XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Sistema PVT aplicado em moradias populares em Belo Horizonte/MG

PVT system applied to social dwelings in Belo Horizonte/MG

Alexandre Schultz
UFMG | Belo Horizonte | Brasil | alexandre.schultz@gmail.com
Eleonora Sad de Assis
UFMG | Belo Horizonte | Brasil | eleonorasad@yahoo.com.br
Elizabeth Marques Duarte Pereira
UFMG | Belo Horizonte | Brasil | bethduarte00@gmail.com
Lucas Paglioni Pataro Faria
GREEN PUC Minas | Belo Horizonte | Brasil | paglioni@gmail.com

Resumo
A necessidade de utilização de fontes mais limpas de energia faz com que olhemos os problemas sociais e específicos das habitações, estudando possibilidades de produção energética sustentável para moradias populares. Este trabalho apresenta o potencial de implantação do PVT em região de vulnerabilidade sócio-econômica e às mudanças climáticas em Belo Horizonte, MG. De acordo com o consumo de eletricidade das famílias e o levantamento da implantação das moradias, estima-se que o sistema PVT poderia gerar cerca de 207 MWh/mês na região, atendendo às necessidades de 70% das moradias.

Palavras-chave: Potencial energético dos sistemas solares. Sistema PVT. Moradias populares. Energia sustentável.

Abstract
The use of cleaner sources of energy like the solar one can also make access to energy more affordable for low-income housing in cities. This paper presents the potential for implementing the PVT in a region of economic and climatic change vulnerability in Belo Horizonte, Brazil. According to the electricity comsumption of the families and the dwellings orientation we estimate that the PVT system could generate about 207 MWh/month in the region, meeting the needs of 75% of the local dwellings.

Keywords: Energy potential of solar systems. PVT system. Low-income Housing. Sustainable energy.

Como citar:
SCHULTZ, A.; ASSIS, E. S.; PEREIRA, E. M. D.; FARIA, L. P. P. Sistema PVT aplicado em moradias populares em Belo Horizonte/MG. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. XXX-XXX.

INTRODUÇÃO

Ligações irregulares de energia ocorrem em muitos bairros pobres de cidades latino-americanas, embora 95% dos domicílios na região tenham acesso formal à eletricidade, de acordo com dados da Agência Internacional de Energia [1]. As chamadas perdas não técnicas (PNT) no sistema elétrico brasileiro têm se mantido na faixa dos 15% na última década, onerando os consumidores em cerca de R$6,6 bilhões ao ano [2]. As PNT englobam fraudes, furtos e erros de medição, sendo as duas primeiras as modalidades principais. No caso mineiro, 63% das ligações irregulares de energia ocorrem na RMBH e se intensificaram com a crise econômica provocada pela pandemia da Covid-19. Dados da ANEEL apontam que a pobreza e inadimplência são responsáveis por cerca de um terço dos desvios, sendo que no estado de Minas Gerais estima-se que mais de 100 mil famílias usem ligações clandestinas de energia, 80 mil delas na RMBH [3]. Estas famílias ficam mais expostas a acidentes (as ligações irregulares e clandestinas representam a segunda maior causa de mortes com eletricidade no país, depois dos acidentes fatais na construção civil) e aos danos e perda dos aparelhos elétricos provocados pela má qualidade da energia. Contudo, há indícios de que os consumidores mais pobres desejam ser regularizados e ter acesso a certos benefícios, como a segurança da instalação, o desconto na tarifa, o acesso a lâmpadas de baixo consumo e orientações para o uso consciente de energia [4].

Para atender a estas famílias a partir de uma perspectiva de segurança energética e acessibilidade econômica, o uso mais sistemático da energia solar como fonte para o aquecimento de água e geração de eletricidade deveria ser considerado. Em 2020, a potência total instalada de fonte solar ultrapassou em 4% a de termelétricas movidas a carvão mineral e nucleares [5]. Mesmo assim, nos últimos anos, a crise hídrica fez com que as termelétricas (baseadas em recursos não-renováveis e com maiores impactos ambientais ao longo de todo o seu ciclo de vida) passassem a ter uma participação maior na geração de eletricidade no Brasil. Os aumentos decorrentes na conta de luz também oneraram mais as famílias, em razão do maior tempo em casa ou da redução de renda familiar [6].

Este artigo se propõe a investigar, portanto, a viabilidade de uma perspectiva de uso do tecido urbano para a geração de energia, buscando o aumento da resiliência local da comunidade em termos de acesso e segurança energética, alinhada às recomendações dos ODS 7 (Energias Renováveis) e ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis).

Desenvolveu-se um estudo de caso em parte do bairro Novo Aarão Reis, na região nordeste de Belo Horizonte, região esta de alta vulnerabilidade às mudanças climáticas [7], onde outros trabalhos de extensão universitária estão sendo realizados, com o apoio da escola municipal local. São áreas onde a tendência ao aquecimento e os riscos de inundações podem agravar as condições de acesso à energia.

O Novo Aarão Reis é um bairro de periferia regularizado e consolidado da capital mineira. As moradias ali existentes são geralmente autoconstruídas, em lotes

menores do que a área típica de lotes da cidade e, portanto, tais bairros atingem grande densidade populacional. A falta de informação, má qualidade das construções, e irregularidades, como a existência de “gatos” na rede elétrica, traz riscos para os moradores e a comunidade como um todo.

A pesquisa procurou estimar o consumo energético da habitação típica do entorno da escola local, verificando a contribuição da instalação de PVT (sistema fotovoltaico-térmico) para a melhoria do acesso à energia e economia no custo de vida das famílias locais, expandindo a análise para uma parte do citado bairro.

A busca da compreensão deste tema demanda um aprofundamento em duas questões, apresentados a seguir: os sistemas solares, mais especificamente o PVT e as habitações populares, situadas nesta região.

TECNOLOGIA COM GRANDE POTENCIAL SUSTENTÁVEL: SISTEMA FOTOVOLTAICO-TÉRMICO (PVT)

Os sistemas solares utilizados para essa pesquisa englobam o fotovoltaico (SFV), o de aquecimentos solar térmico (SAST) e o PVT (sistemas fotovoltaicos-térmicos).

Inicialmente, um sistema que pode trazer benefícios tanto aos usuários, quanto ao sistema elétrico, ao meio ambiente e à sociedade como um todo é o SFV conectado à rede de energia da concessionária. A energia fotovoltaica é produzida quando os fótons presentes na radiação solar causam uma reação nas células fotovoltaicas, que convertem diretamente parte da energia do Sol em energia elétrica de forma estática, silenciosa, não poluente e renovável (sem considerar o ciclo de vida das células de silício envolvidas).

Entretanto, no SFV, apenas uma pequena parte da radiação incidente sobre a placa é convertida em eletricidade, cerca de 10 a 20% dependendo do material, orientação, inclinação e localização das células fotovoltaicas. O restante da radiação é refletida ou transformada em calor ocasionando um inevitável aquecimento desse sistema resultando na queda de sua eficiência [8].

Outro sistema que possui grande potencial sustentável é o SAST. O equipamento mais popular da tecnologia solar é o coletor solar plano que converte energia solar em energia térmica. O sistema fornece, em função de suas características e local de implantação, água quente a temperaturas variáveis entre 40ºC e 60ºC, atendendo basicamente aos valores de temperatura ligadas às demandas de uso residencial. Na maior parte dos casos, no Brasil, o sistema solar térmico é utilizado para substituir total ou parcialmente o chuveiro elétrico [9]. Comprovou-se que as casas com aquecimento solar têm uma economia em torno de 34,6% do gasto energético [10].

Uma alternativa que reúne ambos os sistemas é o PVT e se mostra como uma possibilidade bastante interessante, compartilhando as potencialidades de cada uma das tecnologias que o compõem. Um sistema PVT é uma combinação de componentes que convertem parte da energia proveniente do Sol em eletricidade e parte em calor, que aquece um fluido de trabalho. Os primeiros estudos sobre a

tecnologia PVT apresentaram a ideia do uso de água ou ar como o fluido de resfriamento de painéis fotovoltaicos [11]. A combinação dos sistemas térmicos e fotovoltaicos promove uma geração combinada de energia, resultando na obtenção de eletricidade e aquecimento de água com maior eficiência de conversão energética na mesma área de captação, minimizando assim a área de instalação [12].

A eficiência térmica do sistema PVT aumenta na medida em que o nível de radiação solar também aumenta; já para a eficiência elétrica, com o aumento do nível de radiação solar, a eficiência das células fotovoltaicas é reduzida, gerando, portanto, um conflito no sistema [13], conforme apontam os autores:

> *É interessante notar que o valor de temperatura de água na entrada do sistema afeta bastante a eficiência do PVT. Se o objetivo é obter a máxima eficiência elétrica, deve-se utilizar água a baixas temperaturas na entrada do sistema. Por outro lado, se o objetivo é aquecer a água junto à geração de energia elétrica e armazenar essa água aquecida, deve-se levar em consideração a redução da eficiência elétrica à medida que a temperatura da água de entrada aumenta* (pág. 6).

Importante informar que o PVT ainda não é uma realidade para o Brasil. Há pesquisas e patentes do sistema no país, entretanto não existe a comercialização devido ao seu custo elevado. Acredita-se que com a divulgação do sistema, assim como a ampliação de estudos, os valores de implantação do PVT possam cair, assim como aconteceu com o SFV e o SAST. Desta forma, a utilização dos sistemas solares poderá trazer grandes benefícios para uma implantação em grande escala, incluindo as moradias populares em áreas urbanas de interesse social.

SISTEMA PVT: A EXPERIÊNCIA DO GREEN – PUC MINAS

O Grupo de Estudos em Energia da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (GREEN PUC Minas) foi criado em novembro de 1997 com a missão de promover a inovação e desenvolvimento de competências, soluções e produtos destinados à utilização de energias renováveis [14]. Em 2014, o GREEN fez ensaios de 4 coletores solares com o intuito de verificar a eficiência térmica instantânea e a constante de tempo dos protótipos montados para aplicação em banhos. Os diferentes coletores foram montados no próprio local de ensaio acoplando-se o módulo fotovoltaico ao sistema de aquecimento solar térmico. As condições climáticas dos testes foram as mesmas para todos os coletores, assim como a inclinação dos sistemas foi conforme a latitude de Belo Horizonte, 20°, orientação Norte, a fim de se obter a maior radiação solar possível. Os resultados serão apresentados juntos à análise, no capítulo correspondente.

VULNERABILIDADE DAS HABITAÇÕES POPULARES

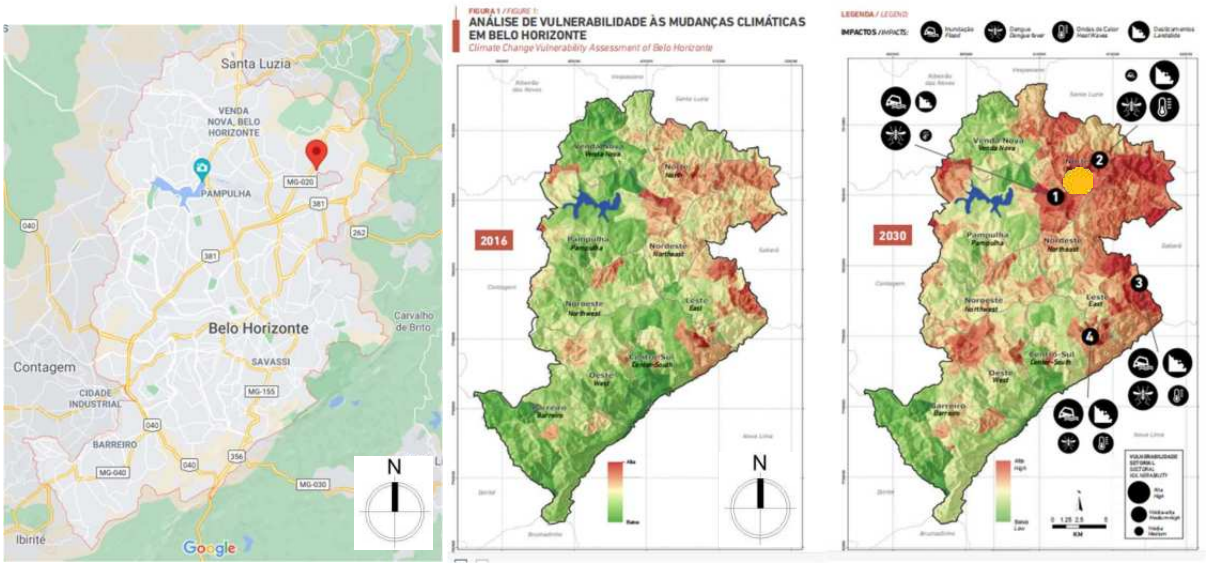
A meta do Brasil é, até 2030, garantir o acesso de todos a moradia digna, adequada e a preço acessível; aos serviços básicos e urbanizar os assentamentos precários de acordo com as metas assumidas no Plano Nacional de Habitação, com especial atenção para grupos em situação de vulnerabilidade [15]. Entretanto, o acesso a serviços básicos, como energia, pode ter um custo elevado para famílias das classes

D/E. A geração distribuída usando sistemas de conversão solar pode viabilizar o acesso destas famílias à energia, evitando as instalações irregulares e melhorando a segurança energética da rede como um todo. São relativamente novos no Brasil os projetos ou iniciativas públicas que têm o objetivo de proporcionar à população de menor poder aquisitivo um sistema que utilize a energia solar, para diminuir os impactos da conta de energia elétrica no orçamento familiar e garantir a sustentabilidade ambiental. Além disso, a energia solar ainda tem participação pequena da matriz elétrica brasileira, correspondendo a 1,9%, enquanto a energia hídrica, principal fonte de energia utilizada no país, representa 59,3% [16].

ESTUDO DE CASO: MORADIAS DO ENTORNO DA EMHJS

O bairro Novo Aarão Reis (latitude 19°50'S e longitude 43°54'O) está situado numa região de maior expansão de áreas com alta vulnerabilidade entre o período de 2016 e projeção para 2030, entre as regiões norte e nordeste da capital mineira [17]. A figura 1 aponta o bairro de estudo e indica o grau de vulnerabilidade regional: quanto mais vermelho, mais alto o grau. O Novo Aarão Reis encontra-se entre os pontos 1 e 2 (círculo amarelo), com altos índices, mostrando a importância de dar atenção a estas comunidades com maior grau de vulnerabilidade em estudos, pesquisas e sobretudo ações, principalmente do Poder Público, a fim de mitigar os riscos.

Figura 1: Bairro Novo Aarão Reis no contexto de Belo Horizonte (esquerda); Análise de vulnerabilidade às mudanças climáticas em BH em 2016 (centro); Análise de vulnerabilidade às mudanças climáticas em BH em 2030 (direita).



Fonte: Modificado do Google Maps, 2021 e Análise de Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas do Município de Belo Horizonte (2016).

FERRAMENTAS E MÉTODOS

É importante destacar que embora existam estudos relacionando as moradias populares e os sistemas solares, não são encontradas na cidade de Belo Horizonte soluções que envolvam essas habitações já consolidadas com possibilidade para

posterior implantação do sistema proposto neste estudo – PVT. Dessa forma, o estudo parte da observação de casos específicos para comparação com simulações baseadas em dados estatísticos relativos à área em questão.

Para atender ao objetivo proposto, foram realizados: (a) levantamento de dados censitários e de consumo típico de energia elétrica em habitações populares no entorno da EMHJS, no bairro Aarão Reis, em Belo Horizonte, MG; (b) estudo da implantação do sistema fotovoltaico-térmico (PVT) nas habitações selecionadas; (c) análise dos resultados obtidos, identificando o potencial do sistema proposto.

O levantamento censitário do estudo foi feito no Portal do IBGE, Sinopse por Setores. A partir das opções disponíveis, foi possível obter informações do banco de dados do bairro Novo Aarão Reis pelo Censo de 2010.

As informações estatísticas permitiram também traçar o perfil da população. A estimativa do consumo desagregado de energia por usos finais foi feito com base no levantamento de posse de eletrodomésticos e hábitos de consumo de energia das classes D/E na região SE do país [18].

Para a estimativa do rendimento do sistema solar misto, foram levantados dados do tipo de cobertura e orientação dos telhados das habitações em análise, obtidos por meio de análise visual das habitações através de imagens do *software Google Earth*. A eficiência considerada de um PVT foi a indicada em [19].

RESULTADOS E ANÁLISE

Os 4 coletores do GREEN, posteriormente patenteados, possuíam características muito próximas, como área externa do coletor com 1,71m², em alumínio, assim como o material da tubulação/serpentina em cobre. As diferenças entre os modelos se deram pela pigmentação ou não dos coletores, ou variação de diâmetro da tubulação. A placa absorvedora também foi diferente em um dos modelos. Para aplicação neste trabalho, os principais resultados de desempenho destes PVTs referem-se à Eficiência Térmica Instantânea, à Produção Mensal de Energia e à Produção Específica Mensal de Energia (tabela 1).

Enquanto aproximadamente 15% da radiação solar incidente em módulos fotovoltaicos policristalinos são convertidos em energia elétrica, sendo o restante transformado em calor [20], o acoplamento de módulos fotovoltaicos e coletores solares planos podem chegar a eficiências térmicas da ordem de 50% e 40%, e elétricas entre 9% e 12,1% para PVT com e sem coberturas de vidro, respectivamente [21].

Como resultado do levantamento na base censitária de 2010 foram obtidos os seguintes dados para o bairro Novo Aarão Reis: população de 8.287, sendo 4.190 (50,6%) mulheres e 4.097 (49,4%) homens; e 2.509 domicílios. A densidade demográfica é de 17.561,59 habitantes/km² e a média de habitantes por domicílio é em torno de 3,3 (tabela 2).

Tabela 1: Características específicas dos coletores.

	Coletor 1	Coletor 2	Coletor 3	Coletor 4
Modelo	Padrão com pigmento	Padrão sem pigmento	Diâmetro variável com pigmento	Diâmetro variável sem pigmento
Área transparente (m²)	1,71	1,59	1,56	1,56
Tipo de Placa Absorvedora	Serpentina	Chapa lisa	Chapa lisa	Chapa lisa
Pintura da Placa Absorvedora	Padrão com pigmento	Tinta comum cor preta	Tinta comum com pigmento	Tinta comum sem pigmento
Eficiência Térmica Instantânea (%)	59,42	52,24	61,06	56,06
Produção Mensal de Energia (kWh/mês)	141,15	123,77	143,33	131,92
Produção Específica Mensal de Energia (kWh/mês/m²)	82,55	72,38	85,32	78,52

Fonte: GREEN (adaptado pelos Autores)

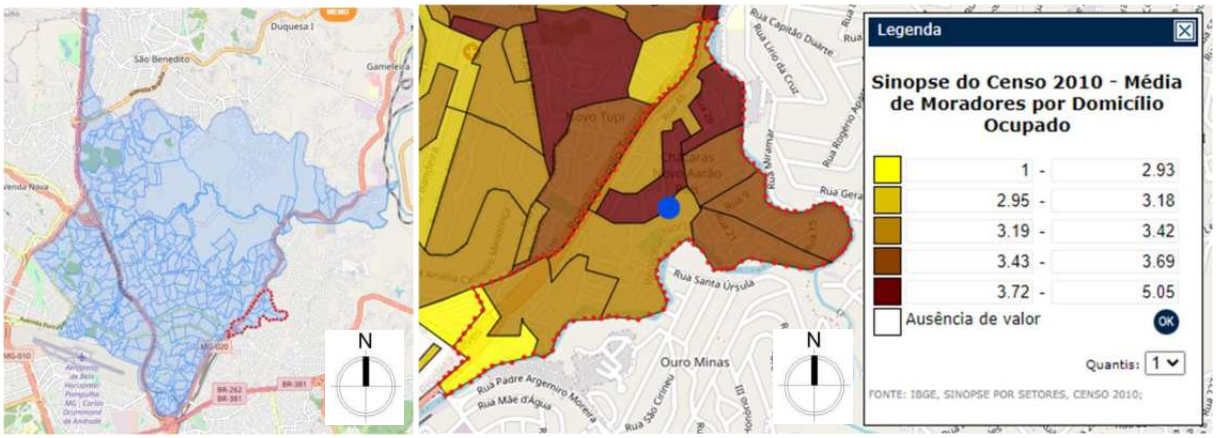
Tabela 2: Dados gerais para o bairro Novo Aarão Reis, em Belo Horizonte/MG de acordo com estudos realizados, e de consumo energético para região Sudeste e Belo Horizonte/MG.

Dados gerais	Quantidade
Mulheres (2010)	4190 hab.
Homens (2010)	4097 hab.
População total (2010)	8287 hab.
Crescimento (entre 2010 e 2021)	6,55%
Estimativa população total (2021)	8830 hab.
Domicílios (2010)	2509
Habitantes por domicílio (2010)	3,3 hab./dom.
Densidade demográfica	17.561,59 hab./km²
Consumo conforme [22]	172,90 kWh/mês
Consumo conforme [23]	173,69 kWh/mês
Consumo conforme [24]	117,09 kWh/mês
Consumo estimado para o bairro	294MWh/mês

Fonte: Organizado pelos Autores.

O dado de habitantes por domicílio, além de poder ser calculado matematicamente, pode ser verificado na figura 2, que indica as densidades habitacionais (imagem central). A figura em questão, em sua primeira imagem, apresenta o bairro no contexto de seu entorno e na imagem central, em escala ampliada, situa o bairro com a indicação, em azul, da escola municipal, em cujo entorno este estudo foi realizado.

Figura 2: Bairro Novo Aarão Reis no contexto da região Norte de Belo Horizonte (esquerda); Média de moradores por domicílio ocupado, sendo a EMHJS a localização em azul.



Fonte: Modificado do IBGE Sinopse por setores, 2022 pelos Autores

Apesar de os valores serem referentes ao censo de 2010, é possível atribuir uma estimativa de crescimento tanto às cidades, quanto aos bairros, para o ano de 2021, a fim de atualização estatística, visto que o Censo de 2020 está acontecendo nos dias atuais, no segundo semestre de 2022, devido à pandemia de COVID-19 e não há informações preliminares. A população estimada para a capital mineira, em 2021, foi de 2.530.701 pessoas, enquanto em 2010, no último censo, a população era de 2.375.151 pessoas [25]. O crescimento, portanto, gira em torno de 6,55%. Mantendo a mesma relação de crescimento para o bairro Novo Aarão Reis, podemos estimar que a sua população atualmente gira em torno de 8.830 pessoas.

Por outro lado, pode-se atribuir às habitações um consumo energético médio, a partir de dados de algumas pesquisas, tais como [22], [23] e [24]. De acordo com estes trabalhos, o consumo de energia elétrica do setor residencial para a região Sudeste foi de 172,9 kWh/mês, para o ano-base de 2019 [22]. Estima-se que uma unidade residencial com 4 pessoas tenha um consumo médio de 173,69 kWh/mês [23]. De acordo com a PPH 2018-2019 [24], 96,8% da amostra de domicílios das classes socioeconômicas D/E da região Sudeste são casas unifamiliares com área média de 51,64 m^2, possuindo 4 cômodos: sala, quarto, cozinha e banheiro. 97,7% dos domicílios usam energia elétrica da rede geral de abastecimento. O consumo médio mensal no período amostrado foi de 117,09 kWh, sendo bastante homogêneo durante o ano.

Com base na posse de equipamentos e hábitos de consumo, a desagregação por usos finais provavelmente ocorre como mostra a tabela 3.

Com esses valores, podemos considerar que o consumo energético do bairro Novo Aarão Reis, em 2021, levando em consideração 2.509 domicílios, com 117,09 kWh/mês de consumo energético e aproximadamente 8.830 pessoas é de 294 MWh/mês. A área total do bairro é de 0,523km² [26].

Tabela 3 – Consumo estimado de energia elétrica por usos finais, classes D/E, na região Sudeste

Instalações e equipamentos		Quant (un.)	Pot. Unit. (W)	Total diário (h)	Total semana (h)	Total mês (h)	Total consumo (kWh)	Consumo (% do total)
Iluminação	Lâmpada fluorescente compacta 15W	4	15	5,0	35,0	87,5	5,3	4,48
Cocção	Refrigerador 200L, 1 porta	1	60	16,0	112,0	466,7	28,0	23,88
	Liquidificador	1	300	0,2	0,5	2,1	0,6	0,53
Serviço	Ferro elétrico	1	1000	0,5	0,5	2,1	2,1	1,78
Lazer e trabalho	TV cores 20"	1	90	4,0	28,0	116,7	10,5	8,96
	Celular (cargas de bateria)	1				30,0	0,2	0,20
Aquecimento água	Chuveiro elétrico, posição verão	1	3454	0,5	3,8	15,9	54,8	46,74
Conforto	Ventilador	1	90	6,0	42,0	175,0	15,8	13,43
Total:							117,2	100,00

Fonte: Autores.

De maneira a mensurar o potencial de implantação do sistema solar proposto, foi realizado um levantamento de imagens aéreas geradas pelo *Google Earth.* O intuito da análise foi o de verificar se as habitações no entorno da escola municipal possuem laje plana, ou telhado. Em caso de telhados, procurou-se identificar qual é a sua orientação geográfica. Para a análise das imagens foi delimitada uma amostra de duas quadras ao redor da escola, aproximadamente. Com essa área, foi possível identificar 191 coberturas de edificações, com orientações Norte, Sul, Leste, Oeste, Nordeste, Noroeste, Sudeste e Sudoeste, além de lajes planas.

Embora a análise baseada nas imagens *Google Earth* não seja categórica em suas conclusões, foi possível identificar que a maior parte das edificações possui laje plana, ou coberturas com inclinações orientadas nas direções Nordeste, Norte e Noroeste, permitindo que a implantação do sistema solar proposto possa alcançar seu melhor desempenho, que é a orientação Norte.

A tabela 4 informa o quantitativo das coberturas, enquanto a figura 3 mostra o estudo de imagens com a localização da escola municipal em amarelo.

Os tipos de coberturas que potencializam a captação da radiação solar para o sistema são aquelas que têm orientações Norte, Nordeste o Noroeste, assim como a laje plana – elas somam 57,6%. Esse número indica que mais da metade das edificações possuem as características que permitem a utilização do sistema solar com eficiência.

Tabela 4: Quantitativos das orientações das coberturas no entorno da EMHJS

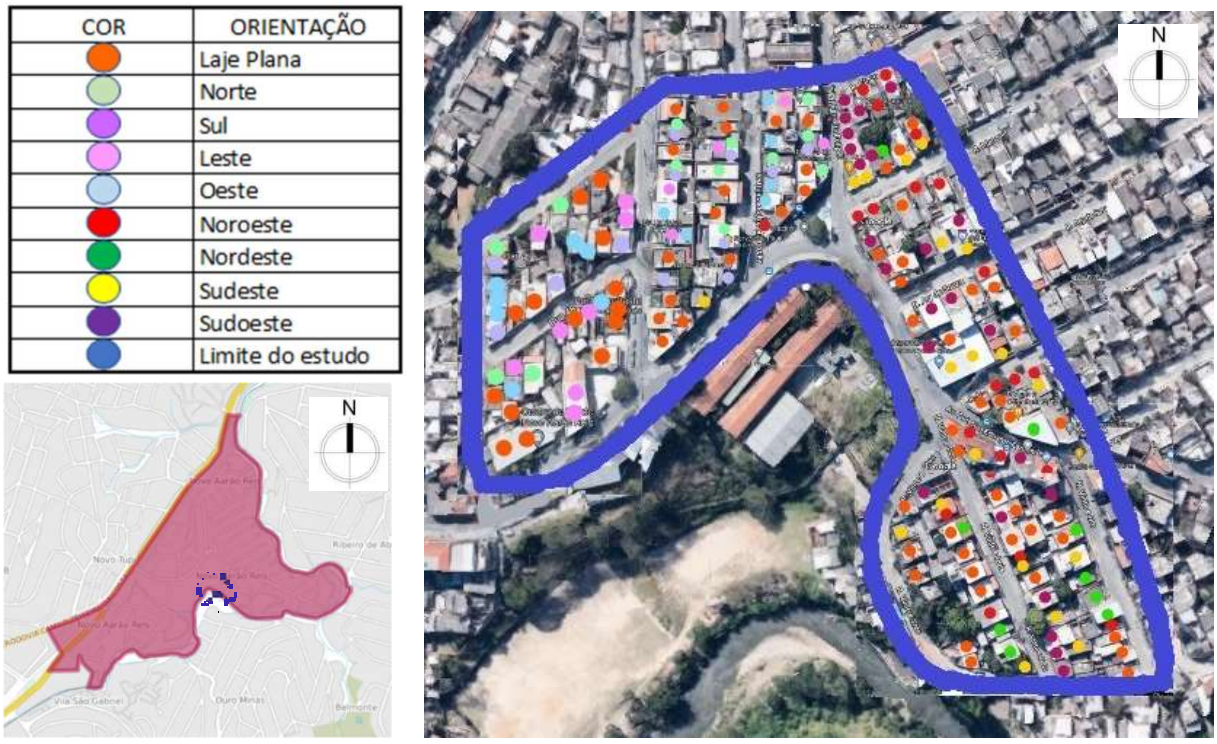
Orientação	Quantidade (un.)	Porcentagem (%)
Laje Plana	68	35,6%
Norte	13	6,8%
Sul	12	6,3%
Leste	13	6,8%
Oeste	13	6,8%
Noroeste	20	10,5%
Nordeste	9	4,7%
Sudeste	19	9,9%
Sudoeste	24	12,6%
TOTAL	191	100,0%

Fonte: Autores.

Pondera-se, entretanto, para este estudo, que todas as edificações seguem o padrão de construção térrea e 1º pavimento, que é o típico da região. Assim, não se considerou o eventual sombreamento que uma edificação faz sobre a vizinha.

Considerando que as orientações de telhado apresentam uma configuração favorável para captação de energia, e que o consumo médio pode ser suprido e ainda gerar excedente em sistemas fotovoltaicos, verifica-se um bom potencial para o PVT.

Figura 3: À esquerda e abaixo, o contorno do bairro Novo Aarão Reis; à direita a região de estudo que cerca a EMHJS (círculo preto) com esquema de bolas coloridas de acordo com a orientação das coberturas; e à esquerda e acima o quadro de legendas.



Fonte: Autores.

Desta forma, o uso do SFV conectado à rede elétrica possibilita que a geração excedente de energia elétrica possa ser transferida para o sistema da concessionária de energia elétrica e essa quantidade seja transformada em créditos monetários. Já o uso de água quente proporcionada pelo SAST pode ser usado nos chuveiros elétricos, o equipamento de maior consumo energético nas residências, como visto na tabela 3.

Os ensaios do GREEN encontraram eficiência térmica dos protótipos entre 52,24% e 61,06%. Ainda, de acordo com os ensaios, nota-se que a produção de energia variou entre 123,77 kWh/mês e 143,33 kWh/mês, de acordo com o modelo utilizado, para uma área externa de coletor de 1,71m². Considerando o consumo de 117,09 kWh/mês por domicílio, um módulo do sistema PVT desenvolvido pelo GREEN seria capaz de fornecer energia para uma residência, com o excedente enviado à rede da concessionária.

Ao se escalonar esse valor de 143,33 kWh/mês de 1 módulo fotovoltaico, para o bairro Novo Aarão Reis, que possui 2.509 domicílios, a capacidade de geração poderia chegar a 359,62 MWh/mês, caso todas as residências estivessem nas condições de inclinação de telhado orientado aproximadamente a Norte, ou laje plana. Como o estudo aponta que 57,6% das casas estão nessas condições, a geração seria de 207,14 MWh/mês, suficiente para prover energia para aproximadamente 70% das residências.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a análise dos resultados censitários, da orientação das coberturas das edificações do bairro Novo Aarão Reis, em Belo Horizonte/MG, e da verificação das características do PVT, é possível dizer que há um potencial energético que pode ser explorado pelo sistema em questão.

Uma vez que não foram encontrados estudos que abordem o potencial de utilização de PVT em habitações de baixa renda e os ganhos em sustentabilidade em termos de consumo energético, pesquisas como esta são fundamentais para a divulgação de tecnologias que utilizam a energia proveniente do Sol como recurso natural. A adoção e difusão dos sistemas solares, em especial o PVT, no mercado, possivelmente possibilitaria uma redução nos valores de investimento, viabilizando a implantação do sistema. É importante destacar que as políticas públicas devem vislumbrar a sustentabilidade do sistema energético de uma forma mais ampla. A implantação de sistemas energéticos eficientes, mesmo com um custo aparentemente elevado na fase de implantação, pode gerar grandes benefícios quando considerado o ciclo de vida completo das edificações – benefícios que poderão ser apropriados não somente para os moradores, mas também para a sociedade como um todo.

A investigação em tela está em andamento e constitui uma primeira etapa exploratória para um estudo que deverá ser mais aprofundado, e trazer discussões a respeito do tema, a fim de contribuir com o aumento da resiliência das comunidades

locais em termos de acesso a níveis de conforto desejáveis, e garantir a segurança energética por meio da substituição das fontes de energia esgotáveis por fontes sustentáveis.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

[1] ALMEIDA, E.; LOSEKANN, L.; MELO, Y.E.; MEJDALANI, A. **As dimensões ocultas da pobreza energética: a relação entre furto, qualidade da energia e segurança pública na cidade do Rio de Janeiro**. Agência EPBR, Seção Colunas e Opinião, 19/12/2018. Disponível em https://epbr.com.br/as-dimensoes-ocultas-da-pobreza-energetica-a-relacao-entre-furto-qualidade-da-energia-e-seguranca-publica-na-cidade-do-rio-de-janeiro/. Acesso em 08 ago. 2022.

[2] STRATEGY&. **Proposições para os problemas das perdas não técnicas na distribuição de energia elétrica**. Dezembro de 2020. Disponível em https://www.strategyand.pwc.com/br/pt/no-que-pensamos/Proposicoes_para_os_Problemas_das_Perdas_Nao_Tecnicas_na_Distribuicao_de_Energia_Eletrica_A4_07Dez2020_VF.pdf. Acesso em 08 ago. 2022.

[3] JORNAL O Estado de Minas Gerais. **'Gatos' de energia crescem 63% em Belo Horizonte**. 21/06/2017. Disponível em https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2017/06/21/interna_gerais,877873/gatos-de-energia-crescem-63-em-belo-horizonte.shtml. Acesso em 08 ago. 2022.

[4] CERATTI, M. K. **Os 'gatos' custam bilhões ao Brasil e à América Latina**. Jornal El País, seção Internacional, 25/07/2015. Disponível em https://brasil.elpais.com/brasil/2015/07/21/internacional/1437514682_786439.html. Acesso em 08 ago. 2022.

[5] ABSOLAR (Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica). **Energia solar ultrapassa carvão e nuclear juntas.** São Paulo, 2020. Disponível em https://www.absolar.org.br/noticia/energia-solar-ultrapassa-carvao-e-nuclear-juntas-e-atinge-mais-de-r-30-bilhoes-em-investimentos-acum/. Acesso em 13 ago. 2022.

[6] ABSOLAR (Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica). **Energia solar fotovoltaica: como funciona, vantagens, desvantagens e principais desafios para o futuro.** São Paulo, 2021. Disponível em https://www.absolar.org.br/noticia/energia-solar-fotovoltaica-como-funciona-vantagens-desvantagens-e-principais-desafios-para-o-futuro/. Acesso em 13 ago. 2022.

[7] WAY CARBON. **Análise de vulnerabilidade às mudanças climáticas do município de Belo Horizonte.** Relatório. Belo Horizonte: PBH, 2016.

[8] LIMA, G. A. de *et al*. Análise de eficiência de um coletor solar PVT por simulação numérica com base no mapa solarimétrico de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 7º, 2016, Campina Grande. **Anais [...]** Campina Grande: CONGEA, 2017. p. 1-6.

[9] FRAIDENRAICH, N. **Tecnologia solar no Brasil. Os próximos 20 anos.** Disponível em: http://www.cgu.unicamp.br/energia2020/papers/paper_Fraidenraich.pdf. Acesso em: 18 ago. 2021.

[10] FANTINELLI, J. T.; PEREIRA, E. M. D. Contagem +10: experiência em comunidade de baixa renda. In: VASCONCELLOS, Luiz Eduardo Menandro de (org.). **Energia Solar para aquecimento de água no Brasil**: contribuições da Eletrobrás PROCEL e parceiros. Rio de Janeiro: Eletrobrás/PROCEL, 2012. p. 89-108.

[11] CHOW, T. T.; TIWARI, G. N.; MENEZO, C. Hybrid Solar: **A Review on Photovoltaic and Thermal Power Integration. New Delhi: International Journal of Photoenergy**, 2012.

[12] MAGLIAVACCA, A., *et al*. **Placas fotovoltaicas refrigeradas a água e a possibilidade de cogeração elétrica e térmica**. Santa Catarina: Instituto Federal de Santa Catarina, 2013.

[13] Op. cit [8].

[14] IPUC. **GREEN PUC Minas**. 2017. Disponível em: https://ipuc.pucminas.br/green/sobre.html. Acesso em: 13 jun. 2022.

[15] IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada). **Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis**, 2019. Disponível em https://ipea.gov.br/ods/ods11.html. Acesso em 23 out. 2020.

[16] Op. cit. [5].

[17] Op. cit. [7].

[18] PROCEL. **Pesquisa de Posse e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos na Classe Residencial – Região Sudeste**. Relatório Técnico. Brasília: PROCEL, 2019.

[19] Op. cit. [8].

[20] PROCÓPIO, O. L. *et al*. Modelo analítico do comportamento térmico e elétrico de um módulo PV/T e sua avaliação pela primeira lei da termodinâmica. **Revista Brasileira de Energia Solar**, [S. L.], v. 7, n. 7, p. 74-82, 1 jul. 2016. Semestral. Disponível em: https://rbens.emnuvens.com.br/rbens/article/view/149/147. Acesso em: 13 jun. 2022.

[21] PALLA, N. *et al*.,2014. Development of Multivalent PV-Thermal Collectors for Cooling, Heating and Generation of Electricity. In: INTERNATIONAL PLEA CONFERENCE, 30ª 2014, Ahmedabad. **Proceedings [...]** Ahmedabad: CEPT University, 2014, p. 16-18.

[22] BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Matriz energética e elétrica.** Disponível em http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica. Acesso em 28 mai. 2020.

[23] SCHULTZ, A. **Análise da Viabilidade Econômica da Utilização do Sistema Fotovoltaico em Habitações de Interesse Social em Belo Horizonte, MG**. 2021. 88 f. Monografia (Especialização) - Curso de Sustentabilidade Aplicada A Cidades, Edificações e Produtos, Dep. TAU, EA-UFMG, Belo Horizonte, 2021.

[24] Op. cit. [18].

[25] IBGE (Belo Horizonte). **IBGE Cidades**: panorama. Panorama. 2021. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/belo-horizonte/panorama. Acesso em: 20 maio 2022.

[26] BELO HORIZONTE. PBH. **Dados Geoespaciais da Prefeitura de Belo Horizonte**. Disponível em: https://prefeitura.pbh.gov.br/bhgeo. Acesso em: 29 maio 2022.