

CONFORTO TÉRMICO DE AMBIENTES RESIDENCIAIS: COBERTURAS RETRÁTEIS COM ISOLANTES TÉRMICOS

Marcos Fernando Zonetti Leal de Mello
Bacharel em Engenharia Civil (marcoszonetti75@gmail.com)

Hudson de Brito Rapouzeiro
Bacharel em Engenharia Civil (hudsonbrp@gmail.com)

Marko Aurélio Rodrigues Luiz
Bacharel em Engenharia Civil (marko_marl@hotmail.com)

Suellen Maria Leal Rodrigues Moraes
Bacharela em Engenharia Civil (suellenmaria975@gmail.com)

William Antônio Pimenta
Bacharel em Engenharia Civil (wtinho@hotmail.com)

Agnaldo Antonio Moreira Teodoro da Silva
*Mestre, Docente da Universidade Evangélica de Goiás - UniEVANGÉLICA
(agnaldo.silva@unievangelica.edu.br)*

RESUMO

No Brasil, onde a construção civil tem grande relevância econômica e forte impacto no consumo energético, é urgente adotar estratégias sustentáveis para reduzir a contribuição do setor ao aquecimento global. Apesar de o debate sobre desenvolvimento sustentável estar consolidado internacionalmente, o país ainda carece de regulamentações mais restritivas e, devido às condições climáticas, depende amplamente de sistemas de climatização artificial, elevando a demanda de energia. Nesse contexto, torna-se necessário introduzir mudanças construtivas eficientes, confortáveis e compatíveis com a arquitetura contemporânea, aproveitando soluções já testadas em outros países. Este trabalho defende que a sustentabilidade pode ser estimulada pela integração de estratégias passivas inspiradas na arquitetura vernacular, associadas ao uso de materiais com melhor desempenho térmico. Assim, o estudo adapta um modelo ao contexto brasileiro, propondo o emprego de XPS (espuma de poliestireno extrudado) como isolamento térmico, combinado com mecanismos retráteis na cobertura para favorecer o resfriamento por efeito físico e aprimorar o conforto interno. Embora a adoção dessas soluções possa enfrentar resistência inicial, sobretudo por custos e falta de conscientização, os resultados indicam viabilidade econômica a médio e longo prazo, com economia de energia em torno de 50% em relação ao grupo controle. O estudo enfatiza a importância de instalar isolamento térmico adequado no forro, com espessura compatível, e sugere novos estudos para ampliar a aplicação dessas tecnologias em edificações novas e existentes.

PALAVRAS-CHAVE: coberturas retráteis; desenvolvimento sustentável; isolamento térmico.

1 INTRODUÇÃO

O isolamento térmico surgiu na pré-história devido à necessidade humana de construir abrigos com materiais disponíveis localmente, como lã, pele de animais, palha e cana. Com o tempo, esses materiais evoluíram para terra, pedra e madeira (Bozsaky, 2010).

A temperatura é um fator crucial no desempenho energético das construções, tanto no inverno quanto no verão (Simões 2019). As variações climáticas, especialmente no Brasil, têm pressão sobre *et al.*, a indústria da construção civil para desenvolver novas estratégias e sistemas para aumentar a eficiência energética e reduzir as emissões de CO₂. O setor de construção civil é responsável por um alto consumo de energia e por aproximadamente 40% a 70% de toda a matéria-prima extraída do planeta. No Brasil, a construção civil representa atualmente 8% do PIB, gerando 13 milhões de empregos formais e tendo grande relevância na economia (Carbonari; Proni; Gonçalves, 2019).

As normativas na Europa estão mais avançadas e em consonância com a Agenda 2030 da ONU no que diz respeito às construções sustentáveis e eficientes. Os países membros têm metas para reduzir em 55% os gases de efeito estufa até 2030, em comparação aos níveis de 1990 e alcançar a neutralidade climática até 2050 (United Nations, 1992).

Atualmente, existe uma ampla gama de materiais disponíveis para a produção de isolamento térmico em edificações, de origem petroquímica ou natural, como poliestireno, lã de rocha e lã de vidro. Devido à relação custo-benefício, ou seja, custo versus condutividade térmica, ainda se utilizem materiais convencionais, pois são muito atraentes devido à sua baixa condutividade térmica, baixo custo, capacidade de absorver ou transmitir vapor d'água, resistência ao fogo, além de sua durabilidade.

Para que uma edificação seja sustentável e energeticamente eficiente, ela deve proporcionar conforto térmico, utilizar energia primária de forma eficiente e ser construída com materiais ecológicos que minimizem a emissão de carbono (Dikmen; Ozkan, 2016).

No Brasil, devido à pouca regulamentação restritiva em construções eficientes e sustentáveis, essas edificações ainda dependem de diversos sistemas de climatização para proporcionar conforto. A aplicabilidade e o desenvolvimento do isolamento térmico estão condicionados às particularidades arquitetônicas de cada construção, sendo o ar condicionado o instrumento mais utilizado atualmente e responsável por um consumo significativo de energia elétrica, de acordo com a nota técnica da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2018).

Segundo Martins (2023), a utilização de isolamentos térmicos está intimamente relacionada com a contenção de despesas, já que em uma residência um sistema eficiente de isolamento garante maior efetividade, gerenciamento de gastos e conforto devido à constância da temperatura ambiente.

Uma das maneiras de reduzir esse consumo é através do trabalho de sistemas de isolamento térmico nas construções. Conforme recomendado por Sousa (2022), esses sistemas consistem em materiais de baixa condutividade térmica que evitam a dissipação de calor entre ambientes com diferentes temperaturas, buscando proporcionar conforto e proteção.

Na construção civil, a sustentabilidade só pode ser alcançada quando há uma harmonia entre os três aspectos: econômico, social e ambiental. No cenário internacional da construção civil, destaca-se a visão voltada para a sustentabilidade, com medidas de mitigação dos impactos ambientais, otimização do consumo de materiais e energia, redução de resíduos e preservação do ambiente natural, além da melhoria da qualidade do ambiente construído (Pereira, 2009).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da Norma Brasileira NBR 15575 (ABNT, 2013), orienta sobre a fiscalização nas edificações para garantir um padrão térmico de qualidade. Além disso, Nogueira (2022) e Madureira (2023) abordaram diversas normas que orientam a adequação durante as obras.

A maioria das pesquisas atuais está focada na busca por novos materiais ou no reaproveitamento de materiais locais, reduzindo o impacto negativo sobre o meio ambiente. No entanto, até o momento, pouca atenção foi dada à inovação na utilização de materiais de isolamento térmico já existentes, que têm sido consolidados em estudos há muito tempo em diversos países, sendo reconhecidos por sua confiabilidade, segurança e baixo custo. É importante considerar que mesmo o melhor isolamento térmico existente não consegue ser eficiente em todas as estações do ano, e por vezes, até mesmo ao longo do dia.

Este trabalho visa equalizar as edificações construtivas e melhorar sua sustentabilidade e eficiência energética, principalmente no Brasil, promovendo uma transição dos padrões culturais atuais para modelos construtivos internacionais normatizados em NZEB (*nearly zero energy Building*) e ZEB (*zero energy Building*), elevando o patamar das construções para PEB (*Positive Energy Building*).

Nesse sentido, este trabalho apresenta um estudo científico que explora um mecanismo de XPS (espuma de poliestireno extrudado) na cobertura, com o isolamento do mesmo material nas paredes de um protótipo feito de alvenaria. Este estudo visa coletar dados sobre a variação da temperatura ao longo do dia durante uma semana, comparando com um protótipo de controle. O objetivo é manter o mesmo padrão construtivo já existente em relação à espessura das paredes, sem introduzir grandes mudanças, permitindo a introdução gradual e contínua deste mecanismo no processo construtivo. Dessa forma, pode-se comprovar a eficiência energética que isso traz, beneficiando significativamente o meio ambiente.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os seres humanos têm uma necessidade fisiológica de sentir conforto térmico, preferindo habitar ambientes que não sejam quentes ou frios, úmidos ou secos. No entanto, alcançar esse conforto muitas vezes é desafiador, já que as condições climáticas nem sempre estão alinhadas com as necessidades do corpo humano, resultando em um conflito persistente contra fatores climáticos que causam desconforto, como temperaturas elevadas ou baixas e umidade excessiva. Na condução, a transferência de energia ocorre das partículas mais energéticas para as menos energéticas, resultando em interação e equilíbrio entre elas. Na convecção, a transferência de energia ocorre entre uma superfície sólida e o fluido adjacente ao movimento, combinando os efeitos da condução e do movimento do fluido. Por fim, a radiação envolve uma transferência de energia através da emissão de ondas eletromagnéticas (Çengel *et al.*, 2006).

A lei de Fourier é essencial para entender a transferência de calor por condução, definindo a condutividade térmica como uma propriedade fundamental dos materiais, independente do estado físico (Incropera *et al.*, 2008).

Na cultura Brasileira, ainda existem construções que são erroneamente classificadas como eficientes, utilizando materiais inadequados em regiões com clima tropical e dependência de sistemas de conforto mecanizados. Isso evidencia a falta de consideração em relação ao clima em favor da estética arquitetônica. A verdadeira sustentabilidade só será alcançada quando houver uma redução no consumo de energia dessas construções, o que exige uma mudança no pensamento econômico-consumista global. É crucial compensar as estratégias vernaculares existentes, combinando-as com os conceitos atuais de desenvolvimento científico, para gerar conforto humano e preservar o

meio ambiente, reduzindo o consumo de energia e mitigando os efeitos do aquecimento global e local (Chandel, S. S.; Sharma, V.; Marwah, B. M., 2016).

2.1 Estratégias Vernaculares: Efeitos Físicos

A arquitetura vernacular é um estilo de construção que se desenvolve ao longo do tempo, transmitindo conhecimento de geração para geração. Este estilo é fortemente influenciado pelas características naturais do local onde é erguido, seguindo um modelo de design habitacional que incorpora elementos linguísticos, sem ser idiossincrático. Isso significa que uma arquitetura vernacular é moldada pelas condições geográficas, climáticas e culturais específicas de uma região, resultando em manifestações únicas e distintas em várias partes do mundo (Santos; Costa, 2017; Alves, 2017).

Segundo Philokyprou e Michael (2012), as estratégias vernáculas precisam ser associadas ao design bioclimático atual com aplicações de estratégias referentes ao aquecimento e resfriamento passivo, para obter o máximo de ventilação e iluminação natural, adicionalmente com as condições microclimáticas desejáveis dos ambientes. Essas estratégias vernaculares são, essencialmente, soluções adquiridas pelas observâncias culturais construtivas de cada povo e sua localidade, e hoje são comprovadas cientificamente através da física moderna e da composição dos materiais tecnológicos.

As arquiteturas vernáculas são projetadas com o objetivo de manter a temperatura interior próxima da zona de conforto, utilizando estratégias passivas, tais como a adequação da orientação solar, controle da ventilação natural e inércia térmica dos elementos construtivos (Philokyprou; Michael, 2012).

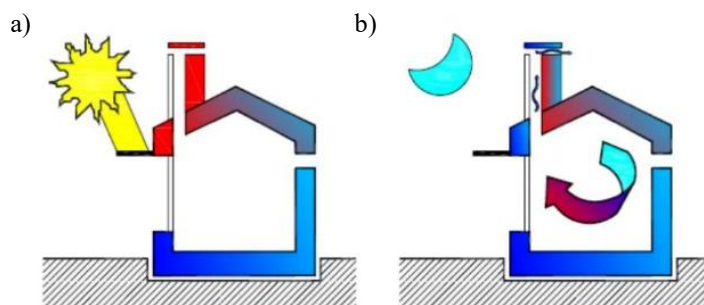
Em regiões com climas severos, as soluções arquitetônicas para os edifícios podem ser mais limitadas (Coch, 1998). A eficiência energética de um edifício proporciona conforto interno com um menor consumo de energia (Corbella; Corner, 2011).

As estratégias arquitetônicas bioclimáticas devem ser cuidadosamente estudadas e aplicadas para cada caso específico, pois influenciam diretamente na eficiência energética do edifício (Previtali; Zhai, 2016).

Chandel *et al.* (2016) afirmam que a eficiência energética das habitações vernáculas depende diretamente do projeto de elementos como iluminação, ventilação natural, materiais de cobertura (paredes), materiais de revestimento, tamanho das janelas, além de estratégias de sombreamento e uso do terreno como um fator coadjuvante.

Os sistemas passivos de resfriamento conforme Figura 1, demonstra proteção e prevenção de ganhos térmicos, modelagem e dissipação da temperatura, adaptando-se ao bioma específico do local (Asimakopoulou; Santamouris, 2013).

Figura 1 - Deslocamento do calor em menor temperatura externa



Fonte: Issu (s.d.)

Observando a Figura 1, nota-se que durante o dia Figura 1-a, há a incidência da radiação solar sobre as estruturas externas da residência e consequentemente retenção de

calor pelos ambientes internos, enquanto que à noite Figura1-b, há a movimentação convectiva desse calor retido.

2.2 Consumo Energético, Desempenho E Conforto Térmico

Na década de 1970, uma crise energética desencadeou a necessidade de desenvolver estratégias para reduzir o consumo de energia e racionalizar o uso dos recursos naturais (Spinelli; Alves; Konrad, 2013). Como resposta a essa necessidade, o Clube de Roma foi fundado e a Conferência de Estocolmo, na Suécia, em 1972, apresentou um novo conceito para o desenvolvimento sustentável, com foco em inovações de pesquisa e defesa de um uso controlado dos recursos naturais (Muniz; Caracristi, 2015).

Em 2016, foi previsto o Acordo de Paris, envolvendo vários países, com o objetivo de reduzir as emissões de gases de efeito estufa, devido à sua relação com o aquecimento global e a manipulação do meio ambiente pelo aquecimento climático. O Brasil assumiu um compromisso firmado pela Empresa de Pesquisa Energética - EPE (2016) no combate às mudanças climáticas, enfrentando três grandes desafios: eficiência energética para reduzir o consumo de energia e as emissões de gases de efeito estufa em edificações; expansão da autoprodução de energia para atender à crescente demanda e à geração distribuída e; atendimento ao crescimento anual do consumo de energia de 3% no período de 2014 a 2030.

No Brasil, o consumo de energia atinge cerca de 84% nos setores comercial, residencial e industrial, conforme relatado em 2017, mas com estratégias para reduzir o consumo de energia em quase 45% das edificações até cerca de 2020 (Procel, 2020).

A normatização nacional do desempenho térmico dos materiais é realizada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, por meio da norma NBR 15.575 (ABNT, 2013), que estabelece parâmetros de desempenho térmico para edificações residenciais novas, envolvendo menor consumo de energia e melhores níveis de conforto. Essa norma deve ser considerada pelo arquiteto, idealizando estratégias intrínsecas, inclusive com a incorporação de elementos vernáculos atuais.

Sabe-se que as temperaturas relevantes para o conforto térmico no inverno e no verão, conforme estudos realizados no Instituto Politécnico de Bragança (IPB) na disciplina de Física e Tecnologia das Construções, variação de 17° a 19°C e de 22° a 24°C, respectivamente.

Tabela 1 - Índice de Conforto Térmico

Classes	ICT (°C)	Característica
1	< ou = 5,9	Resfriamento muito elevado
2	6,0 - 8,9	Resfriamento elevado
3	9,0 - 11,9	Frio
4	12,0 - 14,9	Desconforto pelo frio
5	15,0 - 17,9	Leve desconforto pelo frio
6	18,0 - 20,9	Limite inferior da zona de conforto
7	21,0 - 23,9	Centro da zona de conforto
8	24,0 - 26,9	Limite superior da zona de conforto
9	27,0 - 29,9	Leve desconforto pelo calor
10	30,0 - 32,9	Desconforto pelo calor
11	> ou = 33,0	Aquecimento elevado

Fonte: Arruda (2012)

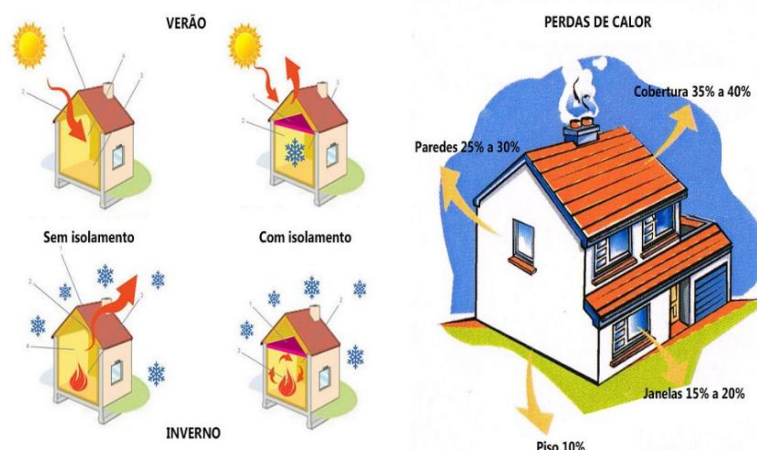
Na referida Tabela 1, retirada de Arruda (2012), mostra todos os índices de temperatura e suas sensações térmicas provocadas ao corpo humano, variando de

temperaturas muito baixas que são inferiores a $5.9\text{ }^{\circ}\text{C}$, a temperaturas muito elevadas, que seriam acima de $33\text{ }^{\circ}\text{C}$, e neste intermédio encontram-se as temperaturas que geram conforto e sensação térmica agradável.

2.2.1 Coberturas

O uso de sistemas de isolamento em coberturas oferece uma série de vantagens, sendo importante destacar sua capacidade de conservação, conforme indicado por Bezerra (2020). Esses sistemas oferecem proteção contra as condições climáticas, resultando em economia no consumo de energia elétrica devido à redução do uso de sistemas de climatização, além de contribuir para a redução das fontes térmicas e a diminuição do gradiente de temperaturas enfrentadas pelas camadas internas das paredes (Figura 2).

Figura 2 - Funcionamento do isolamento no interior das construções



Fonte: Disciplina de Física e Tecnologia de Bragança – IPB.

Quando se trata de isolamento térmico em coberturas, especialmente quando implantado externamente à edificação, atua como uma cobertura que impede mudanças bruscas de temperatura, minimizando assim a ocorrência de deformações e fissuras. Esse sistema serve como um recurso energético eficaz tanto em regiões frias quanto quentes, pois impede a perda de calor para o ambiente externo, resultando em economia de custos e garantindo um ambiente interno mais confortável de forma sustentável (Gomes, 2023).

Os isolantes térmicos amplamente utilizados na construção civil têm baixa condutividade térmica e incluem lã de rocha ou lã mineral, lã de vidro e os poliuretanos. Entre estes últimos, os mais comuns são o poliuretano projetado, o poliuretano expandido (EPS) e o poliuretano extrudado (XPS) (Dutra, 2010).

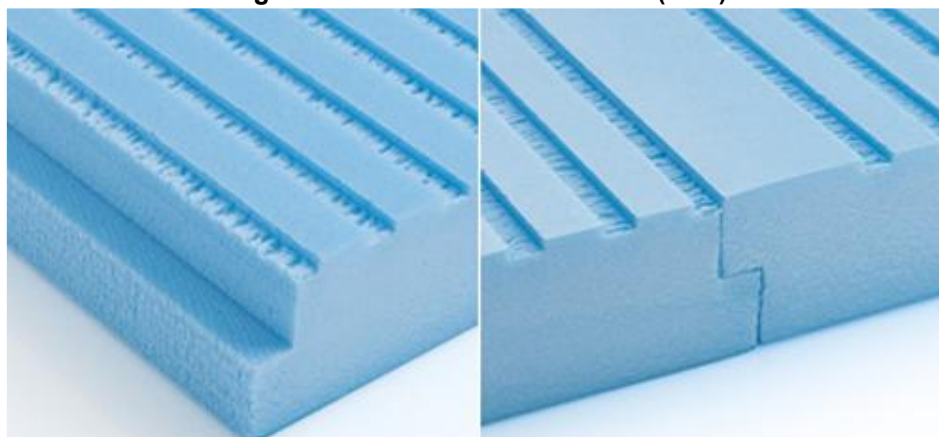
Os dois principais tipos de isolantes térmicos externos são constituídos por placas de poliestireno expandido moldado (EPS) e poliestireno extrudado (XPS), ambos apresentando baixa condutibilidade térmica, o que impede a perda de calor. Além disso, sua aplicação é simples e acessível, pois é feita externamente entre, à qualquer tipo de cobertura e o telhado, sem alterar sua composição original (Figueiredo; Marco; Florian, 2022).

2.2.1.1 Poliestireno Extrudado (XPS)

O poliestireno extrudado (XPS) é um isolamento térmico sintético conhecido por sua grande resistência mecânica, devido à sua estrutura celular fechada (Figura 3). Essa característica proporciona uma condutividade térmica mais baixa em comparação com outros materiais, tornando o XPS altamente eficaz na retenção de calor e impedindo sua

transferência (Garcia, 2022). Essa eficiência faz com que o XPS se destaque em relação ao poliestireno expandido moldado (EPS), conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3 - Poliestireno Extrudado (XPS)



Fonte: Disciplina de Física e Tecnologia de Bragança – IPB.

Apesar de suas vantagens, o XPS possui algumas desvantagens, como seu alto custo em comparação com o EPS. Além disso, assim como o EPS, o XPS oferece baixo isolamento acústico e pode eliminar um papel desfavorável em situações de incêndio devido à emissão de gases tóxicos (Santos, 2020).

Apesar dessas limitações, o XPS é considerado uma solução de construção de excelência devido ao seu desempenho em termos de impacto no aquecimento global. Ele exerce um impacto mínimo nesse aspecto e possui um dos melhores registros ambientais entre as alternativas de construção disponíveis (Alves, 2021).

3 ESTUDO DE CASO

Neste trabalho científico, há um breve resgate do conhecimento ancestral das construções vernáculas, aproveitando conceitos como o efeito térmico e as leis físicas. O XPS foi o material escolhido devido às suas características, leveza e baixa condutibilidade térmica, para aplicação em nosso projeto.

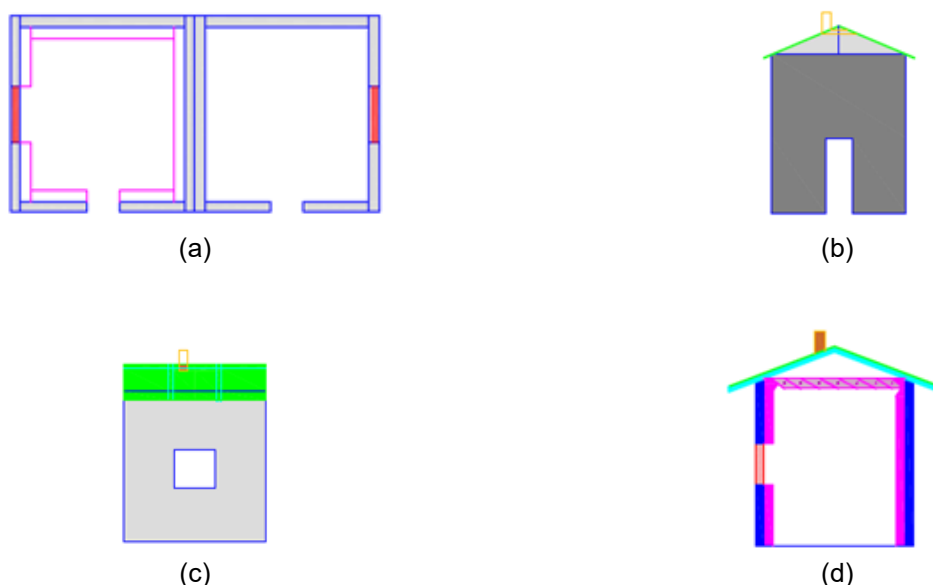
A etapa de concepção do projeto iniciou-se com os desenhos das partes constituintes da construção utilizando o software AutoCAD. Posteriormente à esta etapa, foi realizada então, a construção de um protótipo de 1,5 m² em alvenaria, com forro revestido de placas de XPS e estas, integradas a um sistema automático com acionamento eletromecânico, compondo um mecanismo de abertura e fechamento (MAF), visando garantir a temperatura desejada no ambiente, bem como o conforto térmico. O funcionamento deste mecanismo, consiste em utilizar parâmetros definidos “*in set*”, em um relé controlador térmico, que controla a abertura das placas quando a temperatura externa for menor que 24°C, e fecha-se quando a temperatura externa atingir abaixo de 19°C, para manter o interior da residência por maior tempo possível a temperatura de conforto térmico ao corpo humano, desta forma não necessitando de algum mecanismo ativo de refrigeração ou aquecimento do ambiente.

Além do forro, foi realizado um revestimento nas paredes com XPS para reduzir a interferência da radiação na massa do tijolo, especialmente para se tratar de um ambiente pequeno. Também construímos uma estrutura semelhante, com as mesmas dimensões, como controle, conforme os desenhos referenciados e foi implementado um sistema de trocas de calor, visando acelerar a redução da temperatura, aproveitando os princípios físicos da convecção.

Ao considerar o índice de perdas de calor em uma edificação, é essencial ressaltar o papel desempenhado pela cobertura nesse processo. Por estar localizado em uma região exposta e frequentemente desprovida de isolamento adequado, a cobertura é responsável por uma parcela significativa das perdas térmicas.

O sistema Arduino foi projetado e otimizado no AutoCAD. O protótipo foi construído conforme representado nas Figura 4, demonstrando sua forma construtiva e seu potencial de aplicação onde a Figura 4-a representa a Planta Baixa; b- Faixa Lateral; c- Faixa Central; d-Corte (A-A).

Figura 4 – Modelo Esquemático apresentado em apêndice com escalas e detalhamento construtivo



Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Diante da necessidade de minimizar as perdas de calor e promover ambientes mais convenientes e sustentáveis, a instalação de um sistema de isolamento entre a laje e o telhado surge como uma solução eficiente e promissora.

Ao optar por instalar o sistema nessa área específica da construção, é possível obter uma série de benefícios. Além de dificultar as passagens de calor na cobertura, o sistema oferece facilidade de acesso e facilidade para instalação posterior à construção da casa.

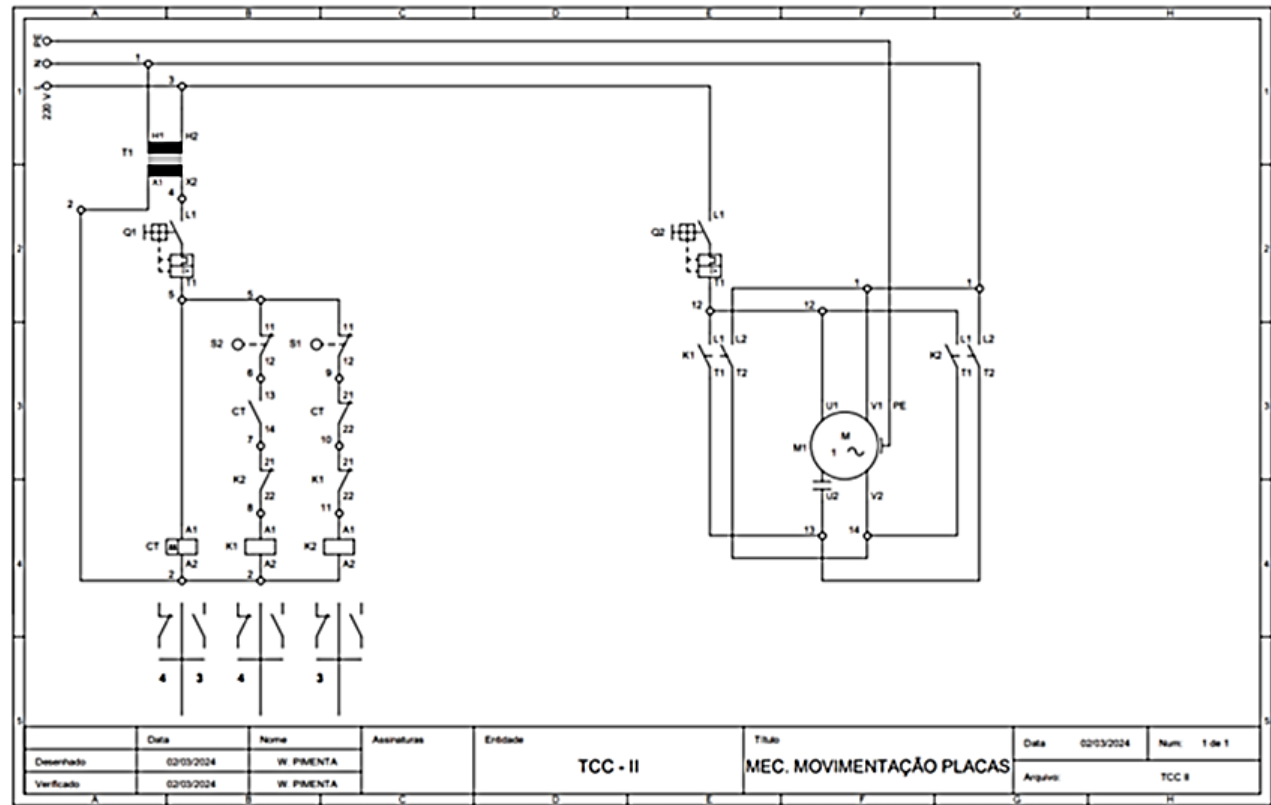
O fácil acesso à região entre a laje e o telhado torna a instalação do sistema mais prática e menos complexa em comparação com outras partes da edificação. Diferentemente das paredes ou do piso, o telhado permite intervenções mais acessíveis, facilitando tanto a instalação inicial quanto possíveis manutenções ou ajustes futuros no sistema de isolamento.

Outra vantagem significativa desse local de instalação é a possibilidade de realizar essa intervenção posteriormente à construção da casa. Isso significa que os proprietários podem melhorar a eficiência energética do imóvel sem precisar de grandes obras ou alterações estruturais durante a realização da fase de construção. Essa flexibilidade é extremamente atrativa para aqueles que desejam melhorar o desempenho térmico de suas residências de forma mais conveniente e econômica.

Além disso, o sistema de isolamento entre a laje e o telhado pode ser projetado para funcionar de forma inteligente, contribuindo para um conforto térmico mais adequado. Por exemplo, pode ser programado para fechar durante o dia, evitando a entrada de calor excessiva no ambiente interno e abrir à noite, para permitir a entrada de ar fresco e frio, promovendo uma sensação térmica mais agradável.

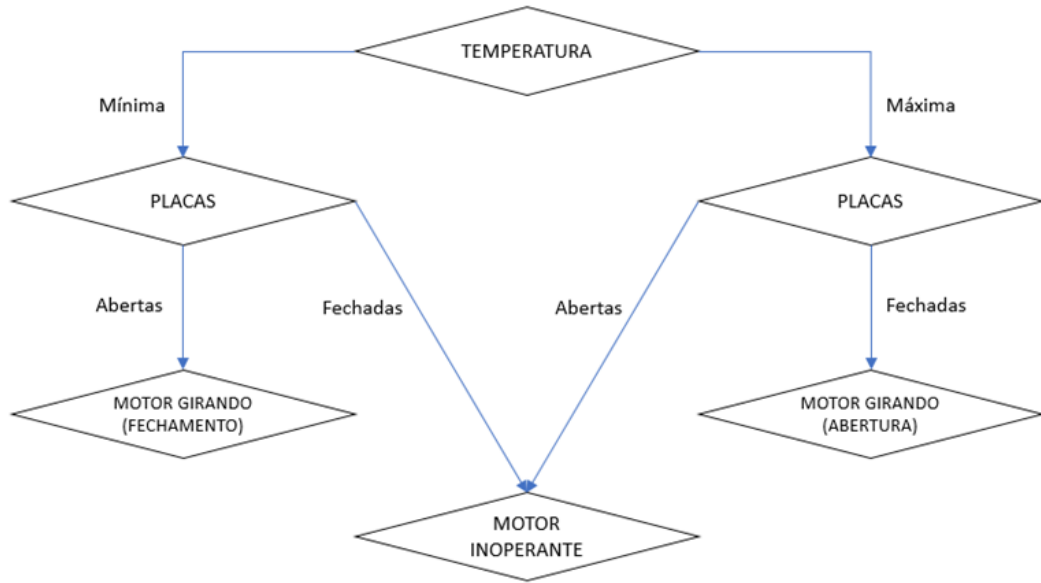
Essa estratégia de controle térmico fornecida pelo sistema de isolamento reduz a dependência de dispositivos de climatização, como ar condicionado ou aquecedores, contribuindo para uma melhoria significativa no consumo de energia da residência, resultando em economia financeira e redução do impacto ambiental.

Figura 5 - Planta representativa do desenho do MAF (Mecanismo de Abertura e Fechamento) representada em apêndice



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Figura 6 – Algoritmo de funcionamento do Mecanismo de Abertura e Fechamento das placas de XPS



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Além dos benefícios econômicos e sustentáveis, a instalação do sistema de isolamento entre a laje e o telhado também contribui para um maior conforto dos moradores, ao manter uma temperatura interna mais estável e adequada ao longo do dia, criando um ambiente mais agradável e acolhedor.

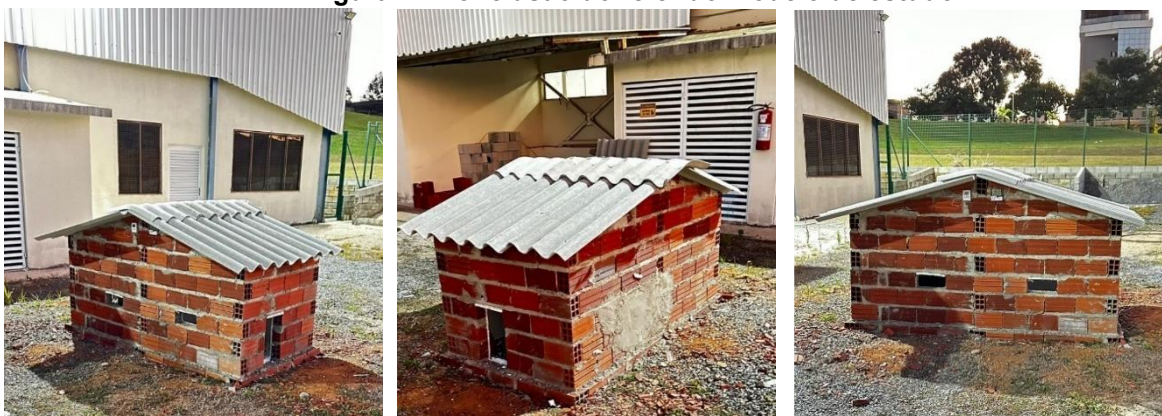
No presente estudo de caso, foi construído um protótipo em alvenaria. Utilizou-se cimento com resistência de 20 MPa e argamassa para a regularização, com telhado inclinado em fibrocimento e um efeito de chaminé adaptado, com uma abertura na região mais alta da parede construtiva.

As construções foram erguidas no centro tecnológico da Universidade Evangélica de Goiás - UniEVANGÉLICA, em uma área externa que recebe luz solar ao longo do dia. Uma das casas foi preparada especificamente para o estudo em questão, enquanto a outra foi mantida como controle, garantindo assim a confiabilidade dos resultados obtidos.

Para a construção em alvenaria, foi contratada uma equipe composta por um pedreiro e um servente, que concluiu o trabalho em dois dias úteis. Em uma das casas, as paredes foram preenchidas com XPS (Figuras 7 e 8), visando manter as temperaturas internas dentro da faixa ideal de conforto, entre 19°C e 24°C.

Além de proporcionar conforto térmico, o objetivo deste estudo é demonstrar que o mecanismo desenvolvido pode contribuir significativamente para a eficiência energética, um aspecto ainda pouco explorado no Brasil, com potencial para mitigar os efeitos do aquecimento global e suas consequentes mudanças climáticas.

Figura 7 - Conclusão do referido modelo de estudo



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Figura 8 – Detalhes do telhado



Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Para o controle das temperaturas, foram utilizadas três unidades do Arduino, uma plataforma que viabiliza o desenvolvimento de projetos eletrônicos por meio de hardware e software (Figura 9). Esses dispositivos foram essenciais para monitorar e regular as condições térmicas do ambiente, permitindo que o sistema de abertura do forro fosse acionado conforme necessário, para resfriar o interior da casa. Dessa forma, ao utilizar os princípios de convecção e de condução, o mecanismo agiliza o alcance da temperatura ideal para os ocupantes, resultando em economia de energia e, conseqüentemente, de recursos financeiros para os usuários.

Todo o estudo de temperatura foi baseado na norma NBR 16401-2 (ABNT, 2008), garantindo assim uma abordagem imparcial e conduzindo a pesquisa com a devida prudência e seriedade, como exigido em qualquer estudo científico.

Para regular as trocas de calor nos ambientes internos da construção, foi montado um mecanismo de abertura e fechamento (MAF) de placas de isolamento térmico de XPS, instaladas no forro do protótipo. Esse mecanismo é acionado por sinais elétricos emitidos por um relé controlador de temperatura (CT), localizado no ambiente de controle observado

Figura 9 - Placa de 'ARDUINO'



Fonte: Autores (2024).

Quando a temperatura ambiente atingir o valor máximo pré-definido no parâmetro de configuração do CT, será enviado um sinal elétrico para um relé contator responsável pelo acionamento do motor. Esse motor fará com que as placas girem 90° em relação ao plano horizontal da laje, abrindo-as. Se a temperatura atingir o valor mínimo configurado no CT, o mecanismo manterá as placas fechadas. No entanto, se as placas estiverem abertas, um segundo sinal elétrico será emitido pelo CT para outro relé contator, que acionará o motor para girar as placas de volta à posição fechada.

O motor só é acionado nos valores pontuais predefinidos de temperatura máxima e mínima configurada no CT. Quaisquer valores de temperatura, intermediários à essas configurações, não provocam partida do motor e, para garantir a segurança desse funcionamento, foram instalados intertravamentos elétricos nos relés contatores, garantindo que apenas um sentido de giro seja alimentado por vez. O giro do motor é interrompido quando as placas atingirem as posições de abertura ou fechamento total, por meio de contatos de fins de curso em ambos os sentidos de giro, provocando o desligamento da alimentação do relé contator responsável pelo funcionamento do motor naquela posição.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

Os dados coletados foram analisados ao longo de um período contínuo de três dias, registrando as temperaturas internas e externas em ambos os espaços (Tabelas 1 a 6), em anexo. O Espaço 1 representa o ambiente interno protegido pelo XPS, com o mecanismo de abertura, enquanto o Espaço 2 é o espaço interno controle e o Espaço 3 representa o ambiente externo, sendo que essas termilogias foram colocados na tabela em anexo para facilitar o entendimento.

Essas temperaturas coletas num intervalo de 30 em 30 minutos nos referidos ambientes, apenas sérvio de referência, em simular o uso do ar condicionado, nos períodos de tempo em que a temperatura interna se encontrava superior a 24°C, tanto na construção controle como a de estudo.

Devido à impossibilidade de instalar uma chaminé no telhado, foi feita uma abertura no ponto mais alto da parede para funcionar como um efeito de chaminé, conforme descrito no trabalho, para facilitar o resfriamento dos ambientes em dia de maior calor térmico, principalmente nos períodos noturnos, diminuindo o tempo para que a temperatura se normalizasse abaixo dos 24°C, frenado neste momento o tempo de uso do ar condicionado.

Os dados da Tabela de 2 a 4, em anexo, relata os dados mensurados da temperatura do meio externo com o meio interno, da construção de estudo e controle, no período em que o mecanismo do forro encontrava-se fechado.

Os dados das Tabelas de 4 a 6, em anexo, relata as temperaturas mensuradas da mesma maneira que a tabela anterior, mas com o requisito do mecanismo em aberto, facilitando desta forma o entendimento e raciocínio do leitor.

Acredita-se que serão necessários novos trabalhos para aprofundar esses dados, com apoio financeiro da iniciativa privada ou do governo, a fim de atualizar e melhorar essas informações e possivelmente implementá-las na prática.

Os dados de temperatura foram aproximados para facilitar os cálculos, verificando uma porcentagem de economia diariamente. É importante ressaltar que o período de apenas três dias em uma amostra é pequeno em relação à realidade total, mas representa um ponto de partida significativo para novos estudos.

O projeto realizado para obter uma estimativa diária da economia foi a soma do tempo total de horas necessárias para resfriar com o uso do ar condicionado do Espaço 2 menos o tempo necessário para resfriar o Espaço 1, obtendo esta diferença em horas de utilização do mecanismo ativo, para todos os dias, de maneira simplificada de acordo com a Tabela 7.

Tabela 7- Economia nos dias em horas

DIA	ECONOMIA (em Horas)
1° dia	9,5
2° dia	6,0
3° dia	5,5

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Após verificar esses valores de horas de utilização do ar condicionado, somamos os valores obtidos nos três dias e dividimos por três para encontrar a média diária, que esta

Tabela 8- Economia média dos 3 dias

DIA	ECONOMIA (em Horas)
Média dos 3 dias	6,67

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Com esses dados, foi possível concluir, em um pequeno campo amostral, a importância desses pequenos estudos científicos que melhoram a economia energética com um pouco de custo adicional ao processo construtivo habitual em nosso país.

Para calcular os gastos que esta média gerou, utilizou-se o modelo de ar condicionado de 9.000 BTUs mais populares no Brasil nas pesquisas de buscas, em que têm um consumo médio de 0,571 kWh por hora.

Após verificar o consumo médio em kWh, procurou o valor unitário correspondente ao consumo de “1kwh”, no mês de maio de 2024, no valor de R\$ 0,671 no pacote convencional, concedido pelo concessionário Equatorial, desta forma com estes dados, fez-se de maneira simplista a verificação da economia diária, mensal e anual em nosso estado de Goiás, tanto em “kwh”, como em reais.

Na Tabela 9, foi feito estes calculos que conseguiu de economia da referida da construção de estudo em relação ao controle.

Tabela 9 – Economia do dia, mês, ano em “Kwh” e R\$

REFERÊNCIA	ECONOMIA (em kWh)	ECONOMIA (em R\$)
HORA (média)	6,67	
DIA - kw/h	3,806666667	2,554273333
MÊS - kw/h	114,2	76,6282
ANO - kw/h	1370,4	919,5384

Fonte: elaborado pelos autores (2024).

Sabe-se que são necessários novos estudos, patrocinados por iniciativa privada ou poder público, para confirmar os resultados de economia em xxx kWh em um mês e no ano, em todas as estações e instabilidades climáticas, a fim de obter uma média anual mais fidedigna

Através dos dados, pode-se ao menos sugerir uma economia média de 50% em relação à construção controle de tempo em horas do funcionamento do ar condicionado que ficou desligado, devido a temperatura estar na maior parte do tempo em consonância com o conforto térmico. Estes achados poderam ser vistos mais claramente nas tabelas em anexos.

Considerando hipoteticamente a economia que poderia ser proporcionada às famílias que realmente utilizam o mecanismo de ar condicionado para resfriar seu ambiente ao longo do dia, comparado a uma construção sem esse mecanismo, para alcançar o conforto térmico adequado, é importante considerar que existem variações devido às estações do ano, à umidade e ao conforto biológico de cada indivíduo, que podem variar em torno de 1,5°C para cima e para baixo.

Com essas informações, podemos concluir com segurança que este estudo comprova uma eficiência de pelo menos 25 a 30% de economia, como já relatados em todos os estudos que referenciam a proteção térmica na laje ou telhado. No entanto, é crucial lembrar que essa economia seria para apenas um cidadão, em um único cômodo. Se estendeu para toda a população brasileira de 215,3 milhões, essa economia seria significativa e impactante.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse trabalho científico, realizado com recursos muito limitados e sem apoio federal, estadual ou privado, conseguimos demonstrar, em um estudo com amostragem reduzida, uma redução nos gastos energéticos em kWh. Isso foi alcançado com um mecanismo funcional e possivelmente eficiente, que envolve a utilização de XPS

(Poliestireno Extrudido) nas paredes e no forro para diminuir a incidência de calor no ambiente interno, além da criação de um mecanismo inovador de abertura e fechamento inteligente no forro. Esse mecanismo permite o resfriamento rápido do ambiente em caso de temperatura acima de 24°C, fechando-se automaticamente quando as temperaturas estão abaixo de 19°C, utilizando um efeito vernacular chamado "chaminé".

Desenvolveu-se uma solução para problemas complexos, considerando que as janelas em nossa cultura são pouco eficientes e sem proteção, e que nossa alvenaria é fina e pouco eficiente. Essa solução envolve um pequeno gasto adicional na obra, mas com um grande impacto sustentável e econômico no fator energético.

Para detalhar a abrangência desses resultados para todas as estações do ano de forma fidedigna, este trabalho deve servir de inspiração para novos alunos de mestrado e/ou doutorado, preferencialmente com incentivo do poder público ou da iniciativa privada. É fundamental criar soluções específicas para o nosso país, a fim de contribuir de maneira eficaz para o combate ao aquecimento global e local, reduzindo seu impacto, principalmente em nosso país, onde a preservação ambiental é de extrema importância.

Os resultados indicam que o uso do XPS nas paredes e no forro, combinado com o mecanismo de abertura e fechamento controlado por Arduino, pode proporcionar uma economia significativa de energia. Esse sistema permitiu a manutenção das temperaturas internas dentro da faixa ideal de conforto (19°C a 24°C) sem a necessidade constante de ar-condicionado, resultando em uma economia potencial de até 50% no consumo de energia elétrica.

O XPS se mostrou muito eficaz no tratamento térmico no referido experimento, reduzindo a temperatura do ambiente para um conforto térmico. Essa queda de temperatura é eficiente para a não utilização de ar condicionado, que causa poluição ambiental devido ao gás CO₂ produzido por esses equipamentos, trazendo assim uma redução financeira devido à climatização do ambiente sem equipamentos eletrônicos, com uma economia aproximada de R\$ 900,00 anuais para o usuário, provando assim a eficácia do sistema elaborado.

Além dos benefícios econômicos, o estudo ressalta a contribuição do sistema para a sustentabilidade ambiental, reduzindo a emissão de CO₂ associada ao uso de equipamentos de climatização. Este fator é particularmente relevante no contexto brasileiro, onde a eficiência energética e a mitigação dos impactos das mudanças climáticas são questões urgentes.

O estudo também destacou a necessidade de novos experimentos, com amostras maiores e ao longo de diferentes estações do ano, para confirmar e ampliar os achados apresentados. A colaboração entre instituições públicas e privadas será crucial para o desenvolvimento de soluções eficazes e economicamente viáveis, adaptadas às condições específicas do Brasil.

Em suma, o sistema proposto mostrou-se promissor e eficiente, oferecendo uma alternativa prática e econômica para a melhoria do conforto térmico em construções residenciais. Espera-se que este trabalho inspire futuras pesquisas e inovações no campo da construção sustentável, contribuindo para um ambiente mais confortável e energeticamente eficiente para todos.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 11752:** Materiais de células de poliestireno para isolamento térmico na construção civil e em câmaras frigoríficas. Rio de Janeiro: ABNT, 1993. 5p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15575-1:** Edificações habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. 71p.

ALVES, C. P. T. **Sustentabilidade De Soluções De Isolamento Térmico. Proposta De Indicadores Ambientais, Funcionais E Económicos.** 2021. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil - Especialização em Construções) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, Portugal.

ALVES, S. The Sustainable Heritage of Vernacular Architecture: The Historic Center of Oporto. **Procedia Environmental Sciences**, v. 38, p. 187-195, 2017.

ASIMAKOPOULOS, D.; SANTAMOURIS, M. **Passive Cooling of Buildings.** Hoboken: Taylor and Francis, 2013.

BEZERRA, A. V. R. **Estrutura de laje pré-moldada:** análise comparativa entre enchimento com EPS e bloco cerâmico. 2020. 7 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciência e Tecnologia) – Centro de Ciências Exatas e Naturais – CCEN, Universidade Federal Rural do Semiárido – UFERSA. Mossoró, RN.

BOZSAKY, D. The historical development of thermal insulation materials. **Periodica Polytechnica Architecture**, v. 41, n. 2, p. 49-56, 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS). Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA). **Aspectos da Construção Sustentável no Brasil e Promoção de Políticas Públicas Subsídios para a Promoção da Construção Civil Sustentável.** 2014. 133p.

BRITO, H. B. S.; CAMARGO, L. S. F. **Modelo construtivo em poliestireno expandido:** comparativo entre construtivos de eps e alvenaria convencional. 2019. 92f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário de Anápolis – UniEVANGÉLICA. Anápolis, GO.

CARBONARI, G.; PRONI, G.; GONÇALVES, V. M. Aplicação estrutural do bambu – Tesouras de duas águas: Análise teórica-experimental. **Mix Sustentável**, v. 5, n. 1, p. 19-33, 2019.

ÇENGEL, Y. A. et al. **Termodinâmica.** 5. ed. São Paulo : McGraw-Hill, 2006.

CHANDEL, S. S.; SHARMA, V.; MARWAH, B. M. Review of energy efficient features in vernacular architecture for improving indoor thermal comfort conditions. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 65, p. 459–477, 2016.

COCH, H. Bioclimatism in vernacular architecture. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.2, p.67-87, 1998.

CONNOR, N. O que é poliestireno expandido - EPS - Definição. **Thermal engineering**, 2019. Disponível em: <<https://www.thermal-engineering.org/pt-br/o-que-e-poliestireno-expandido-eps-definicao/>>. Acesso em: 24 de ago. de 2023.

CONNOR, N. O que é poliestireno extrudado - XPS - Definição. **Thermal engineering**, 2019. Disponível em: <<https://www.thermal-engineering.org/pt-br/o-que-e-poliestireno-extrudado-xps-definicao/>>. Acesso em: 24 de ago. de 2023.

CORBELLA, O.; CORNER, V. **Manual de Arquitetura Bioclimática Tropical para redução do consumo energético**. Rio de Janeiro: Revan, 2011.

DIKMEN, N.; OZKAN, S. T. E. Unconventional Insulation Materials. **Insulation Materials in Context of Sustainability**, IntechOpen: Londres, Reino Unido, 2016.

DUTRA, M. R. **Caracterização de revestimentos em fachadas ventiladas: Análise do comportamento**. 2010. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Técnica de Lisboa. Porto, Portugal.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **NOTA TÉCNICA EPE 030/2018: Uso de Ar Condicionado no Setor Residencial Brasileiro: Perspectivas e contribuições para o avanço em eficiência energética**. Brasília: EPE, 2018, 43p.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **O Compromisso do Brasil no Combate às Mudanças Climáticas: Produção e Uso de Energia**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2016, 96p.

FERREIRA, D. B. **Por uma Arquitetura Bioclimática Brasileira**. Disponível em: Acesso em: 14 abr.2017.

FIGUEIREDO, S. C.; MARCO, G.; FLORIAN, F. Isolamento térmico de cobertura com poliestireno extrudado XPS. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar**, v. 3, n. 1, p. e3122402–e3122402, 2022.

FRETTA, M. A. **Análise do desempenho térmico de telhas metálicas com a utilização de diferentes materiais isolantes**. 2022. 52 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, Sanitária e Ambiental) - Universidade do Contestado – UNC, Campus Concórdia. Concórdia, SC.

GARCIA, D. P. P. **Análise da contribuição do uso de isolamento térmico para o aumento da eficiência energética do bloco f do Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Aracruz**. 2022. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Aracruz. Aracruz, ES.

GOMES, I. G. Benefícios das telhas termoacústicas na indústria da construção civil. **Rebena - Revista Brasileira de Ensino e Aprendizagem**, v. 6, p. 404–416, 2023.

GUIMARAES, B. B.; SILVA, N. M. A. **Parâmetros para dimensionamento de lajes treliçadas unidirecionais com enchimento em eps (poliestireno expandido)**. 2017. 72f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade Evangélica de Goianésia. Goianésia, GO.

INCROPERA, F. P. et.al. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. 6.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

MADUREIRA, R. P. **Sistema construtivo com painéis de argamassa estrutural e enchimento em EPS**. 2023. 88 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Santa Maria, RS.

MARTINS, P. G. **Coberturas planas: soluções construtivas**. 2023. 137 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, Portugal.

MICHAEL, A.; DEMOSTHENOUS, D.; PHILOKYPROU, M. Natural ventilation for cooling in mediterranean climate: A case study in vernacular architecture of Cyprus. **Energy and Buildings**, v. 144, p. 333–345, 2017.

MUNIZ, F. G. L.; CARACRISTI, I. Urbanização, Conforto Térmico e Análise Sazonal Microclimática da Cidade de Sobral/CE. **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, v. 17, n. 1, p. 04-17, 2015.

NOGUEIRA, D. F. **Aspectos construtivos e de dimensionamento de uma habitação unifamiliar em painéis monolíticos de poliestireno expandido (EPS)**. 2022. 90 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Campus Goiânia. Goiânia, GO.

PEREIRA, P. I. **Construção sustentável: o desafio**. 2009. 122 f. Monografia (Licenciatura em Engenharia Civil) – Universidade Fernando Pessoa. Porto, Portugal.

PHILOKYPROU, M.; MICHAEL, A. Evaluation of the Environmental Features of Vernacular Architecture. A Case Study in Cyprus. **International Journal of Heritage in the Digital Era**, v. 1, n. 1_suppl, p. 349–354, 2012.

PINHEIRO, F. M.; CAVALCANTE, T. F. As propriedades de isolante térmico à base de fungo: Uma revisão sistemática. In: RODRIGUES, F. R. A.; RIBAS, F. R. (org.). **Saberes da Engenharia: Uma contribuição para a sociedade - Volume 3**. Belo Horizonte: Editora Poisson, 2023. cp. 6, p. 58-65.

PREVITALI, J. M.; ZHAI, Z. J. A taxonomy of vernacular architecture. **Energy and Buildings**, v. 110, p. 71–78, 2016.

PROCEL - Programa de Conservação de Energia Elétrica. **Resultados PROCEL 2020: Ano Base 2019**. Brasília: Eletrobrás, 2020, 84p.

SANTANA, M. R. C.; SOARES, R. A. B.; GOMES, K. N. A. DO E. S. Estudo de paredes, moldadas no local, constituídas por componentes de poliestireno expandido (EPS), aço e argamassa. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 16568–16586, 2020.

SANTOS, G. F. **Avaliação de propriedades geotécnicas de misturas compactadas de solos tropicais com resíduo de poliestireno expandido (EPS)**. 2021. 89 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG.

SANTOS, J. F. R. G. **Implantação da análise de perigos e pontos críticos de controle (APPCC) no processo de poliestireno extrudado (XPS)**. 2020. 85 f. Trabalho de

Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos) - Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, PB.

SANTOS, S. C. DOS; COSTA, S. K. Arquitetura vernacular ou popular brasileira: conceitos, aspectos construtivos e identidade cultural local. **Cadernos de Arquitetura e Urbanismo**, v. 24, n. 35, p. 218–259, 2017.

SILVA, R. C. F.; MENDONÇA, F. **Benefícios da telha termoacústica**. 2023. 15 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Faculdade Internacional da Paraíba – FPB. João Pessoa, PB.

SIMÕES, R. N. *et al.* Vernacular Architecture in Portugal: Regional Variations. In: SAYIGH, A. (ed.). **Sustainable Vernacular Architecture - Innovative Renewable Energy**. Brighton, UK: Cham: Springer International Publishing, 2019. cp. 4, p. 55-91.

SOUSA, A. M. **Análise económica, energética e ambiental da aplicação de isolamento térmico aos edifícios do continente europeu**. 2022. 108 p. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica na especialidade de Energia e Ambiente) - Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Coimbra, Portugal.

SPINELLI, R.; ALVES, A.; KONRAD, O. Cidade e Edificações: A busca por um novo modelo. **Destaques Acadêmicos**, v. 5, n. 4, p. 173-186, 2013.

UNITED NATIONS. **Agenda 21**: United Nations Conference on Environment & Development. United Nations: 1992, 351p.

APÊNDICE A

Tabela A1 - Dados coletados de temperatura com placas de XPS fechadas (1º dia)

(continua)

TEMPERATURAS COM FORRO FECHADO 1º DIA (C°)			
HORÁRIOS	ESPAÇO 1	ESPAÇO 2	ESPAÇO 3
09:00	22	25,8	24
09:30	22	25,8	24
10:00	22	26,8	25
10:30	22,1	27,8	26
11:00	22,1	27,8	26
11:30	23,1	28,8	27
12:00	24,1	29,8	28
12:30	24,1	29,8	28
13:00	24,1	29,8	28
13:30	25,1	30,8	29
14:00	25,1	30,8	29
14:30	25,1	30,8	29

Tabela A1 - Dados coletados de temperatura com placas de XPS fechadas (1º dia)
(conclusão)

TEMPERATURAS COM FORRO FECHADO 1º DIA (C°)			
HORÁRIOS	ESPAÇO 1	ESPAÇO 2	ESPAÇO 3
15:00	24,1	29,8	28
15:30	24,1	29,8	28
16:00	23,1	28,8	27
16:30	23,1	28,8	27
17:00	23,1	28,8	27
17:30	22,1	27,8	26
18:00	20,1	25,8	24
18:30	20,1	25,8	24

Fonte: Elaborada pelos autores (2024)

Tabela A2 - Dados coletados de temperatura com placas de XPS fechadas (2º dia)

TEMPERATURAS COM FORRO FECHADO 2º DIA (C°)			
HORÁRIOS	ESPAÇO 1	ESPAÇO 2	ESPAÇO 3
09:00	22	25,8	24
09:30	22	25,8	24
10:00	22	26,8	25
10:30	22,1	27,8	26
11:00	22,1	27,8	26
11:30	23,1	28,8	27
12:00	24,1	29,8	28
12:30	24,1	29,8	28
13:00	24,1	29,8	28
13:30	25,1	30,8	29
14:00	25,1	30,8	29
14:30	25,1	30,8	29
15:00	24,1	29,8	28
15:30	24,1	29,8	28
16:00	23,1	28,8	27
16:30	23,1	28,8	27
17:00	23,1	28,8	27
17:30	22,1	27,8	26
18:00	20,1	25,8	24
18:30	20,1	25,8	24

Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

Tabela A3 - Dados coletados de temperatura com placas de XPS fechadas (3º dia)

TEMPERATURAS COM FORRO FECHADO 3º DIA (C°)			
HORÁRIOS	ESPAÇO 1	ESPAÇO 2	ESPAÇO 3
09:00	22	25,8	24
09:30	22	25,8	24
10:00	22	26,8	25
10:30	22,1	27,8	26
11:00	22,1	27,8	26
11:30	23,1	28,8	27
12:00	24,1	29,8	28
12:30	24,1	29,8	28
13:00	24,1	29,8	28
13:30	25,1	30,8	29
14:00	25,1	30,8	29
14:30	25,1	30,8	29
15:00	24,1	29,8	28
15:30	24,1	29,8	28
16:00	23,1	28,8	27
16:30	23,1	28,8	27
17:00	23,1	28,8	27
17:30	22,1	27,8	26
18:00	20,1	25,8	24
18:30	20,1	25,8	24

Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

Tabela A4 - Dados coletados de temperatura com placas de XPS abertas (1º dia)

(continua)

TEMPERATURAS COM FORRO ABERTO 1º DIA (C°)			
HORÁRIOS	ESPAÇO 1	ESPAÇO 2	ESPAÇO 3
00:00	19	18	18
00:30	19	18	18
01:00	19	18	18
01:30	19	17	17
02:00	19	17	17
02:30	19	17	17
03:00	19	16	16
03:30	19	16	16
04:00	19	16	16
04:30	19	16	16
05:00	19	16	16
05:30	19	16	16

Tabela A4 - Dados coletados de temperatura com placas de XPS abertas (1º dia)
(conclusão)

TEMPERATURAS COM FORRO ABERTO 1º DIA (C°)			
HORÁRIOS	ESPAÇO 1	ESPAÇO 2	ESPAÇO 3
06:00	19	17	17
06:30	19	16	16
07:00	19	17	17
07:30	19	19	19
08:00	20	20	20
08:30	22	25	22
19:00	22	25	22
19:30	21	22	21
20:00	21	22	21
20:30	20	20	20
21:00	19	19	19
21:30	19	19	19
22:00	19	19	19
22:30	19	19	19
23:00	19	18	18
23:30	19	18	18

Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

Tabela A5 - Dados coletados de temperatura com placas de XPS abertas (2º dia)
(continua)

TEMPERATURAS COM FORRO ABERTO 2º DIA (C°)			
HORÁRIOS	ESPAÇO 1	ESPAÇO 2	ESPAÇO 3
00:00	20	20	20
00:30	20	20	20
01:00	20	20	20
01:30	20	20	20
02:00	19	19	19
02:30	19	19	19
03:00	19	18	18
03:30	19	18	18
04:00	19	18	18
04:30	19	18	18
05:00	19	18	18
05:30	19	18	18
06:00	19	18	18
06:30	19	18	18
07:00	19	18	18
07:30	19	18	18

Tabela A5 - Dados coletados de temperatura com placas de XPS abertas (2º dia)
(conclusão)

TEMPERATURAS COM FORRO ABERTO 2º DIA (C°)			
HORÁRIOS	ESPAÇO 1	ESPAÇO 2	ESPAÇO 3
08:00	20	20	20
08:30	22	22	22
19:00	22	25	23
19:30	22	25	22
20:00	22	23	22
20:30	21	22	21
21:00	21	21	21
21:30	20	20	20
22:00	20	20	20
22:30	20	20	20
23:00	20	20	20
23:30	20	20	20

Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

Tabela A6 - Dados coletados de temperatura com placas de XPS abertas (3º dia)
(continua)

TEMPERATURAS COM FORRO ABERTO 3º DIA (C°)			
HORÁRIOS	ESPAÇO 1	ESPAÇO 2	ESPAÇO 3
00:00	19	19	19
00:30	19	19	19
01:00	19	19	19
01:30	19	19	19
02:00	19	18	18
02:30	19	19	19
03:00	19	18	18
03:30	19	18	18
04:00	19	18	18
04:30	19	18	18
05:00	19	18	18
05:30	19	18	18
06:00	19	18	18
06:30	19	18	18
07:00	19	19	19
07:30	20	20	20
08:00	21	21	21
08:30	23	23	23
19:00	22	25	23

Tabela A6 - Dados coletados de temperatura com placas de XPS abertas (3º dia)

(conclusão)

TEMPERATURAS COM FORRO ABERTO 3º DIA (C°)			
HORÁRIOS	ESPAÇO 1	ESPAÇO 2	ESPAÇO 3
19:30	22	25	22
20:00	22	23	22
20:30	21	22	21
21:00	21	21	21
21:30	20	20	20
22:00	20	20	20
22:30	20	20	20
23:00	20	20	20
23:30	20	20	20

Fonte: Elaborada pelos autores (2024)

Figura A1 - Planta representativa do desenho do MAF (Mecanismo de Abertura e Fechamento) - Continua

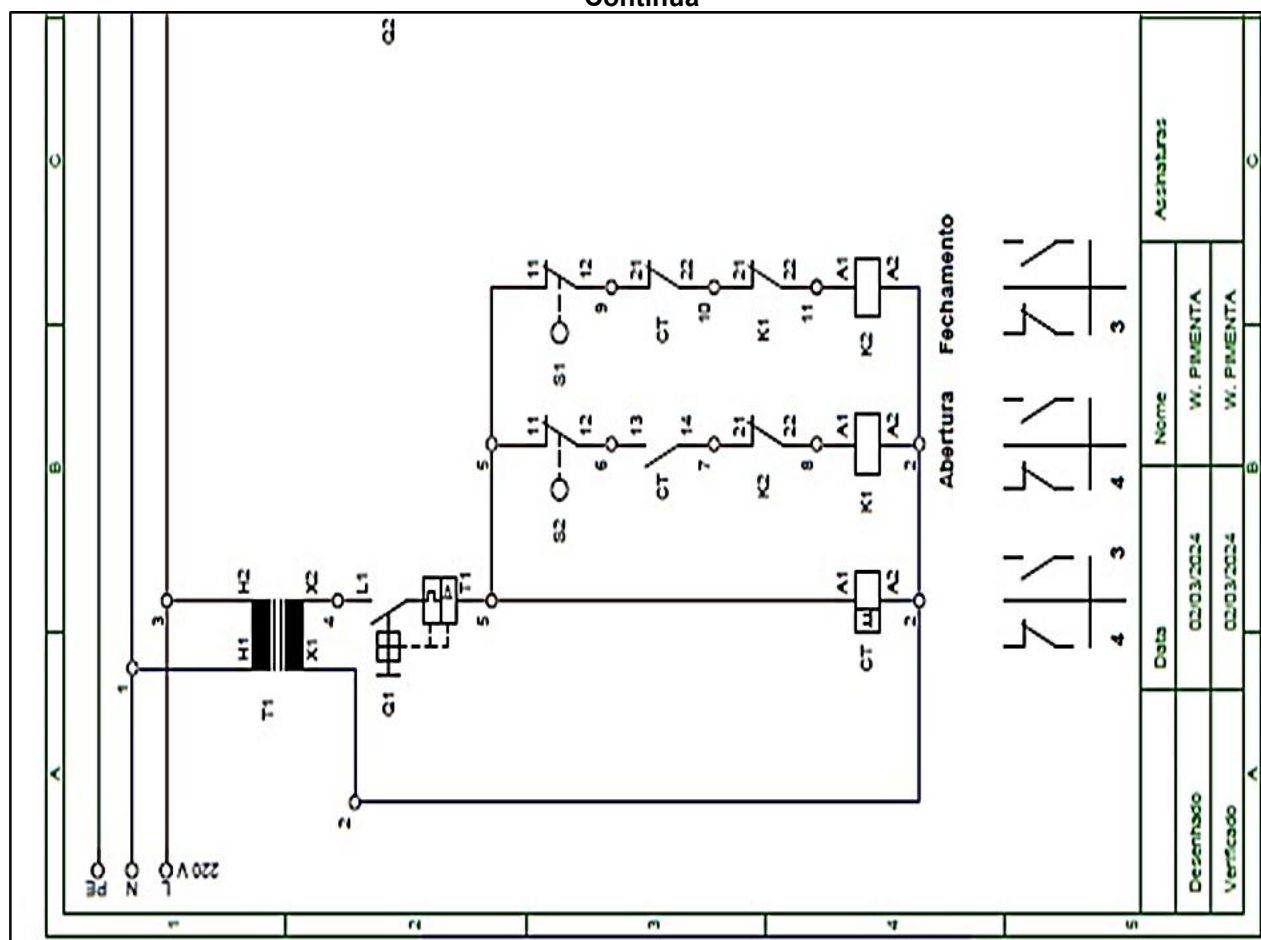
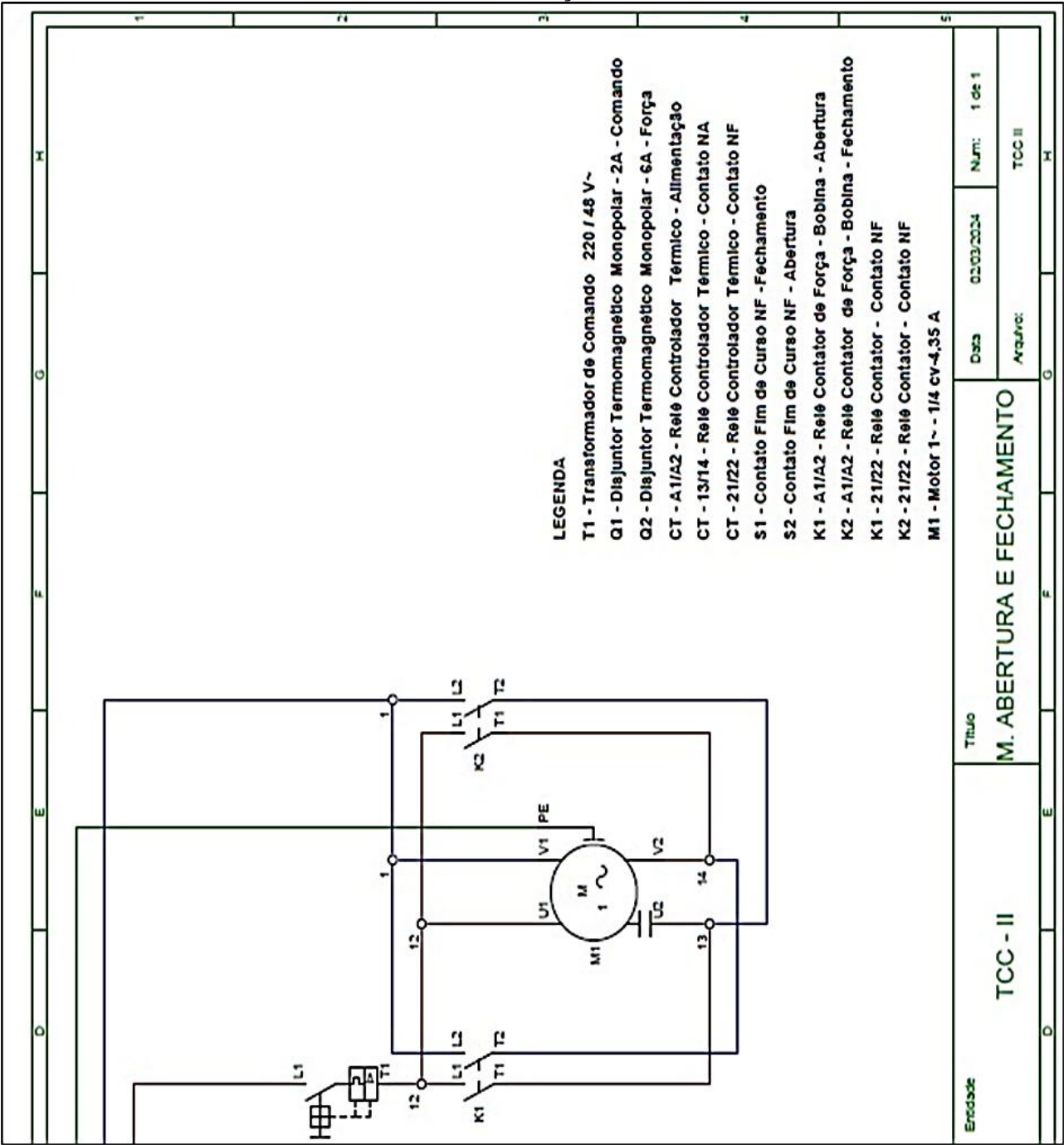
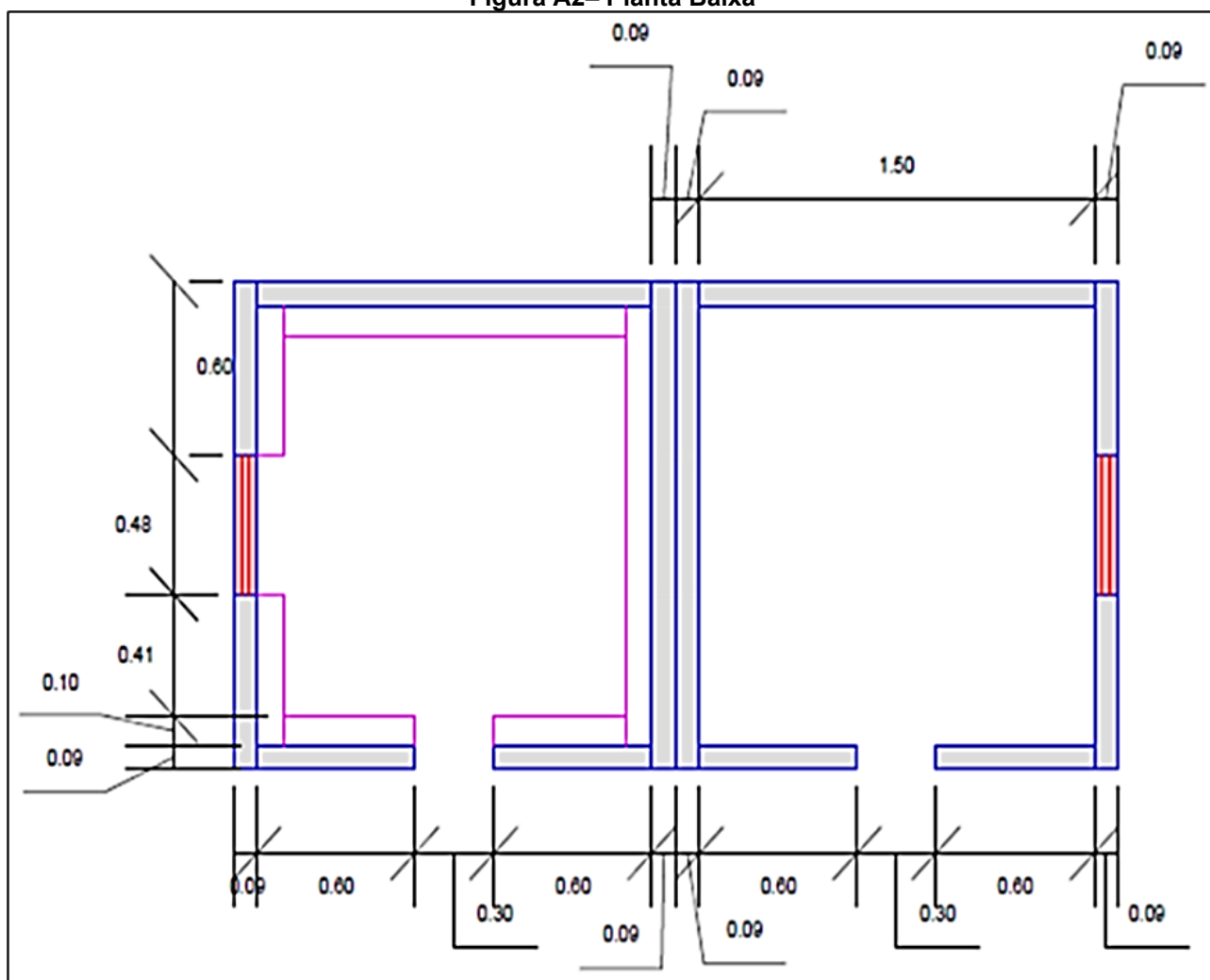


Figura A1 - Planta representativa do desenho do MAF (Mecanismo de Abertura e Fechamento) –
Continuação



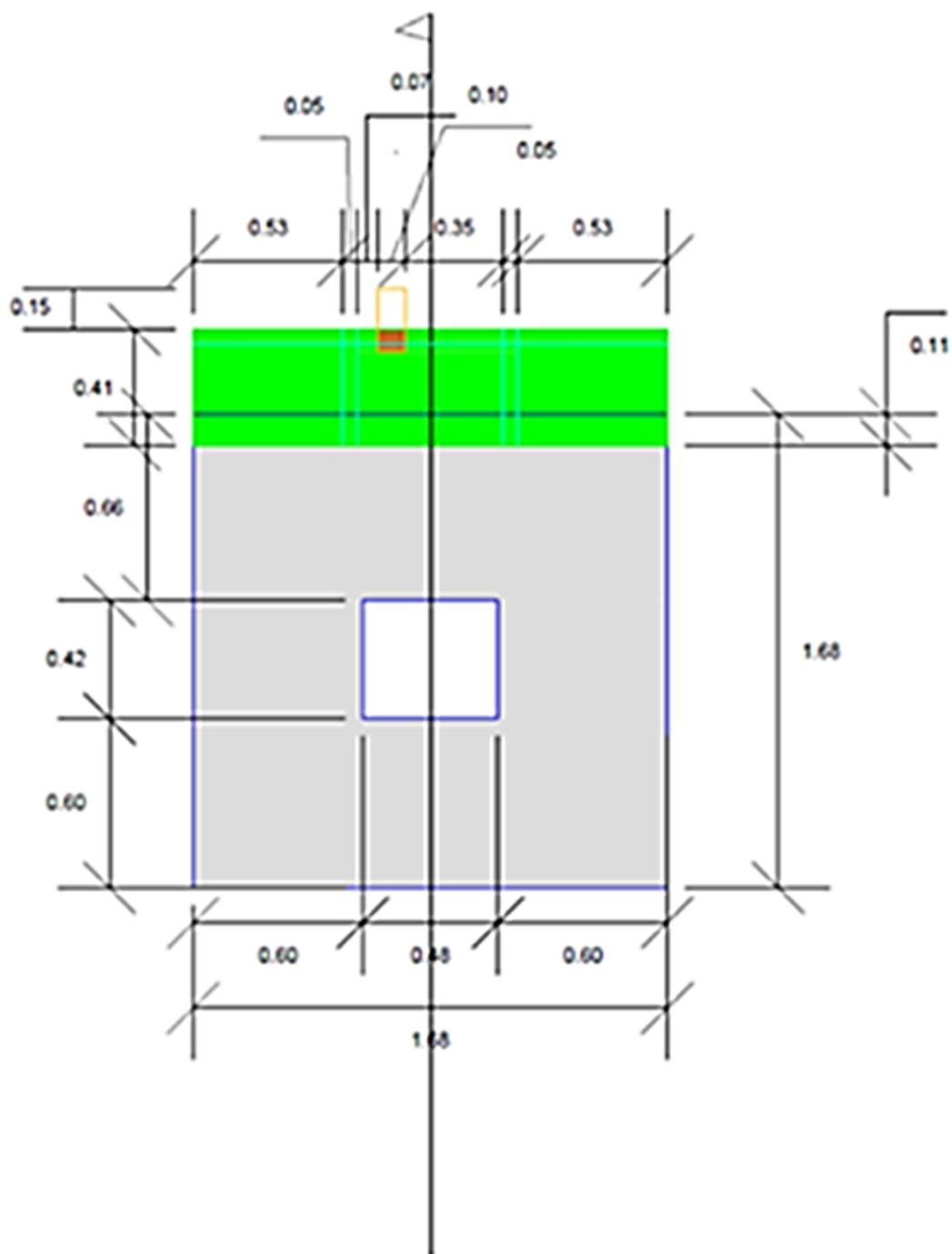
Fonte: Elaborada pelos autores (2024)

Figura A2– Planta Baixa



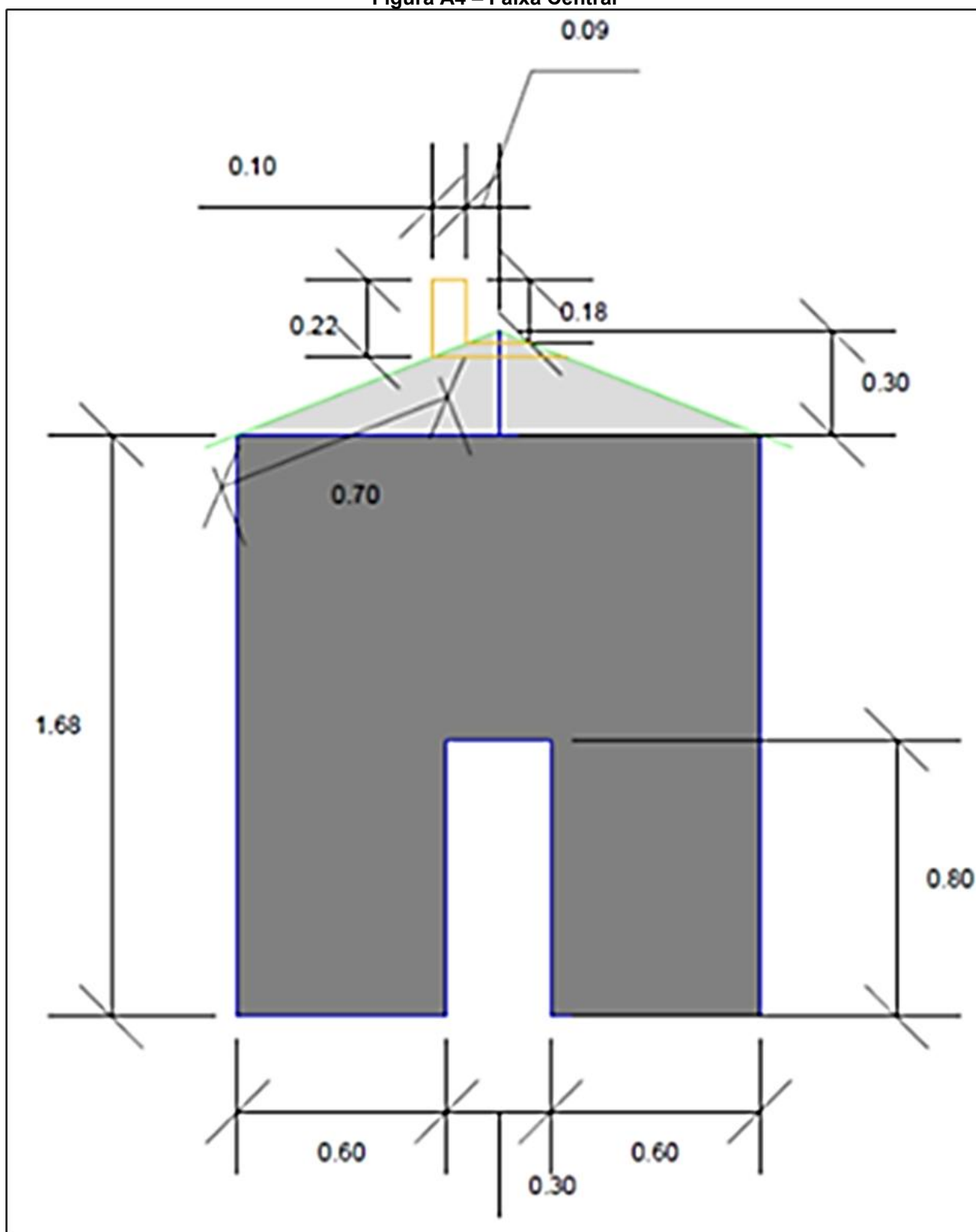
Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Figura A3 – Faixa Lateral



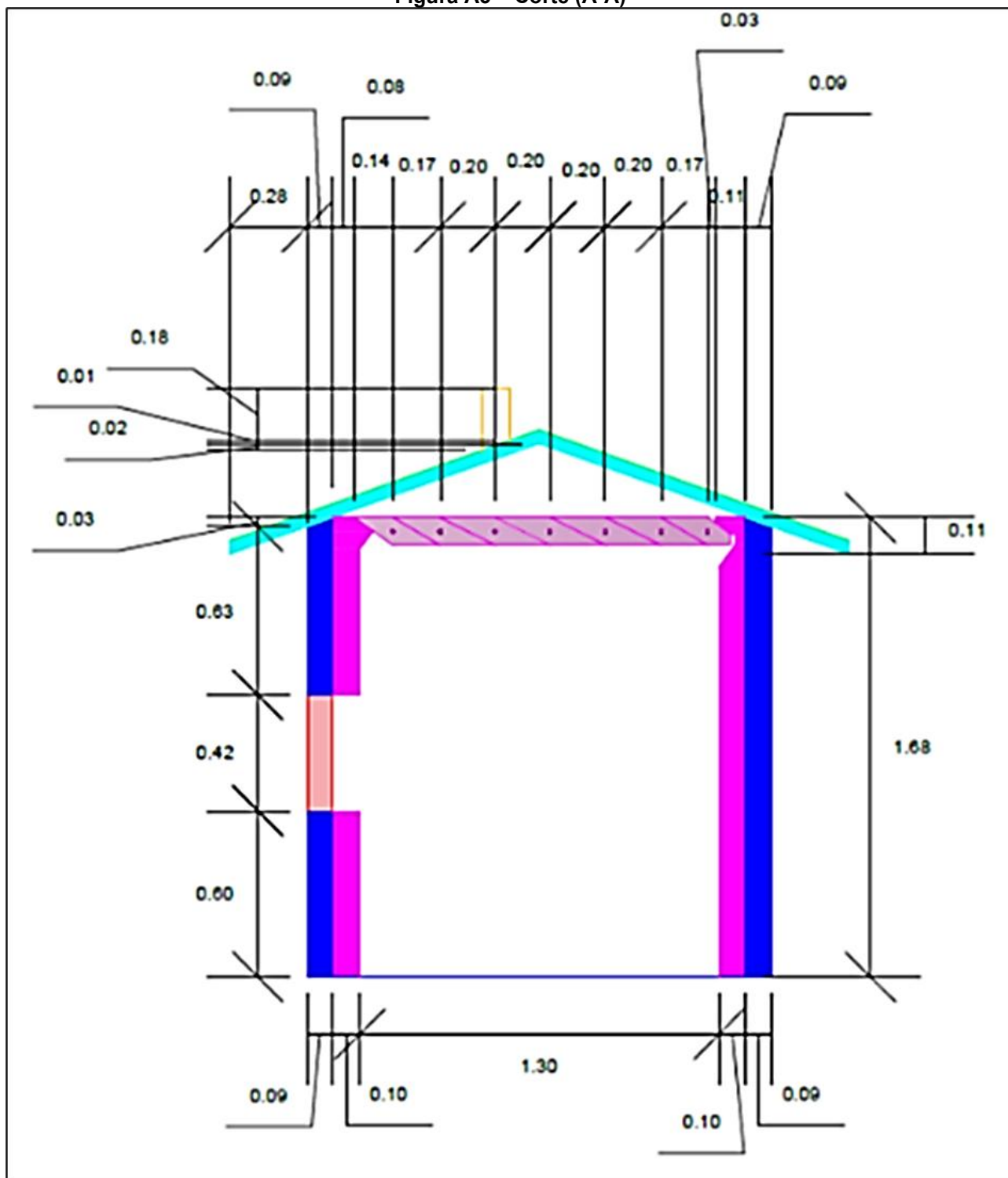
Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Figura A4 – Faixa Central



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Figura A5 – Corte (A-A)



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).