional de desempenho térmico do edifício utilizando o software Domus/PROCEL para comprovação do acolhimento de condições de Conforto Térmico. Foi simulado um dormitório para os dias 14, 15 e 16 de janeiro que, segundo os valores de clima para São Paulo do Domus, é o mês que tem a média mais elevada de temperatura do ar. Foram comparados os valores horários da temperatura do ar interno e externo e adotados como critério de avaliação, primeiramente os indicadores difundidos por Oliveira (2006) apresentados na tabela 1 a seguir:

Tabela 1 – Parâmetros para avaliação de desempenho térmico. Adaptado de Oliveira (2006).

Condições	**Intervalos de temperatura do ar**
Desconforto ao frio	T < 19°C
Conforto térmico sem ventilação	19°C ≤ T ≤ 29°C
Conforto térmico com ventilação de 1m/s	29°C < T ≤ 33°C
Desconforto ao calor	33ºC < T

Também, os valores obtidos na simulação foram inseridos no gráfico de Conforto Adaptativo para ambientes ventilados naturalmente, preconizado pela norma norte-americana ANSI/ASHRAE Standard 55 (2017).

Para o aquecimento de água foi adotada a radiação solar. Desse modo, foram utilizados painéis radiadores térmicos e para o seu dimensionamento, foi considera uma demanda de 572,4 litros de água a ser aquecida diariamente segundo a NBR 15569 (ABNT, 2008), sendo propostos 4 coletores com 2,02m² de área e capacidade de aquecimento de 5,53kWh/dia cada um deles. Também, foi utilizado um boiler para armazenagem de 600 litros de água quente e utilizado o gás como energia alternativa.

Ainda que, atualmente, o sistema luminotécnico tenha um pequeno impacto no consumo de energia elétrica das habitações, foi dada especial atenção para o uso da iluminação natural, assim como a aplicação de equipamentos luminotécnicos eficientes, ou seja, com baixo consumo de energia elétrica. Para isto foram dimensionadas as aberturas para iluminação conforme recomendações legais e normativas e propostos módulos LED na iluminação artificial.

Foi elaborado um projeto arquitetônico para uma família real paulistana com renda superior a 10 Salários-Mínimos. Esta família era composta de um casal e dois filhos, e não possui na sua habitação atual, nem chuveiros elétricos, tampouco equipamentos de ar-condicionado. Portanto seu padrão de utilização de energia elétrica é adequado para a implantação do sistema fotovoltaico do tipo *off grid.*

O terreno adotado para implantação da edificação tem 615m² e se localiza na região oeste da capital paulista, em local onde a legislação não permite verticalização, o que é ideal para a utilização de sistema de aquecimento de água usando energia solar. Foram elaborados os processos preliminares para definições dimensionais atendendo os parâmetros urbanísticos presentes na Lei de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo (LPUOS) do município de São Paulo.

Nesse sentido, foi projetada uma edificação de dois pavimentos com 252,62m² de área construída, conforme apresentado nas figuras 3, 4 e 5 a seguir.

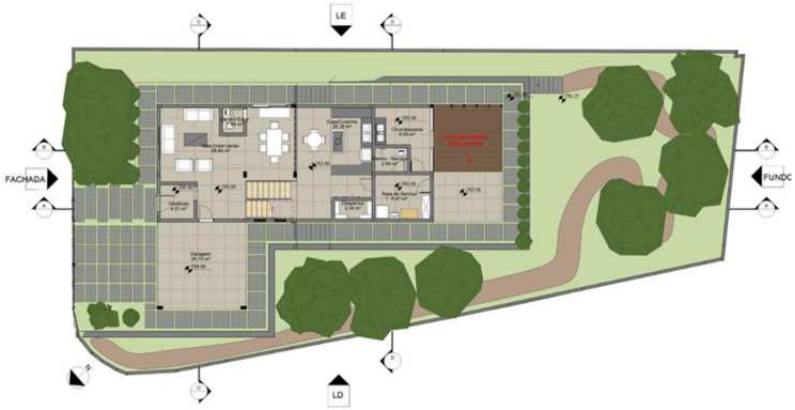


Figura 3 – Planta baixa pavimento térreo.

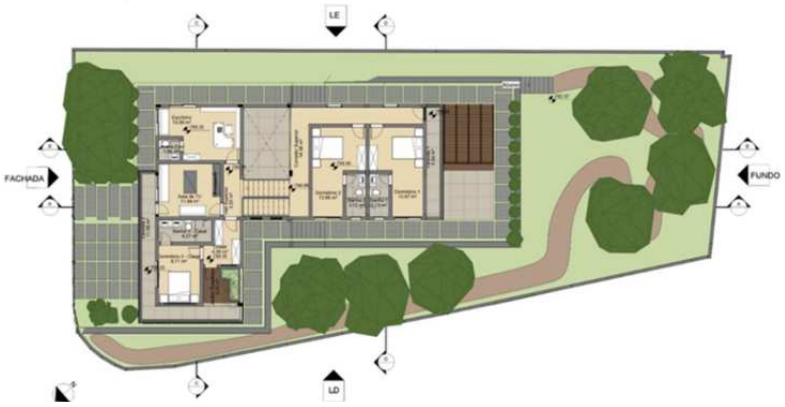


Figura 4 – Planta baixa pavimento superior.



Figura 5 – Perspectiva.

Para dimensionamento do sistema fotovoltaico foram usadas as deliberações de Messenger e

Abitahi (2017), com adaptações. Assim, inicialmente foi feita uma prospecção sobre o consumo elétrico da família segundo suas contas reais de consumo de energia. Verificou-se que o consumo médio mensal era de 258,00 kWh, o que resulta em um consumo diário de 8,60 kWh. Assim foi feito o cálculo para dimensionamento do sistema fotovoltaico utilizando a seguinte equação:

$$P = \frac{E}{T\ x\ R} \ \ldots \text{ Onde:}$$

P – Potência Total nos painéis (kW)
E – Energia (KWh)
T – Tempo de Exposição à Luz Natural (HSP)
R – Rendimento

Convém salientar que o HSP (Horário de Sol Pleno - quantidade de horas em que a irradiação solar seria constante de 1000 W/m²) para a cidade de São Paulo é de 4,45 horas (www.cresesb.cepel.br consultado em 14/06/2024) e o R considerado foi de 80% (0,80). Destarte, obtendo-se um P de 2,42 kW, foram utilizados 5 painéis fotovoltaicos com capacidade de 550 W cada, resultando numa potência gerada total de 2750 W ou 2,75 kW. Nesse caso o inversor utilizado foi de 3 kW e foram adotadas 4 baterias estacionárias de 150 Ampères/hora ligadas em paralelo (24 Volts) para armazenagem de energia. Também, ficou determinada a utilização de dois controladores de carga (do tipo PWM) de 60A.

Convém salientar que, tanto os painéis radiadores térmicos para aquecimento de água, assim como os painéis fotovoltaicos, devem ter inclinações iguais à latitude da cidade de São Paulo (23°36'Sul) mais 10° (conforme recomendações da NBR 15569), ou seja, 33°36'. Foi adotada uma inclinação 35° com os painéis voltados para a face Norte

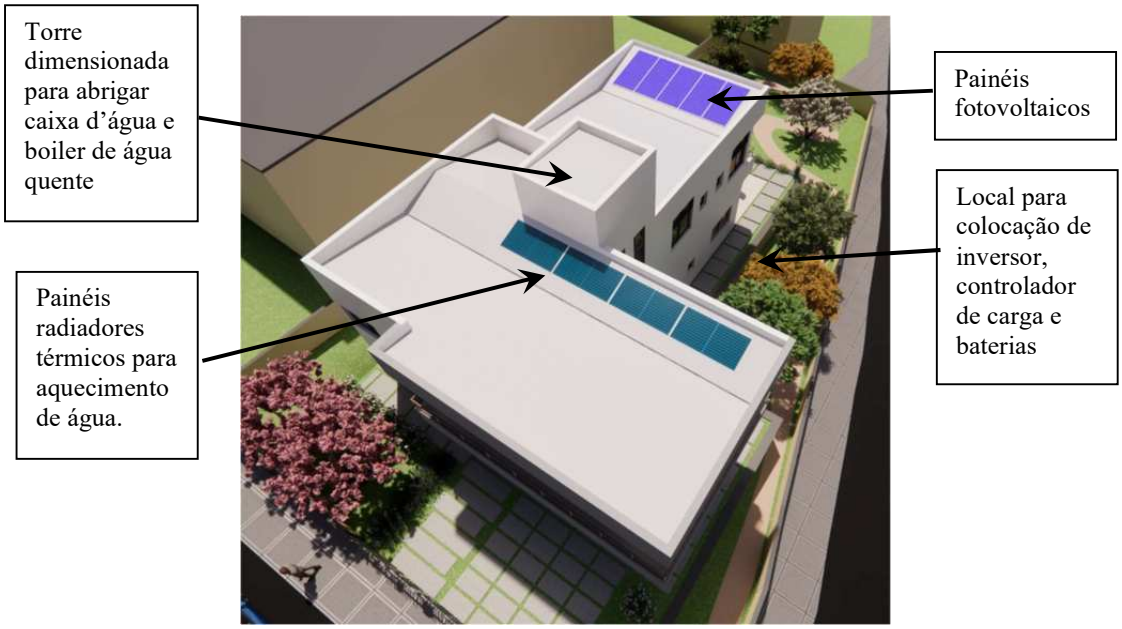


Figura 6 – Perspectiva aérea, demonstrando a locação dos equipamentos dos sistemas solares (aquecimento de água e geradores de energia elétrica).

Resultados

Para o consumo de energia elétrica de iluminação, bem como o uso de aparelhos eletrônicos e eletrodomésticos, o simples fato de utilizar dados de uma conta de energia elétrica existente, já indica que está sendo acolhido neste trabalho um cenário real. Portanto, dimensionando o sistema fotovoltaico para este cenário, é considerado que esta demanda foi atendida.

Igualmente para o caso da água quente, ainda que os dados utilizados sejam relativos às recomendações normativas, esses foram baseados em investigações feitas em consumidores reais. Em adição, cada vez mais estão sendo difundidas as práticas de consumo consciente de água em nosso país.

No que diz respeito ao desempenho térmico, as simulações demonstraram que, com a adoção de envoltórias com propriedades térmicas adequadas para a zona bioclimática de São Paulo segundo

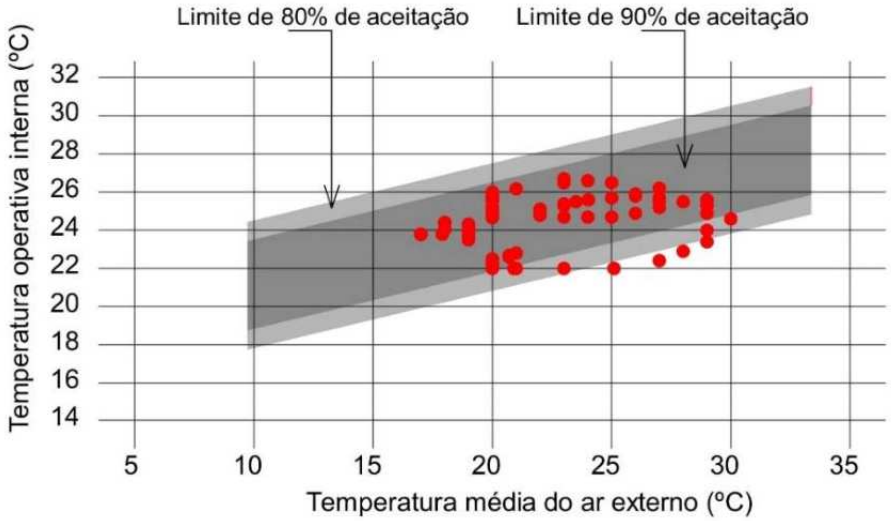
a NBR 15220 (ABNT, 2005), a temperatura interna resultante se manteve no intervalo de conforto térmico sem a necessidade de ventilação em todas as 72 horas consideradas na simulação.

Tabela 2 – Temperaturas internas horárias no dormitório simulado.

	Hora	Temperatura externa (°C)	Temperatura interna (°C)	Hora	Temperatura externa (°C)	Temperatura interna (°C)
Dia 14 de janeiro	0	21.0	22.8	12	28.0	22.9
	1	20.7	22.7	13	29.0	23.4
	2	20.3	22.6	14	29.0	24.0
	3	20.0	22.5	15	30.0	24.6
	4	20.0	22.3	16	29.0	24.9
	5	20.0	22.2	17	29.0	25.3
	6	20.0	22.1	18	28.0	25.5
	7	20.0	22.0	29	27.0	25.7
	8	21.0	21.9	20	27.0	25.7
	9	23.0	22.0	21	26.0	25.8
	10	25.0	22.1	22	25.0	25.7
	11	27.0	22.4	23	25.0	25.7
Dia 15 de janeiro	**Hora**	**Temperatura externa (°C)**	**Temperatura interna (°C)**	**Hora**	**Temperatura externa (°C)**	**Temperatura interna (°C)**
	0	24.0	25.6	12	27.0	25.2
	1	23.5	25.5	13	27.0	25.5
	2	23.0	25.4	14	29.0	25.9
	3	23.0	25.3	15	27.0	26.2
	4	22.0	25.1	16	25.0	26.5
	5	22.0	25.0	17	24.0	26.6
	6	22.0	24.8	18	23.0	26.7
	7	22.0	24.8	29	23.0	26.7
	8	23.0	24.7	20	23.0	26.6
	9	24.0	24.7	21	23.0	26.5
	10	25.0	24.7	22	21.0	26.2
	11	26.0	24.9	23	20.0	26.0
Dia 16 de janeiro	**Hora**	**Temperatura externa (°C)**	**Temperatura interna (°C)**	**Hora**	**Temperatura externa (°C)**	**Temperatura interna (°C)**
	0	20.0	25.8	12	19.0	23.8
	1	20.0	25.6	13	19.0	23.8
	2	20.0	25.3	14	19.0	24.0
	3	20.0	25.1	15	19.0	24.0
	4	20.0	24.9	16	19.0	24.1
	5	20.0	24.7	17	19.0	24.3
	6	18.0	24.4	18	19.0	24.2
	7	18.0	24.2	29	19.0	24.2
	8	18.0	24.0	20	19.0	24.0
	9	17.0	23.8	21	19.0	23.9
	10	18.0	23.7	22	19.0	23.7
	11	18.0	23.7	23	19.0	23.5

Também, o gráfico de Conforto Adaptativo demonstrou que apenas em 5,5% das horas consideradas na simulação a temperatura interna ficou fora da faixa de conforto térmico. Importante salientar que em 87.5% esta temperatura interna ficou na faixa de 90% de aceitabilidade.

Gráfico 1 – Carta de Conforto Adaptativo com interpolações de horas resultantes da simulação.



Fica confirmado, então, que apenas com medidas alternativas citadas neste trabalho, para a cidade de São Paulo podem ser atingidas condições de bem-estar térmico com os ambientes interiores. Fica dispensado, assim, o uso de ar-condicionado.

Conclusões

Este trabalho comprova que é possível suprir as demandas de usuários urbanos de habitações, particularmente de edificações unifamiliares, adotando os princípios de autoprodução de energia elétrica. Dessa forma, o objetivo do trabalho foi alcançado, ou seja, a proposta de uma casa urbana que não utilize energia transmitida e que atenda às necessidades habitacionais contemporâneas. Assim, conforme demonstrado, a adoção do sistema fotovoltaico *off grid* é perfeitamente viável, desde que corretamente dimensionado. No entanto as comprovações deste trabalho se baseiam em simulações computacionais de um modelo virtual, sendo

necessário que sejam realizados experimentos baseados em modelos físicos para referendar, ou não, as afirmações aqui feitas.

Também, convém citar o crescimento no uso de sistema fotovoltaico *on grid* nas cidades brasileiras (CORDEIRO e COUCEIRO, 2024), sistema este que necessita de integração com a energia transmitida. O uso do sistema *off grid,* aqui proposto, é comum no Brasil em áreas rurais, particularmente aquelas não consagradas pela energia de distribuição pública. Em áreas urbanas é incipiente sua utilização e um dos motivos disso é o alto custo dos equipamentos o que requer um vultoso investimento inicial. Porém, o sistema de geração em larga escala de mesmo modo necessita de um enorme dispêndio de dinheiro para sua execução e, desta feita, normalmente de dinheiro público. Outra razão é a baixa eficiência no sistema de armazenagem em baterias e a pequena capacidade de geração de energia pelo sistema. Em oposição, cita-se a evolução na tecnologia de armazenagem de energia em baterias ocorrida nos últimos tempos e a evolução no potencial de geração de energia elétrica nos painéis fotovoltaicos (DANTAS e POMPERMAYER, 2018).

Digno de nota que este trabalho trata exclusivamente do uso habitacional dos edifícios. Certamente, para outros usos, como comercial, industrial, dentre outros, a geração remota em larga escala ainda é imprescindível. Todavia, segundo o Anuário Estatístico de Energia Elétrica de 2023 (EPE, 2023) o consumo de residências representou 30% do consumo geral de energia elétrica em nosso país. Uma diminuição de demanda por eletricidade nesse setor, pode representar um acréscimo significativo de oferta para os outros setores, igualmente diminuindo a necessidade de construção de novas fontes de geração em larga escala de energia elétrica.

Referência bibliográficas

Associação Brasileira de Normas Técnicas**. NBR 15.220** - Desempenho Térmico de Edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15.569** Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto — Requisitos de projeto e instalação. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ANSI; ASHRAE, American National Standards Institute; American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **Standard 55**. Thermal environmental conditions for human occupancy Atlanta, 2017.

CORDEIRO, Nicolas Duarte; COUCEIRO, Marcio Akira. Sistema Fototvoltaico no Brasil e em Roraima e as diferenças entre os sistemas *on grid* e *off grid.* In **Revista de Administração de Roraima,** v. 15, 2024

DANTAS, Stefano Giacomazzi; POMPERMAYER, Fabiano Mezadre. **Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos no Brasil e possíveis efeitos no setor elétrico**. Texto para discussão / Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada: Rio de Janeiro : Ipea , 1990-

ELETROBRAS – Centrais Elétricas Brasileiras S.A.; PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. **Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso – Ano Base 2005 – Classe Residencial – Relatório Brasil**. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, 2007.

Empresa de Pesquisa Energética. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2023. Nota Técnica**. Rio de Janeiro, EPE, 2023. Disponível em: http://www.epe.gov.br acessado em 19/06/2024.

HUNT, Julian Davi; STILPEN, Daniel; FREITAS, Marcos Aurélio Vasconcelos de. **A review of the causes, impacts and solutions for electricity supply crises in Brazil. In Renewable and Sustainable Energy Reviews.** Cambridge Elsevier, Volume 88, Maio 2018, Pag. 208-222.

MESSENGER,Roger; ABITAHI, Amir. **Photovoltaic Systems Engineering.** 4ª edição. CRC Press. New York, 2017.

MOKHTARI, Mehrdad; GHAREHPETIAN, G.B.; AGAH, S. Mohammadi Mousari. **Distributed Energy Resources, in Distributed Generation System. Design, Operation and Grid Integration**. Cambridge, Elsevier, 2017.

OLIVEIRA, A. G. D. **Proposta de método para avaliação do desempenho térmico de residências unifamiliares em clima quente e úmido.** (2006). Dissertação de mestrado - Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.

VIEIRA, Eli. **Energia Limpa coloca onças da caatinga em risco de extinção. In Gazeta do Povo. 19 de setembro de 2023**. Disponível em https://www.gazetadopovo.com.br/ideias/energia-eolica-coloca-oncas-da-caatinga-em-risco-de-extincao/ acessado em 13/06/2024