



# ENTAC 2024

XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO  
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024



## Análise da viabilidade econômica de ações de eficiência energética aplicadas a uma edificação unifamiliar de alto padrão utilizando a INI-R

Analysis of the economic feasibility of energy efficiency actions applied to a high-end single-family building using INI-R

### Nádia Antunes da Paz

IFES | Vitória-ES | Brasil | [nadia.pazlb@gmail.com](mailto:nadia.pazlb@gmail.com)

### Márcio Almeida Có

IFES | Vitória-ES | Brasil | [marcio@ifes.edu.br](mailto:marcio@ifes.edu.br)

### Saulo Vieira de Oliveira Silva

IFES | Vitória-ES | Brasil | [saulovieira@ifes.edu.br](mailto:saulovieira@ifes.edu.br)

### Pablo Rodrigues Muniz

IFES | Vitória-ES | Brasil | [pablorm@ifes.edu.br](mailto:pablorm@ifes.edu.br)

### Resumo

Este trabalho analisou economicamente a implementação de medidas de eficiência energética em uma edificação residencial unifamiliar de alto padrão na Zona Bioclimática 8, utilizando a Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INI-R), considerando os investimentos marginais e economias operacionais das medidas analisadas. Quatro medidas de eficiência energética foram propostas à envoltória: troca dos vidros das janelas por vidros com baixo fator solar e transmitância térmica; alteração para uma cor mais clara para a tinta das paredes externas; troca da cor das telhas, também por cor mais clara; e substituição dos aparelhos condicionadores de ar por mais eficientes. Para o sistema de aquecimento de água, foi proposta a utilização de aquecedores a gás como alternativa às duchas elétricas. A melhoria da envoltória mostra-se viável economicamente, com *payback* descontado de nove anos. Para aquecimento de água, a atratividade do sistema de aquecimento a gás depende da inflação desse combustível e da energia elétrica, que têm apresentado alta variabilidade.

Palavras-chave: Medidas de eficiência energética. Análise econômica. Eficiência energética em edificações. INI-R.

### Abstract

*This paper economically analyzed the implementation of energy efficiency measures in a high-end single-family residential building in Bioclimatic Zone 8, using the Inmetro Normative*



Como citar:

PAZ, N. A. et. al. Análise da viabilidade econômica de ações de eficiência energética aplicadas a uma edificação unifamiliar de alto padrão utilizando a INI-R. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais...** Maceió: ANTAC, 2024.

*Instruction for the Energy Efficiency Classification of Residential Buildings (INI-R), considering marginal investments and savings operational aspects of the analyzed measures. We proposed four energy efficiency measures for the envelope: replacing window glass with glass with low solar factor and thermal transmittance; changing to a lighter color for the paint on the external walls; changing the color of the tiles, also to a lighter color; and replacing air conditioning devices to more efficient ones. For the water heating system, gas heaters were proposed as an alternative to electric showers. Improving the envelope appears to be economically viable, with a discounted payback of nine years. For the water heating system, the attractiveness of the gas heating system depends on the inflation of this fuel and electrical energy, which have shown high variability.*

*Keywords: Energy efficiency measures. Economic analysis. Energy efficiency in buildings. INI-R.*

## INTRODUÇÃO

Edificações residenciais representam 27,0% do consumo de energia elétrica, ficando atrás apenas do setor industrial, com 37,3% [1]. Entretanto, quando comparada ao segmento de edificações (comerciais, pública e residenciais), as unidades residenciais representam 65% do consumo de energia elétrica do segmento [2].

Considerando os números significativos de consumo de energia elétrica pelas edificações do país, o setor tem grande potencial de conservação de energia e consequente economia. Segundo técnicos e pesquisadores, é possível atingir 30% de economia nas edificações existentes que passem por *retrofit*, e 50% quando se considera a eficiência energética desde a fase de projeto [3], [4].

A Lei 10295/2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação de Energia, estabeleceu que o poder público deve definir os níveis máximos de consumo específico e mínimos de eficiência de máquinas e equipamentos fabricados e comercializados no Brasil, prevendo também mecanismos de promoção da eficiência energética em edificações. De lá para cá o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), fiscalizado e acompanhado pelo Inmetro, tem se desenvolvido e ampliado. A Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) em Edifícios integrou o programa nacional com a designação PBE – Edifica, a partir de 2009, em caráter voluntário. Os documentos conhecidos por RTQ-C e RTQ-R estabeleciam os requisitos técnicos de qualidade e métodos de classificação para o nível de eficiência energética de edificações comerciais e residenciais respectivamente [5], [6], [7].

A fim de promover melhorias nos métodos anteriores, foi publicada, em 2022, a Portaria Consolidada nº 309, que revoga os métodos de avaliação RTQs, substituindo-os pelos documentos Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INI-R), Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) e seu respectivo Requisito de Avaliação da Conformidade (RAC) [8].

As Instruções Normativas avaliam e classificam edificações de modo a ser possível, por meio de etiquetagem, o fornecimento do potencial de economia energética do imóvel. Com isso, espera-se que o consumidor seja incentivado a adquirir e utilizar casas e apartamentos mais eficientes, o que contribui para diminuir a demanda por energia elétrica, impactando positivamente a economia do país [5].

No caso das edificações residenciais, são dois sistemas individuais avaliados pela Instrução Normativa: a envoltória e o aquecimento de água. A envoltória pode ser avaliada utilizando o método prescritivo, simplificado, ou de simulação, já o sistema de aquecimento de água deve ser avaliado sempre pelo método simplificado [9].

Uma das inovações da nova forma de classificação estabelecida pelas INI-R e INI-C é de se estimar o percentual de redução de demanda de energia primária da edificação sob estudo em relação a uma edificação de referência. Isso permite, de forma mais direta e subsequente, a avaliação da viabilidade econômica de medidas de eficiência energética.

O Objetivo deste trabalho é de realizar a avaliação energética e análise da viabilidade econômica da implementação de medidas de conservação de energia em um projeto de uma edificação unifamiliar de alto padrão com base na aplicação da metodologia estabelecida na INI-R. São propostas melhorias em um projeto arquitetônico de uma residência real de modo a atingir o nível máximo de eficiência na classificação da etiqueta, e posteriormente feita uma análise de viabilidade econômica dessas ações.

A edificação do estudo de caso está localizada em Vitória/ES. Sua escolha, em função de suas características, se deu pelo fato de a Pesquisa de Posse e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos (PPH) na Classe Residencial da região sudeste do Brasil apontar que as residências unifamiliares corresponderem a 93,39% da tipologia das residências da região. Ademais, os grupos considerados da classe socioeconômica A e B (alto padrão) são os que mais consomem energia elétrica, apresentando a média de consumo de 162,92 a 236,47 kWh por mês [10].

## **METODOLOGIA**

Definido o projeto de uma edificação residencial que é utilizada como objeto de estudo, foi realizada a avaliação de eficiência energética pelo método simplificado segundo a Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INI-R).

Em seguida, são propostas diferentes medidas de eficiência energética a fim de que a edificação atinja o maior nível de eficiência possível, atingindo a classificação A na ENCE. Assim, nessa etapa classifica-se a residência novamente pelo mesmo método simplificado da INI-R, porém com as medidas de eficiência implementadas à edificação.

Por fim, é realizada a análise de viabilidade econômica, levando em consideração a economia que as Medidas de Eficiência Energética (MEEs) proporcionaram, e seus custos de implantação.

## **OBJETO DE PESQUISA**

A tipologia do projeto da edificação estudada é uma residência unifamiliar composta por dois pavimentos, localizada em Vitória no estado do Espírito Santo. A área total construída é de 167,32 m<sup>2</sup>, sendo o térreo 83,31 m<sup>2</sup> e o pavimento superior de 84,01 m<sup>2</sup>. A Figura 1 apresenta a vista frontal da residência.

O térreo, mostrado na Figura 2, contém área de serviço, depósito e lavabo como Ambientes de Permanência Transitório (APTs), um quarto e uma sala como Ambientes de Permanência Prolongada (APPs). O ambiente da sala abrange a área correspondente ao espaço interno da cozinha e circulação, pois como não possuem divisão de paredes ou divisórias piso-teto que os torne ambientes fechados, são integrados num único ambiente.

O pavimento superior, mostrado na Figura 3, conta com dois banheiros, um closet e circulação como APTs, e três quartos como APPs. Observa-se que a garagem do térreo, a varanda do 2º pavimento, e as escadas foram desconsiderados por tratar-se de ambientes abertos, que não contém fechamento de paredes, teto e piso.

As paredes da UH são compostas por blocos de tijolos cerâmicos (9x14x24) cm<sup>3</sup> com rebocos interno e externo de 2,5 cm de espessura, e pintura externa na cor cinza do tipo acrílica semibrilho.

A cobertura é composta por telha fibrocimento cinza claro com 15% de inclinação, câmara de ar maior que 5 cm e laje maciça de concreto de 10 cm. A cor da telha é cinza claro, cujo nome comercial é Jade, de acordo com o Manual RAC: Catálogo de Propriedades Térmicas [12], e tem absorvância solar equivalente a 0,523. Todos os APPs possuem esse mesmo tipo de cobertura. Já o piso, é considerado laje maciça de concreto de 10 cm.

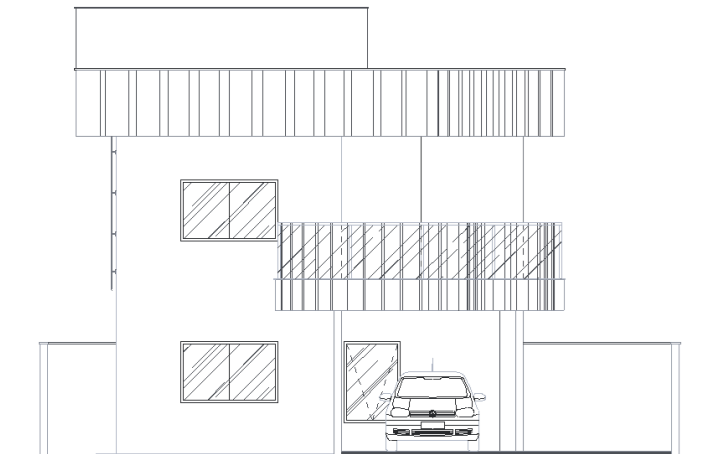
As aberturas da sala são compostas por duas janelas diferentes, de *maxim-ar* e de duas folhas; já os quartos, são compostos de janelas do tipo duas folhas. Os elementos transparentes, responsáveis pela iluminação natural, são compostos por vidro simples, 3 mm incolor, com fator solar (FS) de 0,87 e transmitância térmica de 5,7 W/m<sup>2</sup>K.

#### AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ENERGÉTICO PELO MÉTODO SIMPLIFICADO DA INI-R

A classificação de eficiência energética da UH, pelo método simplificado da INI-R, é dada pelo percentual de redução do consumo de energia primária (RedCEP) da UH real em comparação a uma UH de referência avaliando a envoltória e o sistema de aquecimento de água. A classificação individual para a envoltória é baseada em redes neurais artificiais (metamodelo) treinada a partir de um banco de dados de simulações e aplicada por meio de uma ferramenta web do PBE-Edifica. Já a classificação individual do sistema de aquecimento de água depende da estimativa de demanda de água quente da edificação e da redução de consumo de energia para seu aquecimento. [9].

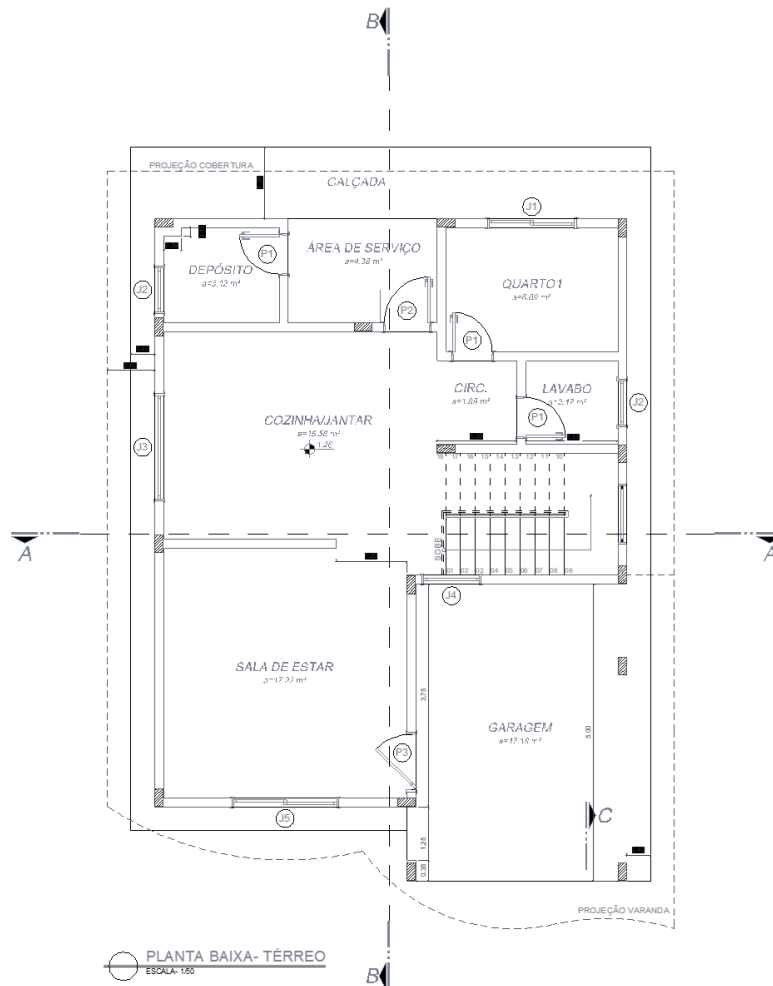
A aplicação do metamodelo utiliza parâmetros de entrada referentes à envoltória complementado por informações características dos sistemas de condicionamento de ar e de aquecimento de água. Como resultado, a ferramenta retorna dados como o consumo de energia primária da UH na condição real (edificação do estudo de caso) e na condição de referência (edificação que possui classe nível C, com parâmetros descritos na norma ABNT NBR 15575:2021 [13]) e o percentual de redução de consumo entre as duas condições. A plataforma apresenta também a classificação dos sistemas individuais avaliados e a classificação geral da UH, nas categorias de “A” (mais eficiente) a “E” (menos eficiente).

Figura 1 – Vista frontal da unidade habitacional objeto de estudo



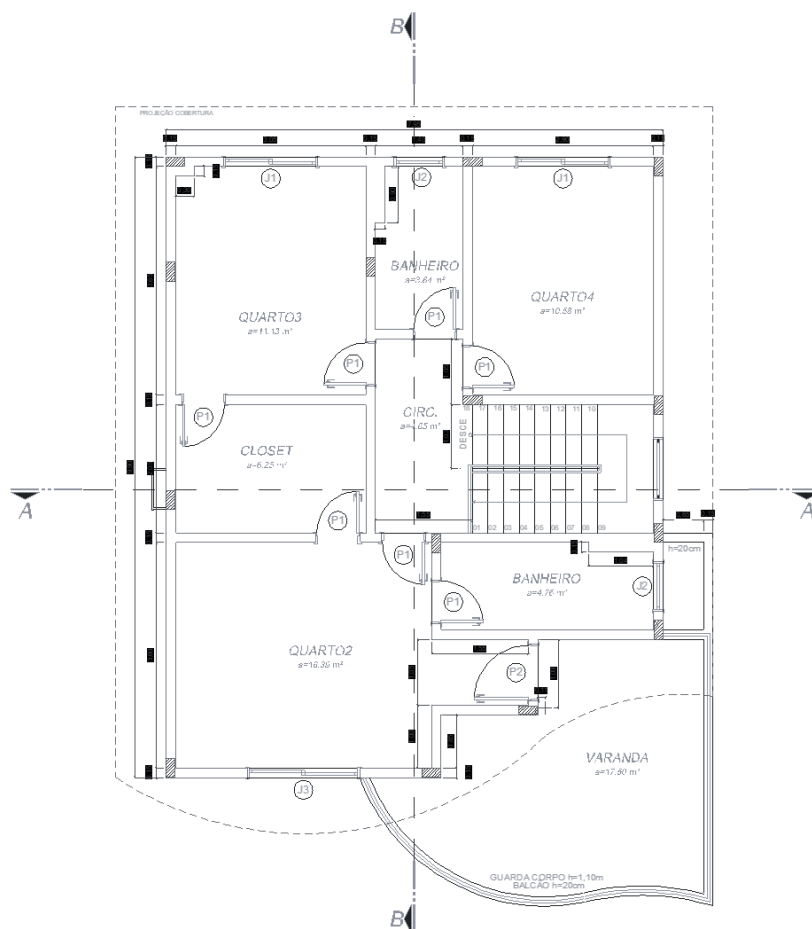
Fonte: [11].

Figura 2 – Planta baixa do térreo da unidade habitacional objeto de estudo



Fonte: [11].

Figura 3 – Planta baixa do pavimento superior da unidade habitacional objeto de estudo



Fonte: [11].

### APLICAÇÃO DAS MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Para a envoltória buscou-se alterar seus componentes, assim como fez Sousa [14], adicionando elementos com menores valores de transmitância térmica nas paredes externas, cobertura e elementos transparentes, e buscando elementos com menor valor de absorvância solar das paredes externas e cobertura. Nos elementos transparentes foram trocados os vidros existentes no projeto por vidros menor valor de fator solar.

Nas paredes externas, foi alterado somente a tinta, de acrílica semibrilho na cor cinza, de absorvância solar igual a 0,864, para tinta acrílica semibrilho na cor marfim, de absorvância solar igual a 0,339. Já os vidros antigos das janelas, de 3 mm incolor, de fator solar de 0,87 e transmitância térmica de 5,700 W/m<sup>2</sup>K, foram trocados por vidros do tipo 6 mm, de transmitância térmica de 3,139 W/m<sup>2</sup>K e fator solar de 0,29.

Na cobertura, foi substituída a telha fibrocimento cinza (absorvância de 0,523, transmitância térmica de 2,13 W/m<sup>2</sup>K e capacidade térmica de 233 kJ/m<sup>2</sup>K) pela telha trapezoidal termoacústica branca. Esta última conhecida também como telha sanduíche, possui isolante térmico de poliestireno e um acabamento na cor branca, que possui absorvância equivalente a 0,362, transmitância térmica 0,61 W/m<sup>2</sup>K e capacidade térmica 229 kJ/m<sup>2</sup>K. A estrutura de madeira que sustenta as telhas, não foi

alterada, pois a telha sanduíche possui menor densidade de massa por área que a fibrocimento.

Ainda a respeito da cobertura, foi avaliada a aplicação de telhas de fibrocimento na cor branca alternativamente à telha termoacústica, ou seja, o mesmo material das telhas previstas no projeto da UH, porém em cor mais clara. Essa escolha foi tomada para verificar a diferença na classificação da envoltória com esses dois tipos de telha, e comprovar se as conclusões dos estudos de Accioly (2013) [3] e Martins (2022) [15] se confirmam no presente trabalho, os quais afirmaram que telhas com isolamento térmico não são apropriadas à zona bioclimática 8 ou que não desempenham mudanças significativas na classificação de eficiência energética quando comparada às telhas comuns.

Por fim, para que o consumo com refrigeração dos APPs diminua, foi proposta a troca dos condicionadores de ar split inverter de 9.000 BTU/h de Coeficiente de Eficiência Energética (CEE) de 3,24, por aparelhos do mesmo modelo, porém com um CEE de 5,50.

Já para o sistema de aquecimento de água, foi proposto substituir o chuveiro elétrico pelo aquecedor de passagem a GLP, de forma a atender toda a demanda de água quente da UH, sem armazenamento e recirculação.

#### ANÁLISE ECONÔMICA

Após definir e apresentar as propostas de melhorias para a residência do estudo de caso, foram realizadas estimativas de preços dessas medidas de eficiência energética, e considerado seu custo incremental. Em conjunto, foi estimada a economia gerada pelas MEEs, que é considerada como os ganhos econômicos proporcionados por essas.

Para que seja estimado o investimento inicial das MEE, foi feita uma pesquisa de mercado dos itens previstos no projeto da UH, e os itens que foram substituídos ou adicionados, e tomada a diferença entre os preços. Os custos de mão de obra foram desconsiderados, pois o valor gasto com a mão de obra no projeto original é equivalente ao valor gasto para o projeto com as MEE adotadas, devido a somente substituição dos materiais.

Quanto às economias em energia, foi tomada a diferença do consumo com energia elétrica e térmica da residência original com a residência eficiente.

Depois de definidos os valores de entrada e saída do fluxo de caixa, é definida a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 12,5% a.a., utilizando o mesmo valor da taxa Selic, a qual segundo o Banco Central do Brasil - BCB (2023, p. 1) “[...] é a taxa básica de juros da economia, que influencia outras taxas de juros do país, como taxas de empréstimos, financiamentos e aplicações financeiras”. A taxa Selic adotada é referente a taxa registrada em dezembro de 2023.

O horizonte para análise de projeto foi considerado de 10 anos, assim como fez Neto (2018)[16], Vieira (2022) [17] e Martins (2022) [15]. Dessa forma, o *payback* aceitável que torna o projeto viável é de no máximo 10 anos.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### MELHORIA NO DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO

Na primeira análise energética do estudo de caso, foi recebido da ferramenta web de aplicação do metamodelo a classificação geral da UH e da envoltória - o nível C, e do sistema de aquecimento de água - o nível D.

Depois de implementadas as melhorias na edificação, foi realizada uma nova análise energética, tanto com a telha sanduíche quanto com a telha fibrocimento, e ambas obtiveram nível A como resultado da classificação de eficiência energética da UH e dos sistemas individuais.

A Tabela 1 reúne os indicadores termoenergéticos estimados pelo metamodelo para a UH original e para a UH com as MEE sugeridas. **Tabela 2** Como pode ser visto, o desempenho associado tanto à telha termoacústica quanto à de fibrocimento são muito semelhantes. Dessa forma, como o custo da telha sanduíche branca é muito superior ao da telha de fibrocimento branca, adotou-se a telha de fibrocimento para compor o conjunto das MEEs.

Nota-se aumento de Percentual de Horas de Ocupação Dentro de Uma Faixa de Temperatura Operativa (PHFT%) e redução de Temperatura Operativa Anual Máxima ( $T_{OMAX}$ ). O primeiro parâmetro está relacionado ao aumento do conforto térmico na edificação enquanto ela é habitada, e o segundo diz respeito a diminuição da máxima temperatura que a residência pode atingir. Já a Carga térmica de refrigeração total será utilizado para cálculo da energia elétrica necessária nos sistemas de condicionamento de ar.

Os consumos de energia primária para condicionamento de ar e aquecimento de água estão reunidos na Tabela 2. Nela são apresentados também os percentuais de redução das duas condições (projeto original e com medidas de eficiência energética) em relação à edificação de referência, parâmetro utilizado na classificação geral da edificação.

### ANÁLISE ECONÔMICA

Para determinar os valores gastos em energia elétrica foi considerada a tarifa de R\$ 0,87894 por kWh [18], [19]. A inflação da energia elétrica foi considerada com o índice de +5,596% a.a., que é uma média dos reajustes ocorridos nos últimos 5 anos (2019 a 2023) [18].

Já para o GLP, combustível do aquecedor a gás, foi cotada a média de 7,3231 R\$/kg do gás, no estado do Espírito Santo [20], com inflação média de +10,539% a.a. nos últimos 5 anos [21].

Na Tabela 3, são mostrados os Fluxos de Caixa Simples, Descontado e Descontado Acumulado no decorrer dos 10 anos referente a análise econômica das medidas de melhoria da envoltória. Já na Tabela 4 é mostrada a TIR, VLP e o *payback* descontado também referentes ao investimento na envoltória.

Como pode ser observado pela Tabela 4, a Taxa Interna de Retorno é superior à Taxa Mínima de Atratividade, o Valor Presente Líquido é maior que zero, e o Tempo de



Retorno de Capital previsto é 9 anos. Desse modo, os indicadores mostram que o investimento é economicamente viável.

**Tabela 1 – Indicadores de desempenho termoenergético da unidade habitacional**

Indicador	Edificação original	Edificação com medidas de eficiência energética	
		Telha termoacústica	Telha de fibrocimento
Percentual de Horas de Ocupação Dentro de Uma Faixa de Temperatura Operativa - <i>PHFT</i> [%]	55,37	71,09	70,35
Carga Térmica de Refrigeração - <i>CgTR</i> [kWh/ano]	6.297,57	3.325,38	3.394,02
Temperatura Operativa Anual Máxima - <i>T<sub>OMAX</sub></i> [°C]	32	30	30

Fonte: os autores.

**Tabela 2 – Consumo de energia primária da unidade habitacional**

Parâmetro	Edificação original	Edificação com medidas de eficiência energética
Consumo para condicionamento da UH [kWh/ano]	3.015,09	1.250,13
Consumo para atender a demanda de água quente da UH [kWh/ano]	4.454	3.487
Percentual de Redução de Consumo de Aquecimento de Água quando comparada à condição de referência [%]	0	21,71
Percentual de Redução de Consumo Total da UH quando comparado à condição de referência [%]	2,33	38,03

Fonte: os autores.

**Tabela 3 - Fluxo de Caixa do Investimento em Melhorias na Envoltória**

Ano	Fluxo de Caixa Simples	Fluxo de Caixa Descontado	Fluxo de Caixa Descontado Acumulado
0	-R\$ 5.856,75	-R\$ 5.856,75	-R\$ 5.856,75
1	R\$ 969,56	R\$ 863,75	-R\$ 4.993,00
2	R\$ 1.023,82	R\$ 812,55	-R\$ 4.180,45
3	R\$ 1.081,11	R\$ 764,38	-R\$ 3.416,07
4	R\$ 1.141,61	R\$ 719,07	-R\$ 2.697,00
5	R\$ 1.205,49	R\$ 676,45	-R\$ 2.020,55
6	R\$ 1.272,95	R\$ 636,35	-R\$ 1.384,20
7	R\$ 1.344,19	R\$ 598,63	-R\$ 785,58
8	R\$ 1.419,41	R\$ 563,14	-R\$ 222,44
9	R\$ 1.498,84	R\$ 529,76	R\$ 307,32
10	R\$ 1.582,71	R\$ 498,35	R\$ 805,68

Fonte: os autores.

**Tabela 4 - Resultados do Investimento em Melhorias na Envolvória**

<b>Taxa Interna de Retorno</b>	15,25% a.a.
<b>Valor Presente Líquido</b>	R\$ 805,68
<b>Payback descontado</b>	9 anos

Fonte: os autores.

Na Tabela 5, são mostrados os Fluxos de Caixa no decorrer dos 10 anos referente a análise econômica das medidas de melhoria do sistema de aquecimento de água. Já na Tabela 6 é mostrada a TIR, VPL e o *payback* descontado também referentes ao investimento desse sistema.

Os resultados econômicos para o investimento em melhorias no sistema de aquecimento de água não foram satisfatórios, como pode ser observado na Tabela 6. O valor de VPL é menor que zero, o *payback* é maior que o horizonte de projeto e a não é possível calcular a TIR, caracterizando assim um projeto inviável economicamente.

Como já mencionado anteriormente, o reajuste estimado do GLP (+10,539% a.a.) é muito superior ao reajuste da energia elétrica (+5,596% a.a.). Tendo em vista que uma análise econômica se trata de uma previsão de cenários futuros que pode não representar a realidade, foi feita uma análise supondo a inflação do GLP igual ao Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), que registrou uma média dos cinco últimos anos de 5,860% a.a. [22].

Os novos resultados de análise econômica são mostrados na Tabela 7.

**Tabela 5 - Fluxo de Caixa do Investimento em Melhorias no Sistema de Aquecimento de Água**

<b>Ano</b>	<b>Fluxo de Caixa Simples</b>	<b>Fluxo de Caixa Descontado</b>	<b>Fluxo de Caixa Descontado Acumulado</b>
0	-R\$ 3.219,22	-R\$ 3.219,22	-R\$ 3.219,22
1	R\$ 648,60	R\$ 577,82	-R\$ 2.641,40
2	R\$ 596,02	R\$ 473,03	-R\$ 2.168,37
3	R\$ 531,13	R\$ 375,53	-R\$ 1.792,85
4	R\$ 452,25	R\$ 284,86	-R\$ 1.507,99
5	R\$ 357,51	R\$ 200,61	-R\$ 1.307,37
6	R\$ 244,82	R\$ 122,39	-R\$ 1.184,99
7	R\$ 111,84	R\$ 49,81	-R\$ 1.135,18
8	-R\$ 44,03	-R\$ 17,47	-R\$ 1.152,65
9	-R\$ 225,72	-R\$ 79,78	-R\$ 1.232,43
10	-R\$ 436,47	-R\$ 137,43	-R\$ 1.369,86

Fonte: os autores.

**Tabela 6 - Resultados do Investimento em Melhorias no Sistema de Aquecimento de Água**

<b>Taxa Interna de Retorno</b>	N/A
<b>Valor Presente Líquido</b>	-R\$ 1.369,86
<b>Payback descontado</b>	>10 anos

Fonte: os autores.

**Tabela 7 - Novos Resultados do Investimento em Melhorias no Sistema de Aquecimento de Água**

<b>Taxa Interna de Retorno</b>	19,59% a.a.
<b>Valor Presente Líquido</b>	R\$ 1.113,39
<b>Payback descontado</b>	7 anos

Fonte: os autores.

Pode-se concluir que, supondo a inflação do GLP igual ao IPCA de 5,860% a.a. nos próximos 10 anos, o investimento na substituição do sistema de aquecimento de água é considerado viável economicamente.

## CONCLUSÕES

Neste estudo de caso houve uma redução considerável nos consumos de energia entre a residência sem e com as medidas de eficiência energética proposta, o que confirma a estimativa de pesquisadores que afirmam ser possível atingir em média uma redução de 50% no consumo energético nas residências que planejam a eficiência energética desde a fase de projeto.

Em relação à análise econômica, foi levantado através de pesquisas de mercado, o investimento de R\$ 9.075,97 em todas as cinco MEEs. Desse valor, R\$ 5.856,75 equivalem à quatro medidas de melhoria da envoltória, e R\$ 3.219,22 equivalem a uma medida de melhoria do sistema de aquecimento de água.

Pôde-se concluir que o investimento em melhorias na envoltória é viável economicamente. Já para o sistema de aquecimento de água, a atratividade ao sistema a gás depende da inflação da energia elétrica e do GLP, que são sujeitas a diversos fatores macroeconômicos e bastante variáveis.

Vale ressaltar que quando um investimento em eficiência energética em uma residência é considerado economicamente inviável é importante considerar os benefícios qualitativos como o conforto térmico e consequente qualidade de vida, mensurados através de carga térmica, Percentual de Horas de Ocupação Dentro de Uma Faixa de Temperatura Operativa e Temperatura Operativa Anual Máxima, bem como os benefícios coletivos, como a redução da demanda por energia elétrica. Portanto, apesar do investimento se apresentar desfavorável em certo cenário, o impacto positivo na qualidade de vida dos indivíduos e vantagens para uma sociedade como um todo podem justificar o investimento.

## AGRADECIMENTOS

Ao Programa Institucional de Difusão Científica (PRODIF) do Ifes pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS

- [1] EPE/MME, “Balanço Energético Nacional (BEN) 2023: Ano Base 2022”, p. 275, 2023, [Online]. Available at: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-748/topico-687/BEN2023.pdf>
- [2] EPE/MME, “Atlas da Eficiência Energética - Brasil | 2023: Relatório de Indicadores”, p. 99, 2023, [Online]. Available at: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao->

- 788/Atlas da Eficiência Energética Brasil 2023.pdf
- [3] B. M. P. ACCIOLY, “Impacto Econômico da Eficiência Energética Aplicada a um Edifício Residencial em Maceió, AL”, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2013.
- [4] Eletrobras/Procel, INMETRO, e CB3E/UFSC, “Introdução ao Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações”, *Introdução ao Programa Bras. Etiquet. Edif.*, p. 12, 2013.
- [5] ELETROBRAS/PROCEL, “Resultados PROCEL 2021: Ano-base 2020”. p. 106, 2021.
- [6] EPE, “Atlas da Eficiência Energética: Relatório de Indicadores”. 2021. [Online]. Available at: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-651/Atlas2021\\_PT\\_2022\\_02\\_04.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-651/Atlas2021_PT_2022_02_04.pdf)
- [7] PBE Edifica, “Conhecendo PBE Edifica”. Acessado: 11 de dezembro de 2022. [Online]. Available at: <http://www.pbeedifica.com.br/conhecendo-pbe-edifica>
- [8] PBE Edifica, “Portaria Consolidada”. Acessado: 14 de março de 2023. [Online]. Available at: <https://pbeedifica.com.br/portariaconsolidada>
- [9] INMETRO, “Instrução Normativa Inmetro para edificações residenciais - INI-R”. p. 70, 2022.
- [10] ELETROBRAS/PROCEL, “Pesquisa de Posse e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos na Classe Residencial: Sudeste 2019”. p. 349, 2019.
- [11] Traços Arquitetura e Consultoria, “Projeto Arquitetônico Residencial de Alto Padrão”. Aracruz, p. 1, 2023.
- [12] INMETRO, “Manual RAC: Catálogo de propriedades térmicas”. p. 20, 2022.
- [13] ABNT, “NBR 15575: Edificações habitacionais – Desempenho”. Rio de Janeiro, 2021.
- [14] R. F. Sousa, “Análise Financeira de Medidas de Eficiência Energética e Geração de Energia em Habitações de Interesse Social”, Universidade Federal de Santa Catarina, 2019.
- [15] F. G. Martins, “Avaliação da Eficiência Energética de uma Residência Unifamiliar em Diferentes Zonas Climáticas do Brasil por Meio de um Método Simplificado”, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022.
- [16] A. B. Neto, “Análise da Eficiência Energética de uma Edificação Residencial Através da Nova Proposta Brasileira de Etiquetagem de Edificações”, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.
- [17] D. Vieira, “Análise da Eficiência Energética de uma Edificação de Hospedagem de Acordo com o Método de Etiquetagem PBE Edifica”, Florianópolis, 2022.
- [18] EDP, “ICMS, PIS e COFINS”. Acessado: 3 de dezembro de 2023. [Online]. Available at: <https://www.edp.com.br/icms-pis-e-cofins/>
- [19] EDP, “Tarifas Vigentes”. Acessado: 2 de dezembro de 2023. [Online]. Available at: <https://www.edp.com.br/tarifas-vigentes/>
- [20] Petrobrás, “Como os Preços são Formados: Gás de Cozinha (GLP)”. Acessado: 4 de dezembro de 2023. [Online]. Available at: <https://precos.petrobras.com.br/web/precos-dos-combustiveis/w/glp/es>
- [21] ANP, “Série Histórica de Preços de Combustíveis e de GLP”. Acessado: 5 de dezembro de 2023. [Online]. Available at: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/dados-abertos/serie-historica-de-precos-de-combustiveis>
- [22] IBGE, “IPCA - Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo”. Acessado: 5 de março de 2024. [Online]. Available at: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/precos-e-custos/9256-indice-nacional-de-precos-ao-consumidor-amplo.html?=&t=o-que-e>