

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAPÁ
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL
CAMPUS MACAPÁ

GABRIELA DE CASTRO BATISTA OLIVEIRA
GILBERTO OLIVEIRA GONZAGA JUNIOR

PAINÉIS PIR (POLIISOCIANURATO) NA CONSTRUÇÃO PÚBLICA DE MACAPÁ:
Análise de Desempenho Termoacústico e Segurança Contra Incêndio

Macapá - AP
2025

GABRIELA DE CASTRO BATISTA OLIVEIRA
GILBERTO OLIVEIRA GONZAGA JUNIOR

PAINÉIS PIR (POLIISOCIANURATO) NA CONSTRUÇÃO PÚBLICA DE MACAPÁ:
Análise de Desempenho Termoacústico e Segurança Contra Incêndio

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação e Tecnologia do Amapá, em cumprimento às exigências legais como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.
Orientador: Me. Ruan Fabricio Goncalves Moraes

Macapá - AP
2025

Biblioteca Institucional - IFAP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

O0048p Oliveira, Gabriela de Castro Batista
Painéis pir (poliisocianurato) na construção pública de Macapá:
análise de desempenho termoacústico e segurança contra incêndio /
Gabriela de Castro Batista Oliveira, Gilberto Oliveira Gonzaga Junior. -
Macapá, 2025.
56 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -- Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá, Campus Macapá,
Bacharelado em Engenharia Civil, 2025.

Orientador: Ruan Fabricio Goncalves Moraes.


1. Engenharia Civil. 2. Desempenho de Materiais de Vedação. 3. Painél
PIR (poliisocianurato). I. Gonzaga Junior, Gilberto Oliveira. I. Moraes,
Ruan Fabricio Goncalves, orient. II. Título.

GABRIELA DE CASTRO BATISTA OLIVEIRA
GILBERTO OLIVEIRA GONZAGA JUNIOR


**PAINÉIS PIR (POLIISOCIANURATO) NA CONSTRUÇÃO PÚBLICA
DE MACAPÁ: Análise de Desempenho Termoacústico e Segurança
Contra Incêndio**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá, em cumprimento às exigências legais como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.


BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **RUAN FABRICIO GONCALVES MORAES**
Data: 22/01/2026 11:45:49-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Ruan Fabricio Gonçalves Moraes (Orientador)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá

Documento assinado digitalmente
 **VALDEMIR COLARES PINTO**
Data: 22/01/2026 09:25:38-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Valdemir Colares Pinto
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá

Documento assinado digitalmente
 **TARCISIO SANTIAGO GOMES FILHO**
Data: 23/01/2026 11:50:57-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Tarcísio Santiago Gomes Filho
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá

Apresentado em: 19/12/2025

Conceito/Nota: 95

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela vida e por ter nos concedido a força, a saúde e a perseverança necessárias para chegarmos ao final desta jornada acadêmica.

Aos nossos pais e familiares, nossa base e porto seguro. Agradecemos pelo amor incondicional, pelo incentivo constante e por compreenderem as nossas ausências durante os momentos de estudo e dedicação a este trabalho. Sem o sacrifício e o apoio de vocês, este sonho não seria possível.

Ao nosso orientador, Prof. Ruan Fabricio Gonçalves Moraes, pela paciência, pelas correções assertivas e por compartilhar conosco seu conhecimento, guiando-nos com sabedoria durante todo o processo de pesquisa.

Aos professores do curso de Engenharia Civil, que contribuíram para a nossa formação profissional e ética, deixando marcas que levaremos para toda a nossa carreira.

Aos amigos de turma, que tornaram a caminhada mais leve com momentos de descontração e companheirismo.

Em especial, agradecemos um ao outro pela parceria, paciência e respeito mútuo. O trabalho em equipe nos ensinou que dividir o fardo torna a caminhada possível e a vitória mais saborosa.

Por fim, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito obrigado (a)

RESUMO

A construção civil de obras públicas em Macapá, situada na rigorosa Zona Bioclimática 8, enfrenta desafios históricos de baixa produtividade e ineficiência energética devido ao uso predominante da alvenaria convencional. O presente trabalho teve como objetivo geral analisar a viabilidade técnica da implementação de painéis de Poliisocianurato (PIR) nessas edificações, com ênfase na verificação do desempenho termoacústico e da segurança contra incêndio à luz da ABNT NBR 15575. A metodologia adotada foi de natureza aplicada, com abordagem qualitativa e caráter descritivo, fundamentada em revisão bibliográfica e análise documental de normas técnicas e editais de licitação locais de 2024 e 2025. Os resultados confirmaram a superioridade térmica do sistema PIR, que atingiu uma transmitância estimada de $0,44 \text{ W/m}^2\text{K}$, valor significativamente melhor que o limite normativo de $2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$. No quesito segurança, comprovou-se o comportamento termofixo do material, que carboniza sem gotejamento, atendendo aos requisitos de reação ao fogo para rotas de fuga. Entretanto, a análise dos certames públicos afirmou que a principal barreira à implementação é administrativa, visto que os editais replicam especificações de métodos artesanais e omitem soluções industrializadas. Concluiu-se pela plena viabilidade técnica do sistema PIR, recomendando-se a atualização dos Termos de Referência dos órgãos públicos para priorizar critérios de desempenho, garantindo obras mais céleres e confortáveis.

Palavras-Chaves: painéis Pir; desempenho térmico; segurança contra incêndio; obras públicas; licitações.

ABSTRACT

Civil construction for public works in Macapá, located in the rigorous Bioclimatic Zone 8, faces historical challenges of low productivity and energy inefficiency due to the predominant use of conventional masonry. The general objective of this study was to analyze the technical feasibility of implementing Polyisocyanurate (PIR) panels in these buildings, with an emphasis on verifying thermal-acoustic performance and fire safety in light of ABNT NBR 15575. The adopted methodology was applied in nature, with a qualitative approach and descriptive character, based on a bibliographic review and documentary analysis of technical standards and local tender notices from 2024 and 2025. The results confirmed the thermal superiority of the PIR system, which achieved an estimated transmittance of $0.44\text{W/m}^2\text{K}$, a value significantly better than the regulatory limit of $2.5\text{W/m}^2\text{K}$. Regarding safety, the thermoset behavior of the material was proven, as it chars without dripping, meeting the reaction-to-fire requirements for escape routes. However, the analysis of public tenders indicated that the main barrier to implementation is administrative, as the notices replicate specifications of artisanal methods and omit industrialized solutions. It is concluded that the PIR system is fully technically feasible, recommending the update of Terms of Reference by public agencies to prioritize performance criteria, ensuring faster and more comfortable construction works

KeyWords: Pir panels; thermal performance; fire safety; public works; tenders.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Apresentação do Tema	11
1.2	Justificativa	11
1.3	Objetivos	11
1.3.1	Objetivo Geral.....	11
1.3.2	Objetivos Específicos.....	12
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	13
2.1	O cenário da construção pública e a busca por eficiência	13
2.2	Sistemas construtivos industrializados: painéis sanduíche.....	16
2.3	Método Construtivo Convencional: Alvenaria	20
2.3.1	Baixa Produtividade e Estagnação	23
2.3.2	Geração de Resíduos (RCC) e Impacto Ambiental.....	24
2.3.3	Desempenho Térmico Inadequado para o Clima Equatorial.....	24
2.4	O Poliisocianurato (PIR): Composição e Propriedades.....	25
2.5	Situação climática de Macapá	28
2.6	A Norma De Desempenho Abnt Nbr 15575:2021 - Edificações Habitacionais.....	29
2.6.1	Desempenho Térmico.....	31
2.6.2	Desempenho Acústico	33
2.6.3	Segurança Contra Incêndio em Edificações Públicas.....	34
2.7	Implementação do Painel PIR em Licitações Na Cidade de Macapá..	35
3	METODOLOGIA.....	38
3.1	Enquadramento Metodológico	38
3.2	Procedimentos Técnicos	38
3.3	Etapas da Pesquisa	39
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	41

4.1	Comparação Técnica entre Sistemas Construtivos.....	41
4.2	Avaliação do desempenho térmico segundo a ABNT NBR 15575	42
4.2.1	Verificação da transmitância e resistência térmica	42
4.2.2	Análise das estratégias de condicionamento térmico	44
4.3	Verificação da segurança contra incêndio e reação ao fogo.....	44
4.4	Avaliação do desempenho acústico	45
4.5	Análise da viabilidade de implementação em licitações.....	46
4.6	Prós e Contras do Painel PIR.....	48
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
	REFERÊNCIAS	52

1 INTRODUÇÃO

A construção civil brasileira, especialmente no âmbito das obras públicas, é historicamente fundamentada em métodos construtivos convencionais, como a alvenaria. Embora dominadas, essas técnicas frequentemente enfrentam desafios crônicos de baixa produtividade, geração elevada de resíduos e prazos de execução extensos. De acordo com Azeredo (1997), o método convencional de alvenaria, embora culturalmente enraizado, carece de racionalização, resultando em desperdícios que podem comprometer a economia dos contratos públicos. Este cenário é agravado em contextos climáticos severos, como o da cidade de Macapá (AP), inserida na Zona Bioclimática 8 (ZB8). Conforme estabelecido pela ABNT NBR 15220-3 (2005), a ZB8 exige estratégias bioclimáticas específicas, como ventilação cruzada e isolamento térmico eficiente, devido ao seu clima equatorial quente e superúmido. Nestas condições, a busca por conforto térmico torna-se um desafio central para reduzir a alta demanda por sistemas de climatização artificial (Frota; Schiffer, 2017).

Em resposta a essa dupla demanda, os sistemas industrializados, como os painéis de poliisocianurato (PIR), surgem como uma alternativa tecnológica promissora. Segundo Ferreira (2021), a industrialização da construção permite um controle de qualidade rigoroso e a redução do tempo de canteiro através da montagem de componentes pré-fabricados. Os painéis do tipo sanduíche de PIR destacam-se por aliar velocidade e isolamento térmico superior. Além disso, no quesito segurança, o PIR apresenta uma resposta ao fogo significativamente melhor quando comparado ao poliuretano (PUR) convencional, devido à sua estrutura molecular termoestável que retarda a carbonização (Souza, 2019). Apesar dessas vantagens, sua implementação em obras públicas locais ainda é incipiente. Diante desse cenário, este trabalho delimita-se à análise do desempenho termoacústico e de segurança contra o fogo de painéis tipo PIR em edificações na capital amapaense.

A justificativa para esta investigação reside na necessidade urgente de avaliar, de forma crítica e aprofundada, a exequibilidade deste sistema construtivo frente às rigorosas exigências climáticas de Macapá, definidas por grande teor de umidade e altas temperaturas. O estudo é relevante ao propor uma análise técnica que sirva como guia para auxiliar na especificação segura e eficiente do material, preenchendo uma lacuna acadêmica e prática sobre a correta utilização desta tecnologia em

projetos públicos. Busca-se, assim, alinhar a eficiência térmica necessária para combater o desconforto local sem reduzir os parâmetros de produtividade, qualidade e segurança da obra.

Para responder ao problema proposto, este trabalho tem como objetivo geral analisar a viabilidade técnica da implementação de painéis de Poliisocianurato (PIR) em obras públicas na cidade de Macapá/AP. Para alcançar este intento, foram definidos os objetivos específicos: caracterizar as propriedades técnicas dos painéis PIR; verificar a conformidade do sistema PIR com as normas brasileiras de desempenho termoacústico; e analisar o atendimento às normas de segurança contra incêndio vigentes.

Metodologicamente, a pesquisa classifica-se como aplicada, de abordagem qualitativa e caráter descritivo-exploratório. O percurso investigativo fundamentou-se em procedimentos bibliográficos e documentais, articulando dados da literatura técnica, catálogos de fabricantes e do arcabouço normativo vigente. Nesse contexto, este trabalho utiliza os parâmetros da ABNT NBR 15575 como referência técnica de desempenho para efeito de análise comparativa, além das Instruções Técnicas do Corpo de Bombeiros, visando avaliar a viabilidade dos painéis PIR frente aos requisitos de segurança, conforto térmico e acústico no cenário das construções públicas em Macapá. Para atingir os objetivos propostos, o estudo foi estruturado em três etapas, o levantamento teórico-documental das propriedades do PIR e requisitos da Zona Bioclimática 8; a análise comparativa para verificação de conformidade técnica do material frente às normas; e, por fim, a sistematização dos resultados para validar a viabilidade do sistema no contexto de Macapá.

Para fundamentar esta análise, o trabalho estrutura-se a partir de uma revisão teórica sólida apresentada no Capítulo 2. Inicialmente, contextualiza-se o cenário da construção pública, contrapondo os gargalos de produtividade da alvenaria convencional às vantagens dos sistemas industrializados e modulares. Em seguida, detalham-se as propriedades físico-químicas dos painéis sanduíche, diferenciando os núcleos de Poliestireno Expandido (EPS), Lã de Rocha (LR), Poliuretano (PUR) e PIR. Por fim, a fundamentação aprofunda-se na caracterização climática de Macapá e estabelece a base normativa do estudo, centrada na ABNT NBR 15575 (Norma de Desempenho), explorando seus critérios de desempenho térmico, acústico e, com ênfase especial, os requisitos de segurança contra incêndio.

1.1 Apresentação do Tema

Este trabalho dedica-se à análise do desempenho termoacústico e da segurança contra incêndio de painéis de poliisocianurato (PIR), com ênfase na sua aplicação em edificações públicas na cidade de Macapá, Amapá. O estudo investiga as propriedades técnicas deste sistema construtivo industrializado como alternativa aos métodos convencionais, contextualizando seu uso frente às exigências normativas de desempenho e às especificidades da Zona Bioclimática 8.

1.2 Justificativa

A relevância desta pesquisa fundamenta-se na necessidade urgente de adequação das obras públicas às rigorosas condições climáticas de Macapá, caracterizadas por altas temperaturas e elevada umidade relativa do ar. Nesse cenário, a persistência no uso de alvenaria convencional, muitas vezes sem isolamento térmico adequado, resulta em edifícios com baixa eficiência energética e desconforto ambiental para os usuários.

A adoção de painéis PIR justifica-se pelo potencial de alinhar a celeridade construtiva, essencial para o cumprimento de prazos em licitações, à eficiência termoacústica superior. Sob a ótica econômica e administrativa, a validação técnica deste material pode induzir a uma redução significativa nos custos operacionais com climatização artificial ao longo da vida útil do imóvel. Ademais, do ponto de vista da segurança, torna-se imperativo desmistificar o comportamento do material frente ao fogo, fornecendo subsídios técnicos que garantam sua especificação segura em escolas e hospitais, superando barreiras culturais que ainda limitam a inovação no setor público local.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

- Analisar a viabilidade técnica da implementação de painéis de Poliisocianurato (PIR) em obras públicas na cidade de Macapá/AP.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar as propriedades técnicas dos painéis PIR, focando em desempenho termoacústico e segurança;
- Verificar a conformidade do sistema PIR com as normas brasileiras de desempenho termoacústico e segurança;
- Analisar o atendimento às normas de segurança contra incêndio.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, será apresentada a teoria que sustentará o estudo e sua posterior aplicação. O pretendido é contextualizar o cenário da construção pública e seus desafios de eficiência, focando nas demandas específicas impostas pelo clima equatorial de Macapá. Depois disso, descrever o que são sistemas construtivos industrializados, realizar uma revisão bibliográfica sobre os painéis sanduíche e detalhar as propriedades técnicas do Poliisocianurato (PIR).

Além disso, será definida a base normativa que rege o desempenho de edificações, com foco na ABNT NBR 15575, bem como os critérios de análise existentes para os requisitos de desempenho térmico, acústico e de segurança contra o fogo.

2.1 O cenário da construção pública e a busca por eficiência

A construção civil voltada a obras públicas no Brasil é tradicionalmente marcada pela utilização de métodos construtivos convencionais. Dentre estes, destaca-se a alvenaria, um dos materiais mais antigos utilizados no setor (Barbosa, 2015). Tecnicamente, o sistema consiste em peças unidas que formam as paredes, com a função de dividir e vedar os espaços (Tauil; Nesse, 2010). Apesar de amplamente dominadas, essas técnicas tradicionais são frequentemente apontadas como um dos principais fatores da persistente baixa produtividade do setor. Nesse sentido, Saurin e Formoso (2006) apontam que o caráter predominantemente artesanal, a pouca inovação tecnológica e a resistência cultural a mudanças são causas centrais para este problema.

Figura 1 – Construção de Alvenaria



Fonte: Souza (2020)

De fato, a estagnação da produtividade na construção brasileira nas últimas décadas é um consenso, sendo frequentemente correlacionada ao baixo nível de industrialização e automação (CBIC, 2016). Esse cenário perpetua os desafios crônicos observados nos canteiros públicos: cronogramas de execução extensos, custos de mão de obra impactantes e um elevado índice de geração de resíduos. Esta ineficiência intrínseca dos métodos tradicionais de alvenaria e concreto moldado *in loco* gera um ciclo vicioso em obras públicas. O alto volume de Resíduos da Construção Civil (RCC) não só onera o projeto com custos de remoção e descarte, mas também representa um significativo passivo ambiental, contrariando as modernas diretrizes de gestão e sustentabilidade, como a Resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2002).

Figura 2 – Resíduos da Construção Civil



Fonte: Silva (2013)

A variabilidade no desempenho final da vedação é outra consequência direta: a qualidade da execução, dependente da habilidade manual de cada profissional, resulta em inconsistências no desempenho termoacústico e na estanqueidade, exigindo manutenções corretivas precoces. Além disso, a baixa velocidade de execução e a alta dependência de mão de obra tornam o canteiro vulnerável a intempéries e flutuações de mercado, facilitando o descumprimento de prazos.

É neste contexto de ineficiência e desperdício que se agrava o fenômeno das obras paralisadas, muitas vezes referidas popularmente como "elefantes brancos". Segundo levantamento da Confederação Nacional da Indústria (CNI, 2018), milhares e obras encontram-se paralisadas no país, gerando prejuízos bilionários. A escolha por métodos construtivos lentos e artesanais contribui diretamente para este problema: quanto maior o prazo de execução, maior a exposição da obra a cortes orçamentários, trocas de gestão política e inflação de insumos. Conforme aponta o

Tribunal de Contas da União (TCU, 2019), falhas de projeto e execução lenta estão entre as principais causas de paralisação, resultando em edificações que se tornam obsoletas ou degradadas antes mesmo da inauguração.

O cenário da construção pública em Macapá torna-se ainda mais complexo ao se considerar as especificidades locais, que vão além das questões climáticas. A capital amapaense enfrenta um desafio logístico singular devido ao seu isolamento geográfico, dependendo majoritariamente do transporte fluvial para o abastecimento de insumos (CNT, 2019). Embora sistemas industrializados como os painéis de PIR também dependam dessa cadeia de transporte, sua alta relação entre volume e peso oferece uma vantagem comparativa estratégica. Enquanto a alvenaria convencional demanda um volume massivo de materiais pesados e fragmentados (agregados, cimento, tijolos), cuja logística via balsas encarece o custo final da obra devido ao "Custo Amazônico" e eleva os riscos de perdas e desabastecimento, o sistema de painéis sanduíche otimiza o frete. Ao consolidar fechamento e isolamento em componentes leves e pré-fabricados, reduz-se drasticamente a tonelage total transportada e a quantidade de viagens necessárias, mitigando o impacto dos gargalos logísticos regionais no cronograma e no orçamento público.

Conforme demonstrado na Tabela 1 abaixo, a substituição da alvenaria por painéis de PIR representa uma redução de carga superior a 90% por metro quadrado de vedação. No contexto do isolamento geográfico de Macapá, essa eficiência traduz-se em uma ocupação mais racional do espaço de carga nas balsas, diminuindo drasticamente o custo do frete por área construída.

Tabela 1 – Comparativo Peso próprio por metro quadrado (Kg/m²)

Sistema Construtivo	Descrição Técnica	Espessura Total	Peso Médio (kg/m ²)
Alvenaria Convencional	Tijolo cerâmico (9x19x19) com reboco (2 faces)	~17 cm	150 - 250 kg/m ²
Painel Sanduíche PIR	Núcleo PIR (40 kg/m ³) + Chapas de Aço (0,5mm)	50 mm	10 - 15 kg/m ²

Fonte: adaptado de Azeredo (1997); Kingspan (2025)

Somado a isso, o contexto climático classifica a cidade como equatorial quente e úmida (Zona Bioclimática 8), conforme a ABNT NBR 15220 (ABNT, 2005), exigindo um rigoroso desempenho térmico das edificações. Tal exigência é um fator crítico tanto para a garantia do conforto ambiental dos usuários quanto para a otimização da eficiência energética. A inadequação da alvenaria tradicional para a Zona Bioclimática 8 é notória. Esta zona caracteriza-se por temperaturas elevadas e baixa amplitude térmica diária. As paredes de alvenaria convencional, possuindo alta inércia térmica, absorvem o calor ao longo do dia e o irradia para o interior durante a noite, impedindo o resfriamento noturno da estrutura (Lamberts; Dutra; Pereira, 2014).

O resultado é a sobrecarga contínua dos sistemas de climatização, que se tornam o principal vetor de consumo energético da edificação, falhando em atender aos critérios mínimos da norma de desempenho, ABNT NBR 15575 (ABNT, 2021). Em contraste, os sistemas industrializados, como os painéis PIR, operam sob o princípio do isolamento térmico, possuindo um Valor-U drasticamente inferior. Esta é a estratégia correta para o clima equatorial, pois reduz a carga térmica interna e, conseqüentemente, o custo operacional do edifício público.

2.2 Sistemas construtivos industrializados: painéis sanduíche

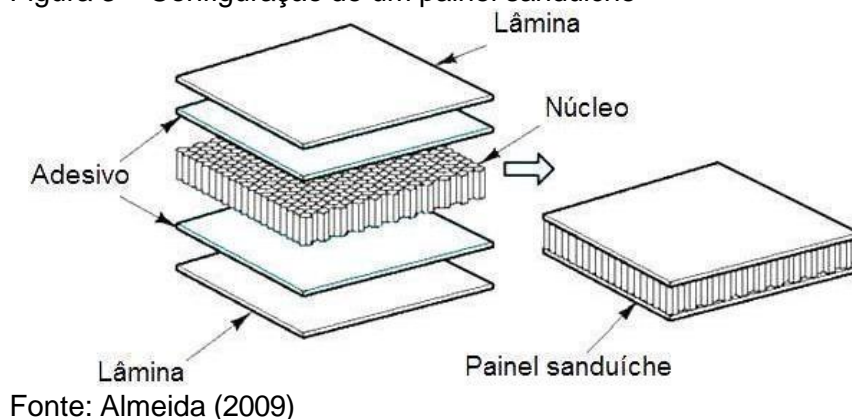
Em contrapartida ao cenário de baixa produtividade, desperdício de material, lentidão e menor controle de qualidade (Reis; Santos, 2022), a construção civil tem demonstrado nas últimas décadas uma crescente busca por eficiência, sustentabilidade e racionalização de recursos. Nesse contexto, sistemas construtivos industrializados surgiram como alternativa aos métodos tradicionais.

A industrialização na construção civil se caracteriza pela adoção de métodos, processos e tecnologia que se diferenciam dos métodos construtivos tradicionais, como a alvenaria convencional. No contexto de métodos modernos, tem-se a construção modular como técnica que busca a melhoria de eficiência, qualidade, sustentabilidade e prazos de execução menores (Monteiro; Paliari, 2024).

No âmbito da construção modular, os painéis sanduíche se consolidaram como conceito no setor construtivo devido sua multifuncionalidade como leveza, resistência mecânica e desempenho termoacústico. Segundo Arantes *et al.* (2023), estes painéis geralmente são confeccionados por três camadas, sendo duas lâminas finas externas, em sua grande maioria metálicas, que permitem resistência e proteção, e um núcleo

isolante, sendo o componente principal para proporcionar o desempenho térmico e acústico.

Figura 3 – Configuração de um painel sanduíche



O núcleo isolante é o principal diferencial entre os tipos de painéis disponíveis no mercado. Para Santana, Nolêto e Vieira (2022), dentre os materiais frequentemente utilizados incluem-se o Poliestireno Expandido (EPS), a Lã de Rocha (LR) ou Lã de Vidro, o Poliuretano (PUR) e, com destaque crescente, o Poliisocianurato (PIR). Cada um desses materiais confere ao painel características específicas de isolamento térmico, reação ao fogo, capacidade estrutural e absorção acústica. Sendo assim, a escolha pelo material do núcleo é uma decisão fundamental para a eficácia da sua edificação de acordo com os benefícios procurados.

A industrialização mostra-se capaz de responder aos desafios de baixa produtividade, desperdício e desempenho. A construção modular, incentivada pelo uso de painéis sanduíche, representa a tradição de busca por eficiência e sustentabilidade.

Analisando os materiais de núcleo mais comuns, observam-se diferenças críticas que justificam a preferência por tecnologias mais modernas. O Poliestireno Expandido (EPS), embora amplamente difundido devido ao seu baixo custo e leveza, apresenta limitações significativas. Sua principal desvantagem reside no comportamento ao fogo, sendo um material termoplástico, ele tende a propagar chamas rapidamente e gotejar, o que representa um risco elevado para a segurança das edificações. Além disso, seu desempenho térmico, embora razoável, é inferior quando comparado às espumas de poliuretano (Arantes, 2023).

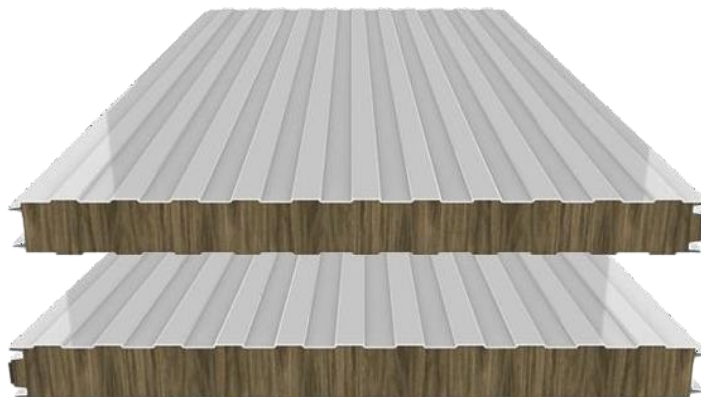
Figura 4 - Painel de Poliestireno Expandido (EPS)



Fonte: Kingspan (2020)

As Lãs Minerais (Lã de Rocha ou Lã de Vidro) oferecem uma vantagem distinta no quesito segurança contra incêndio. Por serem materiais incombustíveis (classificados como Euroclasse A1), elas não contribuem para a propagação do fogo e resistem a altas temperaturas. Adicionalmente, possuem excelente capacidade de absorção acústica, sendo uma escolha preferencial onde o conforto sonoro é prioritário. Contudo, seu desempenho térmico não é tão eficiente quanto o das espumas rígidas (PUR e PIR), exigindo maiores espessuras para atingir o mesmo nível de isolamento. São também materiais mais pesados e podem perder eficiência se expostos à umidade, exigindo maior cuidado na selagem do painel (Arantes, 2023).

Figura 5 - Painel sanduiche de Lã de Rocha



Fonte: Grupo painel sandwich (2020)

O Poliuretano (PUR) representou uma evolução significativa em relação ao EPS, oferecendo um dos melhores índices de isolamento térmico do mercado (baixa condutividade térmica). Sua estrutura de células fechadas garante rigidez e boa resistência mecânica, tornando o painel leve e estruturalmente eficiente (Arantes, 2023). No entanto, o PUR compartilha uma vulnerabilidade com o EPS, seu comportamento ao fogo. Embora tenha uma resistência térmica maior que o EPS, o

PUR é combustível e, quando queima, pode liberar gases tóxicos, como o cianeto.

Figura 6 - Painel sanduiche de Poliuretano (PUR)



Fonte: MultiFrio (2015)

Neste cenário comparativo, o Poliisocianurato (PIR) emerge como a solução tecnologicamente mais avançada e equilibrada. O PIR é, quimicamente, um aperfeiçoamento do PUR. Sua estrutura molecular em anel isocianurato é intrinsecamente mais estável e resistente ao calor. A principal vantagem do PIR sobre o PUR é sua notável resistência ao fogo. Quando exposto a chamas, o PIR não derrete nem propaga o fogo, ele desenvolve uma camada superficial carbonizada (conhecida como "char") que retarda a combustão, protege o núcleo do painel e limita a emissão de fumaça, garantindo maior tempo para evacuação e combate ao incêndio (Kingspan, 2020).

Figura 7 - Painel sanduiche de Poliisocianurato (PIR)



Fonte: BCM (2020)

Este desempenho superior em relação ao fogo, torna o PIR o material de escolha para projetos que exigem alta segurança, como hospitais, escolas, centros de distribuição e edifícios públicos. Além da segurança, o PIR mantém (e frequentemente supera) o excelente desempenho de isolamento térmico do PUR, permitindo a utilização de painéis mais finos para alcançar a mesma eficiência energética, otimizando o espaço útil interno da edificação.

A adoção de painéis sanduíche com núcleo em PIR alinha-se diretamente aos pilares da construção industrializada mencionados inicialmente. Em termos de eficiência e prazos, a leveza e a alta resistência mecânica dos painéis permitem fundações mais simples e uma montagem extremamente rápida, muitas vezes superando em mais de 50% a velocidade de obras em alvenaria (Monteiro, 2024). A precisão dimensional de fábrica garante a qualidade e a estanqueidade do sistema.

No âmbito da sustentabilidade, o impacto do PIR é duplo. Primeiramente, na fase de obra, por ser um sistema de construção a seco, reduz drasticamente o consumo de água e a geração de entulhos no canteiro, alinhando-se ao problema do desperdício de material (Monteiro, 2024). Em segundo lugar, e mais importante, durante a vida útil do edifício, o altíssimo poder de isolamento térmico dos painéis PIR reduz drasticamente a necessidade de climatização artificial (ar-condicionado ou aquecimento). Isso resulta em uma economia de energia operacional significativa, diminuindo os custos de manutenção e a pegada de carbono da edificação.

Portanto, a evolução dos materiais de núcleo, culminando no PIR, demonstra que a industrialização não busca apenas a racionalização de processos, mas também a incorporação de tecnologia para solucionar demandas complexas. A escolha de um painel sanduíche transcende a simples vedação; ela define a segurança, a eficiência energética e a viabilidade econômica de longo prazo do empreendimento. A construção modular, apoiada por materiais de alto desempenho como o PIR, consolida-se assim como uma resposta robusta e inteligente aos desafios contemporâneos da construção civil.

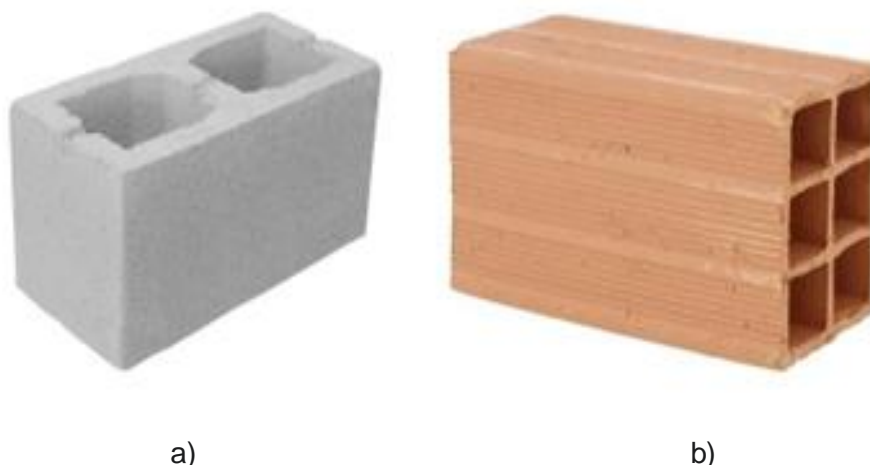
2.3 Método Construtivo Convencional: Alvenaria

A construção civil no Brasil, especialmente no que tange a obras públicas, é historicamente fundamentada em métodos construtivos ditos "convencionais". Este termo se refere a um conjunto de técnicas e processos amplamente difundidos, culturalmente aceitos e dominados pela mão de obra local, caracterizados por uma baixa mecanização e uma execução predominantemente realizada *in loco*. Dentro deste universo, o sistema de alvenaria é o protagonista indiscutível.

A alvenaria, em sua essência, é um dos materiais mais antigos utilizados pelo homem no setor (Barbosa, 2015). Tecnicamente, o sistema consiste em peças (blocos ou tijolos) unidas por uma argamassa, que formam as paredes e têm a função primária

de dividir e vedar os espaços internos e externos de uma edificação (Tauil; Nesse, 2010).

Figura 8 – Blocos de Vedação Fabricados em Concreto (a) e Cerâmica (b)



Fonte: Caçula Centermat (2025)

A hegemonia deste método no Brasil deve-se a uma combinação de fatores: o baixo custo aparente dos seus componentes (blocos cerâmicos ou de concreto), a vasta disponibilidade de matéria-prima em território nacional e, principalmente, a existência de uma ampla mão de obra, embora muitas vezes de baixa qualificação, capaz de executar o serviço. Esta facilidade de acesso e a tradição cultural solidificaram a alvenaria como a solução padrão, tornando-a sinônimo de "construir" no imaginário coletivo.

Embora o termo "alvenaria" seja usado genericamente, é crucial distinguir suas duas principais funções no canteiro de obras, pois elas implicam processos e níveis de racionalização distintos. Este é o método convencional mais comum em obras públicas e comerciais no Brasil. Neste sistema, a alvenaria não possui função estrutural. A carga da edificação (lajes, telhado, etc.) é suportada por um esqueleto independente de concreto armado, composto por pilares e vigas, moldado *in loco*.

As paredes de alvenaria de vedação atuam, portanto, apenas como um "preenchimento" ou "fechamento" dos vãos deixados por essa estrutura. Elas servem para delimitar os ambientes, proporcionar privacidade e proteger o interior das intempéries. É justamente nesta tipologia que os maiores problemas de produtividade e desperdício se manifestam.

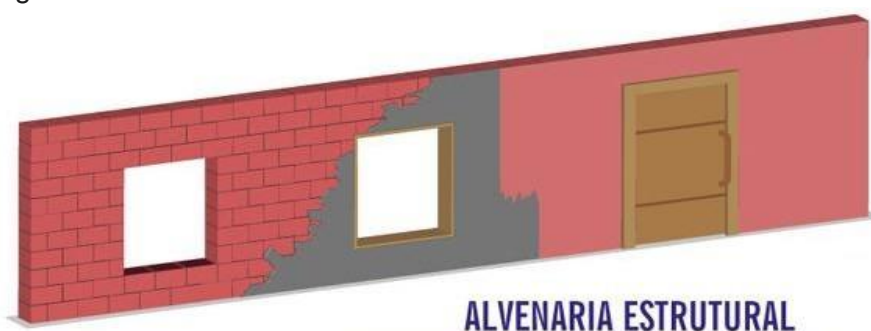
Figura 9 - Alvenaria Convencional



Fonte: Astra (2016)

Em contrapartida, a alvenaria estrutural é um método mais racionalizado. Nele, os próprios blocos (geralmente de concreto ou blocos cerâmicos específicos, de alta resistência) desempenham a função estrutural, eliminando a necessidade da maioria dos pilares e vigas de concreto. As cargas são distribuídas pelas próprias paredes.

Figura 10 - Alvenaria Estrutural



Fonte: Astra (2016)

Este sistema exige um nível de planejamento e controle muito superior, pois as instalações elétricas e hidráulicas devem ser, preferencialmente, embutidas durante a elevação das paredes para evitar cortes. Embora seja uma evolução em relação à vedação, a alvenaria estrutural ainda enfrenta desafios de desempenho térmico e não elimina completamente os processos úmidos (argamassa) do canteiro.

O modelo convencional de alvenaria de vedação é intrinsecamente ligado a um processo construtivo artesanal. A execução no canteiro de obras segue um fluxo de trabalho que, apesar de consolidado, é marcado pela sobreposição de etapas, alta dependência da habilidade do trabalhador e um fluxo intenso de materiais (cimento, areia, brita, blocos).

O processo pode ser resumido da seguinte forma:

- Execução da Estrutura: Primeiramente, vigas e pilares de concreto são moldados no local.
- Elevação da Alvenaria: Os pedreiros "levantam" as paredes, assentando bloco por bloco com argamassa.
- Encunhamento: É feito o fechamento do vão entre a última fiada de blocos e a viga superior, geralmente com argamassa ou blocos cortados.
- Abertura de Rasgos (O "Quebra-Quebra"): Esta é a etapa mais crítica. Após a parede estar pronta, ela é literalmente rasgada com talhadeiras e marretas para a passagem de tubulações elétricas e hidrossanitárias.
- Execução de Revestimentos: A parede é então coberta com camadas de chapisco, emboço e reboco para corrigir imperfeições e prepará-la para o acabamento.

Esta sequência de "construir para depois destruir" (elevar a parede e depois rasgá-la) é a fonte primária dos problemas crônicos do setor. Saurin e Formoso (2006) diagnosticam este cenário com precisão, apontando o caráter predominantemente artesanal, a pouca inovação tecnológica e a resistência cultural a mudanças como causas centrais para a baixa produtividade. A perpetuação deste modelo artesanal em obras públicas resulta em um ciclo de ineficiência com consequências mensuráveis.

2.3.1 Baixa Produtividade e Estagnação

A produtividade na construção civil brasileira é um problema notório e documentado. A estagnação do setor nas últimas décadas é um consenso, sendo frequentemente correlacionada ao baixo nível de industrialização e automação (CBIC, 2018).

Na prática da alvenaria convencional, isso se traduz em:

- Cronogramas Extensos: O processo de secagem (cura do concreto, secagem da argamassa, secagem do reboco) exige longos períodos de espera, tornando a construção lenta.
- Intensidade de Mão de Obra: O custo da mão de obra torna-se impactante, pois um grande número de trabalhadores é necessário para tarefas de baixo valor

agregado (transporte de materiais, aplicação de argamassa, etc.).

- Baixa Padronização: O resultado final (prumo, nível, esquadro) depende inteiramente da habilidade do profissional, levando a uma alta variabilidade na qualidade.

2.3.2 Geração de Resíduos (RCC) e Impacto Ambiental

O processo de "rasgar" as paredes para instalações é devastador do ponto de vista da sustentabilidade. Esta etapa gera um volume alarmante de Resíduos da Construção Civil (RCC), compostos por fragmentos de blocos, argamassa e poeira.

Figura 11 - Sobra de resíduos de construções convencionais



Fonte: Rodrigues (2013)

Estima-se que o desperdício de materiais em canteiros convencionais possa chegar a índices exorbitantes, muitas vezes superando 30% para blocos e argamassas (Pinto, 2009). Esse entulho não representa apenas um custo direto (material comprado que foi destruído), mas também um custo indireto e um passivo ambiental, exigindo transporte e descarte em aterros, em desacordo com as diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos e da Resolução CONAMA nº 307/2002.

2.3.3 Desempenho Térmico Inadequado para o Clima Equatorial

Talvez o ponto mais crítico para o contexto de Macapá seja o desempenho térmico. A capital do Amapá está localizada na Zona Bioclimática 8 (ZB8), classificada pela ABNT NBR 15220 como "Quente e Úmida". Esta é a zona mais severa do país, exigindo que as edificações minimizem o ganho de calor durante todo o ano.

Os sistemas de alvenaria convencionais (bloco cerâmico ou de concreto com

reboco) apresentam desempenho insuficiente neste aspecto por duas razões principais:

- Alta Transmitância Térmica (Valor-U): Esses sistemas possuem um baixo poder de isolamento, permitindo que o calor externo (radiação solar) penetre facilmente para o interior da edificação.
- Inércia Térmica Prejudicial: A alvenaria, por ser pesada (alta massa térmica), absorve o calor lentamente ao longo do dia e o irradia para o ambiente interno durante a noite. Em climas como o de Macapá, onde as noites continuam quentes, este fenômeno é altamente prejudicial, pois impede o resfriamento noturno do edifício (Lamberts, Dutra, & Pereira, 2014).

O resultado é que edificações públicas (escolas, hospitais, escritórios) construídas neste método tornam-se dependentes do uso intensivo de ar-condicionado para garantir o mínimo de conforto aos usuários. Isso não só viola as diretrizes de conforto da ABNT NBR 15575 (Norma de Desempenho), mas também gera um custo operacional e energético permanente para o poder público.

Em suma, o método de alvenaria convencional, embora tradicional, é a fonte direta dos principais desafios de produtividade, desperdício e desempenho térmico enfrentados pela construção pública, criando a necessidade urgente de se avaliar alternativas industrializadas.

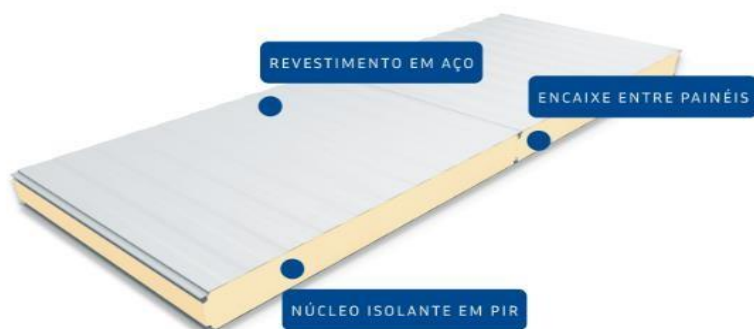
2.4 O Poliisocianurato (PIR): Composição e Propriedades

O Poliisocianurato (PIR) constitui o objeto central deste estudo por apresentar-se como uma solução tecnológica que mitiga intrinsecamente as limitações observadas nos sistemas de vedação convencionais. Classificado como um polímero termofixo, o PIR é considerado uma evolução química direta do Poliuretano (PUR). Embora ambos compartilhem matérias-primas similares, a superioridade técnica do PIR reside na proporção dos reagentes e no processo de polimerização (D'araújo, 2017). A diferença fundamental está na formação dos chamados "anéis de isocianurato" durante a reação química. Essas estruturas cíclicas, obtidas através do excesso de isocianato e catalisadores específicos, conferem à espuma uma estabilidade térmica e dimensional significativamente superior à do PUR, qualificando-

a para aplicações de engenharia de alta performance (Gumus; Okay, 2020).

Estruturalmente, o painel PIR é concebido como um elemento sanduíche autoportante, composto por duas faces externas em aço pré-pintado (ou Galvalume) e um núcleo isolante de espuma rígida. A aderência entre o núcleo e as faces metálicas ocorre durante o processo contínuo de injeção, garantindo a monoliticidade da peça. A configuração típica deste componente é apresentada a seguir:

Figura 12 - Configuração de um Painel tipo PIR.



Fonte: Kingspan (2020)

Além da composição do núcleo, a geometria das bordas é determinante para o desempenho do sistema. Os painéis PIR são fabricados com um sistema de encaixe longitudinal do tipo macho-fêmea. Este detalhe construtivo não serve apenas para o alinhamento mecânico, mas é projetado para garantir a estanqueidade à água e a continuidade do isolamento térmico, minimizando a ocorrência de pontes térmicas lineares nas juntas (Souza, 2018), conforme ilustrado abaixo:

Figura 13 - Encaixe macho-fêmea.



Fonte: Kingspan (2020)

A relevância do PIR para o cenário de obras públicas em Macapá evidencia-se ao contrapor suas características aos gargalos da alvenaria tradicional. No quesito

produtividade, o sistema elimina etapas úmidas (argamassa, chapisco, reboco), permitindo uma montagem industrializada que pode reduzir o cronograma de execução da vedação em até 70% quando comparado aos métodos artesanais (Monteiro; Paliari, 2024).

Adicionalmente, o material ataca um ponto crítico da logística na região amazônica: o próprio peso. Enquanto uma parede de alvenaria convencional pode pesar entre 150 a 250 kg/m², um painel PIR apresenta massa aproximada de 10 a 15 kg/m² (dependendo da espessura da chapa). Esta leveza reduz drasticamente as cargas permanentes sobre a estrutura e fundações, além de otimizar o transporte fluvial e o içamento no canteiro, fatores cruciais dado o isolamento geográfico do estado (Silva; Barros, 2021).

Segundo a ABNT NBR 15575, a Vida Útil de Projeto (VUP) mínima para vedações verticais externas é de 40 anos. Painéis industrializados com revestimento em aço pré-pintado e núcleo PIR, quando submetidos à manutenção periódica (limpeza e verificação de selantes), possuem durabilidade estimada superior a 40 anos, atendendo ao requisito normativo, ao contrário de pinturas sobre alvenaria que exigem repintura a cada 3-5 anos.

Paralelamente aos ganhos logísticos, o PIR responde à demanda crítica imposta pelo clima equatorial. A Zona Bioclimática 8 (ABNT NBR 15220) exige envoltórias com baixa transmitância térmica. O PIR destaca-se por possuir um dos mais baixos coeficientes de condutividade térmica entre os isolantes comerciais, situando-se na ordem de 0,022 W/m·K (Kingspan Isoeste, 2025). Na prática, isso significa que uma espessura reduzida de PIR (ex: 50mm) é capaz de oferecer uma resistência térmica superior a paredes espessas de concreto ou tijolo maciço. Essa característica bloqueia o fluxo de calor por condução, reduzindo a carga térmica interna e, conseqüentemente, o consumo energético com climatização, atendendo aos requisitos de sustentabilidade e eficiência da administração pública.

Por fim, no que tange à segurança contra incêndio, aspecto mandatório em edificações públicas, o comportamento do PIR é distinto dos polímeros termoplásticos (como o EPS). Por ser um material termofixo, o PIR não funde ou goteja quando exposto ao fogo; ao contrário, ele sofre um processo de carbonização superficial (intumescência). Essa camada de carbono atua como um escudo, retardando a propagação das chamas e a emissão de fumaça, características que permitem ao material obter classificações favoráveis (como II-A) segundo a Instrução Técnica do

Corpo de Bombeiros e a ABNT NBR 16626 (ABNT, 2025). Esta propriedade será detalhada tecnicamente na seção 2.6.3.

2.5 Situação climática de Macapá

Ao se instalar na região tropical, especificamente cortada pela Linha do Equador, Macapá absorve um elevado percentual de radiação solar direta, o que favorece a predominância de um macroclima equatorial quente e superúmido (Tavares, 2014). Segundo a classificação de Köppen, o clima da região enquadra-se na tipologia *Am* (monçônico), caracterizando-se por apresentar altas temperaturas médias anuais, que oscilam pouco ao longo das estações, aliadas a uma elevada umidade relativa do ar (Corbella; Yannas, 2009).

Esta combinação de fatores gera uma condição crítica de estresse térmico: a alta umidade dificulta a evaporação do suor (troca de calor latente), enquanto a radiação solar intensa aquece as superfícies (ganho de calor sensível). Além disso, a cidade apresenta baixa amplitude térmica diária, a diferença entre a temperatura máxima do dia e a mínima da noite é pequena. Isso significa que as noites permanecem quentes, impedindo o resfriamento natural das estruturas convencionais que acumularam calor durante o dia, fenômeno agravado em áreas urbanas densas (Givoni, 2004).

Diante deste cenário hostil, a edificação deixa de ser apenas um abrigo físico e passa a ter a obrigação funcional de atuar como um filtro ambiental. Para garantir a habitabilidade e a salubridade dos ambientes, torna-se imperativo adotar critérios objetivos de desempenho térmico. É neste contexto que a ABNT NBR 15575: Edificações Habitacionais - Desempenho, assume um papel central. Embora originalmente voltada para o setor habitacional, os parâmetros estabelecidos pela norma representam o estado da arte na avaliação do comportamento de sistemas construtivos no Brasil, devendo ser considerados como referência técnica mínima para qualquer tipologia de ocupação humana, inclusive em prédios públicos.

No que tange ao zoneamento nacional, a norma ABNT NBR 15220-3 (2005) classifica Macapá na Zona Bioclimática 8 (ZB-8). Esta é considerada a zona mais rigorosa do país em termos de exigência de proteção térmica. As diretrizes construtivas para a ZB-8 recomendam estratégias específicas: proteger as aberturas da radiação solar direta, promover ventilação cruzada permanente e, crucialmente,

utilizar paredes e coberturas com baixa transmitância térmica (U) e pequena inércia térmica (ABNT, 2021). A construção convencional em alvenaria e concreto, muitas vezes, falha em atender a essas diretrizes sem o uso de isolamento adicional, pois tende a armazenar calor e transmiti-lo para o interior, contrariando a estratégia bioclimática ideal.

No campo das obras públicas em Macapá, a negligência desses fatores climáticos resulta em dois problemas crônicos: o desconforto térmico dos servidores e usuários (que afeta a produtividade e a saúde) e a elevada demanda energética. Edificações públicas mal projetadas termicamente tornam-se "estufas", exigindo o uso intensivo e ininterrupto de sistemas de climatização artificial (HVAC). Estudos apontam que a envoltória da edificação é responsável por grande parte da carga térmica que o ar-condicionado precisa remover; portanto, uma envoltória ineficiente onera diretamente os cofres públicos através de contas de energia exorbitantes (Lamberts; Dutra; Pereira, 2014).

Portanto, a aplicação dos critérios de desempenho da ABNT NBR 15575 em obras públicas na capital amapaense transcende a mera formalidade técnica; trata-se de uma ferramenta de gestão eficiente e sustentável. Garantir que o investimento público resulte em edificações com isolamento térmico adequado é respeitar o princípio da eficiência na administração pública, entregando à sociedade equipamentos funcionais, duráveis e com custos operacionais controlados frente ao rigor do clima equatorial.

2.6 A Norma De Desempenho Abnt Nbr 15575:2021 - Edificações Habitacionais - Desempenho

A publicação da ABNT NBR 15575:2021 - Edificações Habitacionais - Desempenho representou um marco regulatório e um "divisor de águas" na construção civil brasileira. Antes de sua vigência, o setor baseava-se majoritariamente em normas prescritivas, que determinavam *como* construir (definindo materiais, espessuras e traços). A NBR 15575 inverte essa lógica ao estabelecer critérios baseados no *desempenho*, ou seja, foca nos resultados que a edificação deve entregar ao usuário final ao longo de sua vida útil, independentemente da tecnologia empregada (BORGES, 2018).

É importante ressaltar que, embora o escopo principal da ABNT NBR

15575:2021 seja voltado para edificações habitacionais, seus critérios e métodos de avaliação são aqui adotados por analogia técnica. Tal escolha fundamenta-se na necessidade de garantir a eficiência e o princípio da economicidade na Administração Pública, utilizando os requisitos de desempenho da referida norma como o balizador de qualidade para o conforto e segurança dos usuários em prédios administrativos e escolares no município de Macapá.

Essa mudança de paradigma é fundamental para a inovação tecnológica. Ao não obrigar o uso de materiais tradicionais, a norma abre o mercado para sistemas industrializados e inovadores, como os painéis de poliisocianurato (PIR), desde que estes comprovem, via ensaios técnicos, que atendem aos requisitos mínimos estipulados.

Embora o título da norma restringe seu escopo a "edificações habitacionais", sua aplicação em obras públicas, como escolas, unidades básicas de saúde e centros administrativos, tornou-se uma prática consolidada e, muitas vezes, mandatória por analogia técnica. O princípio da eficiência na Administração Pública, previsto no Art. 37 da Constituição Federal, exige que o gasto público resulte em obras de qualidade. Portanto, utilizar a NBR 15575 como referência garante que o ente público está exigindo critérios objetivos de qualidade, segurança e durabilidade, evitando a entrega de obras obsoletas ou inseguras (CBIC, 2016).

A norma estrutura-se em uma Parte Geral (Parte 1) e partes específicas para os sistemas da edificação (Estrutura, Pisos, Vedações, Coberturas e Hidrossanitário). O conceito de desempenho é traduzido no atendimento às "Exigências do Usuário", que são categorizadas em três pilares fundamentais (ABNT, 2021):

1. **Segurança:** Este pilar visa mitigar riscos à integridade física dos ocupantes. Divide-se em segurança estrutural (estabilidade e resistência), segurança contra incêndio (dificultar a inflamação e propagação de chamas) e segurança no uso e operação. Para o sistema de painéis PIR, os requisitos de reação ao fogo desta seção são os critérios de aprovação cruciais para sua viabilidade em prédios públicos.
2. **Habitabilidade:** Refere-se às condições de conforto e salubridade. Inclui desempenho térmico (essencial para a Zona Bioclimática 8 de Macapá), desempenho acústico, estanqueidade à água e qualidade do ar. A norma estabelece níveis de desempenho (Mínimo, Intermediário e Superior),

permitindo que o gestor público especifique em edital o grau de conforto desejado.

3. **Sustentabilidade:** Foca na durabilidade e no impacto ambiental. Introduce o conceito de Vida Útil de Projeto (VUP), que é o período de tempo estimado em que o sistema deve manter seu desempenho sem necessidade de intervenções significativas, desde que submetido à manutenção correta.

A introdução do conceito de VUP é estratégica para combater a precariedade das obras públicas. Ao exigir uma VUP específica (por exemplo, 20 ou 40 anos para vedações), o edital de licitação obriga a construtora a utilizar materiais de qualidade comprovada, afastando soluções baratas que degradam rapidamente (LORDSLEEM JR., 2015).

Dessa forma, a ABNT NBR 15575 deixa de ser apenas um regulamento técnico e torna-se uma ferramenta de gestão da qualidade. Ela fornece parâmetros objetivos, quantitativos e métodos de ensaio padronizados para avaliar se o objeto construído atende às expectativas. No contexto deste trabalho, a norma serve como a régua técnica para validar se a substituição da alvenaria pelos painéis PIR em Macapá é não apenas viável, mas superior em termos de desempenho térmico e construtivo.

2.6.1 Desempenho Térmico

Em relação ao desempenho térmico em edificações, a NBR 15575-1 pretende assegurar que a obra proporcione condições térmicas adequadas aos seus usuários, levando em consideração a zona bioclimática brasileira onde a edificação está inserida. A norma também estabelece requisitos distintos para verão e inverno, com foco em recintos de permanência prolongada, como salas e dormitórios. Isso torna sua análise interessante no âmbito de obras públicas.

Diante do exposto, para condições em época de verão, a edificação deve apresentar condições térmicas melhores ou iguais às apresentadas no ambiente externo em sombra. Sendo critério mínimo de desempenho igual a (M), determina que o valor máximo diário não deve ultrapassar o valor máximo diário de temperatura do exterior da edificação (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2021).

Em relação às condições de inverno, a norma especifica que a avaliação de desempenho térmico não é necessária para as zonas climáticas 6, 7 e 8. No Quadro

1 abaixo, pode-se verificar as condições de desempenho durante o verão de acordo com a norma de desempenho:

Quadro 1 - Critério de avaliação para condições de verão

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
M	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$
<p>$T_{i,max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius; $T_{e,max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius; $T_{i,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius; $T_{e,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius. NOTA: Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.</p>		

Fonte: ABNT, NBR 15575-1:2021

Diante disto, o quadro 1 define-se como norteador de parâmetros para aceitação de desempenho térmico durante o verão. Ao tratar obras públicas, atender aos requisitos mínimos é fundamental para garantir condições adequadas em edificações e promove a eficiência energética ao reduzir a necessidade de sistemas de climatização. Para atingir esses critérios, o projeto deve prever soluções construtivas adequadas à zona climática como especificação correta de materiais que serão utilizados para vedação.

Entretanto, mesmo a NBR 15575-1 estabelecendo requisitos gerais de parâmetros para conforto de edificações, é a parte 4 que trata de sistemas de vedações verticais internas e externas (ABNT NBR 15575-4) que define os critérios e parâmetros que serão mensurados em relação ao desempenho térmico. A mesma analisa como principais parâmetros a transmitância térmica (U), Capacidade térmica (Ct) e Atraso Térmico (ϕ) (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2021).

A transmitância térmica (U) realiza a indicação da quantidade de calor que atravessa 1m² de parede quando ocorre uma diferença de temperatura entre ambientes internos e externos, quanto menor o U, melhor o isolamento térmico. A capacidade térmica (Ct) é a capacidade de o componente armazenar calor. Por último, o atraso térmico (ϕ) indica o tempo que o calor leva para atingir o ambiente interno (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2021).

Assim, a NBR 15575-4 estabelece dois pontos principais para o atendimento de desempenho térmico nas zonas mais quentes sendo, Sistemas Leves e Sistemas Pesados. Os Sistemas Leves apresentam baixa Transmitância Térmica (U) e quanto

aos Sistemas Pesados, podem ter a U um pouco elevada, desde que apresente boa capacidade e Atraso Térmicos.

Dentro destes parâmetros, o painel PIR é um material notável por suas propriedades de isolamento térmico sendo definido pelo Coeficiente de Condutividade Térmica (λ). O Coeficiente do PIR é bem baixo, situando-se entre 0,020 e 0,024W/m.K, esse valor inferior ao de outros materiais dá ao material grande performance térmica (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2021).

Partindo desse princípio, ao analisar transmitância térmica, painéis PIR, para vedações verticais, a NBR 15575-4:2021 estipula limite de Transmitância Térmica no caso de sistemas leves, considerando os painéis PIR. Para zonas bioclimáticas 8, a norma estabelece que a transmitância térmica deve ser $U \leq 2,5 \text{ W/m}^2 \times \text{K}$, sendo o nível mínimo (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2021). Assim, um sistema PIR, atinge valores inferiores a esse.

2.6.2 Desempenho Acústico

O desempenho acústico é um requisito essencial para a habitabilidade em edificações, conforme aponta a ABNT NBR 15575. Ele é especialmente relevante em edifícios públicos, que possuem usos variados e precisam garantir conforto e boa comunicação nos ambientes. A análise do comportamento acústico dos painéis de Poliisocianurato (PIR) deve levar em conta como o som atravessa sistemas com múltiplas camadas. A estrutura sanduíche, típica desses painéis – com duas lâminas metálicas (aço) envolvendo um núcleo de espuma rígida de PIR – dá aos painéis uma capacidade natural de isolamento ao som aéreo, diminuindo a passagem de ruídos entre ambientes.

Contudo, é importante diferenciar isolamento acústico (a capacidade de barrar o som) de absorção sonora (a capacidade de um material diminuir o som que reflete em sua superfície, reduzindo o eco interno). O PIR, por ser um material leve, de célula fechada, tem baixa capacidade de absorção sonora. Diferente de materiais fibrosos ou porosos, como a lã de rocha, que é frequentemente destacada por seu desempenho acústico, a espuma de PIR não consegue dissipar bem a energia do som.

Essa característica do material aparece na documentação técnica dos fabricantes. Catálogos como o da Kingspan Isoeste (2025) explicam em detalhes as

propriedades térmicas e de reação ao fogo dos painéis PIR. Conforme catálogos técnicos de referência (Kingspan, 2025; Danica, 2024), painéis PIR de 50mm apresentam um índice de redução sonora ponderado (R_w) variando entre 25 dB e 27 dB. Este valor é inferior a uma parede de alvenaria rebocada (aproximadamente 45dB), indicando que o PIR isola ruídos externos, mas com menor eficiência em baixas frequências. Quanto à absorção, por ser um material de células fechadas e superfície metálica lisa, o coeficiente de absorção sonora (α_w) é próximo a 0,05 (ou 5%), o que exige o uso de forros acústicos complementares para evitar reverberação interna. A mesma fonte, porém, destaca o isolamento acústico como uma vantagem para painéis com núcleo de Lã de Rocha.

Portanto, embora os painéis PIR ajudem no isolamento acústico geral da construção por causa de sua estrutura em camadas, seu uso para atender aos níveis mínimos de desempenho acústico exigidos pela ABNT NBR 15575 em obras públicas precisa ser analisado com cuidado em cada projeto. Pode ser necessário usar soluções construtivas adicionais ou combinar materiais, principalmente em locais com exigências acústicas maiores ou onde a redução do eco interno seja importante.

2.6.3 Segurança Contra Incêndio em Edificações Públicas

Ao discorrer sobre segurança em edificações públicas, a ABNT NBR 15575-1:2021 subdivide em três categorias principais, sendo a segurança estrutural, segurança contra o fogo e segurança no uso e operação. Enquanto a Parte 1 da norma (ABNT, 2021a) estabelece os requisitos gerais de segurança – abrangendo aspectos estruturais, de uso e operação, e contra o fogo –, é a ABNT NBR 15575-4 (ABNT, 2021b) que detalha os critérios específicos aplicáveis aos sistemas de vedações verticais. Tais sistemas devem atender a exigências claras de comportamento em situação de incêndio, conforme definido por esta parte da norma.

A NBR 15575-4 (ABNT, 2021b) exige que as vedações ajudem na segurança contra incêndio de duas formas principais: primeiro, limitando a propagação de chamas e fumaça pela superfície; segundo, resistindo ao fogo por um tempo mínimo, sem perder sua integridade (capacidade de barrar o fogo) e isolamento térmico. O objetivo principal é garantir que as pessoas possam sair com segurança e que os bombeiros possam entrar para o resgate e combate ao fogo (ABNT, 2021b).

Para avaliar se uma vedação atende a esses objetivos, a norma considera

dois pontos: a reação ao fogo e a resistência ao fogo. A reação ao fogo descreve como o material se comporta quando exposto à chama: se ele queima fácil, se espalha o fogo rapidamente ou se produz muita fumaça. Essa característica é importante para controlar o início do incêndio e é classificada por normas como a ABNT NBR 16626 (ABNT, 2025).

Já a resistência ao fogo mede por quanto tempo a parede montada consegue impedir que o incêndio passe de um cômodo para outro, mantendo sua integridade (sem deixar passar fogo ou gases quentes) e Isolamento Térmico (sem esquentar demais do lado oposto ao fogo). Esse tempo é chamado de Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF) e é fundamental para dividir o prédio em compartimentos seguros (ABNT, 2021b). Portanto, a validação do uso seguro de painéis PIR em obras públicas passa pela análise de seu comportamento frente a esses dois critérios: reação e resistência ao fogo.

2.7 Implementação do Painel PIR em Licitações Na Cidade de Macapá

A implementação de painéis termoisolantes de Poliisocianurato (PIR) nos processos licitatórios do município de Macapá encontra respaldo técnico e jurídico na busca pela eficiência do gasto público e na sustentabilidade das edificações. Historicamente, as licitações públicas priorizavam o critério de julgamento pelo "menor preço", o que muitas vezes resultava na aquisição de materiais de desempenho inferior.

No entanto, o advento da Lei nº 14.133/2021 (Nova Lei de Licitações e Contratos Administrativos) alterou este paradigma ao estabelecer, em seu Art. 11, que o processo licitatório tem por objetivo assegurar a seleção da proposta apta a gerar o resultado de contratação mais vantajoso para a Administração Pública, inclusive no que se refere ao ciclo de vida do objeto. Sob esse novo prisma, a vantagem econômica não é medida apenas no ato da compra, mas na durabilidade e nos custos operacionais ao longo de décadas (Brasil, 2021).

No contexto climático de Macapá, caracterizado por altas temperaturas e elevada umidade relativa do ar, a especificação técnica do PIR em editais de obras públicas, como escolas, Unidades Básicas de Saúde (UBS) e prédios administrativos, justifica-se pela necessidade de redução dos custos operacionais. Embora o custo inicial de aquisição do painel PIR possa ser superior ao de vedações tradicionais ou

isolantes inferiores, a análise do ciclo de vida demonstra que a economia gerada na climatização artificial compensa o investimento. Considerando que a envoltória é responsável por grande parte da carga térmica que sistemas de climatização precisam remover, um material com baixa transmitância térmica torna-se uma ferramenta de gestão fiscal. O princípio do desenvolvimento nacional sustentável deve ser observado nas fases de planejamento, execução e gestão dos contratos, autorizando a adoção de tecnologias que proporcionem redução de despesas de manutenção e operação a longo prazo (Justen Filho, 2023).

Contudo, apesar do arcabouço legal favorável, a análise da realidade local aponta que a principal barreira para a adoção do sistema em Macapá não é de ordem técnica, mas administrativa e cultural. Os Termos de Referência e editais de obras públicas tendem a replicar especificações de métodos convencionais, dificultando a inovação. Essa resistência reflete uma cultura de "prescrição por materiais" em vez de "exigência por desempenho", o que acaba por excluir sistemas industrializados das planilhas orçamentárias.

A predominância absoluta de prescrições para "alvenaria de tijolos cerâmicos" ou "blocos de concreto" foi confirmada na análise de certames recentes, como a Concorrência Eletrônica Nº 90012/2025 da Prefeitura de Macapá, destinada à construção de escola no Bairro Jardim Marco Zero (Prefeitura Municipal de Macapá, 2025), e a Concorrência Eletrônica Nº 006/2024 da Secretaria de Estado de Compras e Licitações (AMAPÁ, 2024). O exame destes documentos confirma que não há margem clara para soluções industrializadas nas vedações verticais.

Um ponto crítico dessa resistência cultural é a contradição técnica identificada em projetos baseados no padrão FNDE. Nestes editais, o ente público reconhece a severidade do clima da Zona Bioclimática 8 ao exigir telhas termoacústicas, muitas vezes com núcleo em PIR ou EPS — para a cobertura (FNDE, [s.d.]).

Entretanto, para as paredes da mesma edificação, o memorial descritivo mantém a obrigatoriedade da alvenaria convencional sem isolamento (Prefeitura Municipal de Macapá, 2025). Essa disparidade evidencia que a barreira não é o desconhecimento da tecnologia, mas a rigidez dos projetos-padrão que focam na composição do material (tijolo e cimento) em vez do desempenho (transmitância térmica).

Portanto, Para a efetiva implementação deste sistema em Macapá, é fundamental a atualização nos processos de especificação técnica dos órgãos

públicos. É necessária a revisão dos Termos de Referência e projetos básicos para que detalhem as especificações de desempenho térmico e resistência ao fogo, alinhando-se à NBR 15575 (ABNT, 2021). Somente abandonando a prescrição compositiva e adotando critérios de desempenho será possível permitir que tecnologias como o PIR disputem em igualdade com métodos tradicionais, garantindo o conforto normativo.

3 METODOLOGIA

Este capítulo detalha o percurso metodológico adotado para atingir o objetivo geral do trabalho, que é "Analisar a viabilidade técnica da implementação de painéis de Poliisocianurato (PIR) em obras públicas na cidade de Macapá/AP". A metodologia foi estruturada para responder, de forma objetiva, aos objetivos específicos da pesquisa.

3.1 Enquadramento Metodológico

A presente pesquisa é classificada, quanto à sua natureza, como uma pesquisa aplicada, pois visa gerar conhecimentos para a aplicação prática na solução de problemas específicos, neste caso, os desafios construtivos em obras públicas em Macapá.

Quanto à abordagem, o estudo utiliza um enfoque qualitativo. O foco não reside na quantificação estatística, mas na análise e interpretação de características, propriedades e conformidades normativas do material.

Em relação aos fins, a pesquisa possui um caráter descritivo e exploratório. É exploratória ao buscar maior familiaridade com o tema (painéis PIR em Macapá), especialmente sua aplicação e especificação em editais locais, e descritiva ao detalhar as características técnicas do sistema PIR e sua relação com as normas vigentes.

3.2 Procedimentos Técnicos

Para a coleta e análise dos dados, foram adotados dois procedimentos técnicos principais: a pesquisa bibliográfica e a pesquisa documental.

- **Pesquisa Bibliográfica:** Conforme Gil (2002), esta etapa baseou-se na análise de materiais já publicados. Foram consultadas fontes como livros, artigos científicos, dissertações e teses para compor a fundamentação teórica sobre construção industrializada, painéis sanduíche, propriedades do PIR e o clima de Macapá.
- **Pesquisa Documental:** Envolveu a análise de materiais sem tratamento

analítico prévio, como catálogos técnicos, a ABNT NBR 15575 e Instruções Técnicas do Corpo de Bombeiros. Nesta etapa, incluiu-se a análise de Editais de Licitação e Memoriais Descritivos de obras públicas recentes em Macapá (2024-2025), selecionados por amostragem para identificar a forma de especificação das vedações verticais e possíveis barreiras administrativas à inovação tecnológica.

3.3 Etapas da Pesquisa

O desenvolvimento do trabalho foi organizado em três etapas macro, detalhadas a seguir, que permitiram a transição da coleta de dados para a análise crítica.

Etapa 1: Levantamento Teórico-Documental

Esta etapa inicial focou na coleta de dados para compor a Revisão Bibliográfica (Capítulo 2) e criar a base de dados para análise. O levantamento abrangeu:

1. **Dados do Material (PIR):** Coleta de informações em catálogos de fabricantes e artigos sobre as propriedades técnicas do PIR, focando em desempenho termoacústico e reação ao fogo.
2. **Dados Normativos:** Estudo aprofundado da ABNT NBR 15575 (Partes 1 e 4) para identificar os requisitos de desempenho para a Zona Bioclimática 8 e das Instruções Técnicas dos Bombeiros para segurança contra incêndio.
3. **Dados de Licitações:** Seleção e triagem de editais da Prefeitura Municipal de Macapá (PMM) e do Governo do Estado do Amapá (GEA), com foco em projetos escolares e administrativos, para verificar a recorrência de métodos convencionais vs. Industrializados.

Etapa 2: Análise Comparativa e Verificação de Conformidade

Esta é a etapa central da pesquisa, onde os objetivos específicos são respondidos por meio do cruzamento dos dados levantados na Etapa 1.

- **Para o Objetivo 1 (Caracterizar propriedades):** Os dados dos fabricantes

foram sistematizados para descrever as características do PIR.

- **Para os Objetivos 2 e 3 (Verificar conformidade):** Foi realizada uma análise comparativa, confrontando as propriedades do PIR (Desempenho Térmico, Acústico e Reação ao Fogo) com os critérios de desempenho Mínimo (M) exigidos pela NBR 15575 e pelos regulamentos de segurança contra incêndio.
- **Análise de Viabilidade Administrativa:** Confronto entre as necessidades da Zona Bioclimática 8 e as exigências descritas nos memoriais descritivos dos editais analisados, visando identificar contradições técnicas (como o uso de PIR em telhados mas não em paredes).

Etapa 3: Sistematização dos Resultados e Discussão

Os dados foram organizados de forma sistêmica no Capítulo 4. Esta organização permitiu uma comparação qualitativa entre o sistema PIR e os métodos convencionais, validando a compatibilidade tecnológica e diagnosticando as travas burocráticas que impedem a plena implementação do sistema no cenário das contratações públicas de Macapá

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta a sistematização dos dados coletados e a análise crítica da viabilidade técnica dos painéis PIR. A discussão confronta as propriedades físico-químicas do material com as exigências normativas para obras públicas na Zona Bioclimática 8 (Macapá), integrando dados de desempenho térmico, segurança contra incêndio e produtividade construtiva.

4.1 Comparação Técnica entre Sistemas Construtivos

Como forma de sintetizar a análise de viabilidade, elaborou-se uma Matriz Comparativa Técnica (Quadro 2). Esta ferramenta cruza os requisitos da ABNT NBR 15575 e as demandas de produtividade com as características dos dois sistemas construtivos analisados: o método convencional (alvenaria de blocos cerâmicos) e o método industrializado (Painéis PIR).

Tabela 2 – Comparativo de parâmetros técnicos

Categoria	Parâmetro	Alvenaria Convencional (Vedação)	Painel PIR (Proposto)
Execução	Natureza do Sistema	Úmido e artesanal	Seco e industrializado
	Produtividade	Baixa (aprox. 6m ³ /dia)	Altíssima (aprox. 50 m ² /dia)
	Geração de Resíduos	Elevada (retrabalho e quebras)	Mínima (construção a seco)
Técnico	Peso Próprio	aprox 150 a 200 kg/m ²	aprox 15 kg/m ²
	Espessura Final	14 a 17 cm (com reboco)	5 cm (núcleo isolante)
	Estanqueidade	Dependente da mão de obra	Garantida pelo encaixe macho-fêmea
Conforto	Condutividade (λ)	Alta (aprox 0,90 W/m. K)	Baixíssima (aprox 0,022 W/m.K)
	Transmitância (U)	aprox 5,55 W/m ² K (Insuficiente)	aprox 0,44 W/m ² K (Superior)
	Estratégia (ZB-8)	Inércia Térmica (Irradia calor à noite)	Isolamento (Bloqueio imediato do calor)
	Acústica (Rw)	aprox 45 dB (Bom isolamento por massa)	25 a 27 dB (Requer projeto misto)
Segurança	Reação ao Fogo	Incombustível	Termofixo (Carboniza sem gotejar)
	Classe de Segurança	-	Classe II-A (Conforme NBR 16626)
Gestão	Logística Local	Difícil (transporte de carga pesada)	Facilitada (sistema leve e modular)
	Custo Operacional	Alto (demanda excessiva de HVAC)	Baixo (redução na carga térmica)
	Barreira Administrativa	Nenhuma (padrão em licitações)	Cultural/Administrativa (editais rígidos)

Fonte: Autores (2025)

A análise da matriz revela uma distinção fundamental na natureza dos sistemas construtivos. Enquanto a robustez da alvenaria convencional está associada à sua elevada massa e inércia, o painel PIR fundamenta-se na alta eficiência tecnológica de seu núcleo isolante. Qualitativamente, isso representa a transição de uma construção "pesada" para um modelo "leve", promovendo uma significativa racionalização das cargas estruturais e otimizando a logística em obras públicas.

4.2 Avaliação do desempenho térmico segundo a ABNT NBR 15575

A análise de desempenho térmico constitui o pilar central da viabilidade técnica para Macapá. A cidade, situada na Zona Bioclimática 8 (ZB-8), impõe uma carga térmica severa sobre as edificações, exigindo estratégias eficazes para garantir o conforto do usuário e a eficiência energética.

4.2.1 Verificação da transmitância e resistência térmica

A NBR 15575-4 estabelece que sistemas leves na ZB-8 devem apresentar Transmitância Térmica (U) igual ou inferior a $2,5 \text{ Wm}^2\text{K}$. Para a verificação de conformidade com a NBR 15575-4, realizou-se o cálculo da Transmitância Térmica do painel PIR. Diferente da alvenaria, que possui alta condutividade $\lambda = 0,90 \text{ Wm. K}$, o PIR destaca-se pelo baixo $\lambda = 0,22 \text{ Wm. K}$. Considerando a espessura (e) de 0,05m (50mm) para painéis PIR e 0,17m para alvenaria com reboco, o memorial de cálculo segue as equações de Resistência Térmica (RT) da NBR 15220:

$$RT (PIR) = e / \lambda \approx 0,05 / 0,22 = 2,27 \text{ Wm}^2\text{K/W}.$$

$$RT (ALV) = e / \lambda \approx 0,17 / 0,90 = 0,18 \text{ Wm}^2\text{K/W}.$$

Consequentemente, a Transmitância (U) obtida, desconsiderando resistências superficiais para uma análise conservadora do núcleo, resulta em:

$$U (PIR) = 1/RT \approx 0,44 \text{ Wm}^2\text{K/W}.$$

$$U (ALV) = 1/RT \approx 5,55 \text{ Wm}^2\text{K/W}.$$

Resumindo, temos:

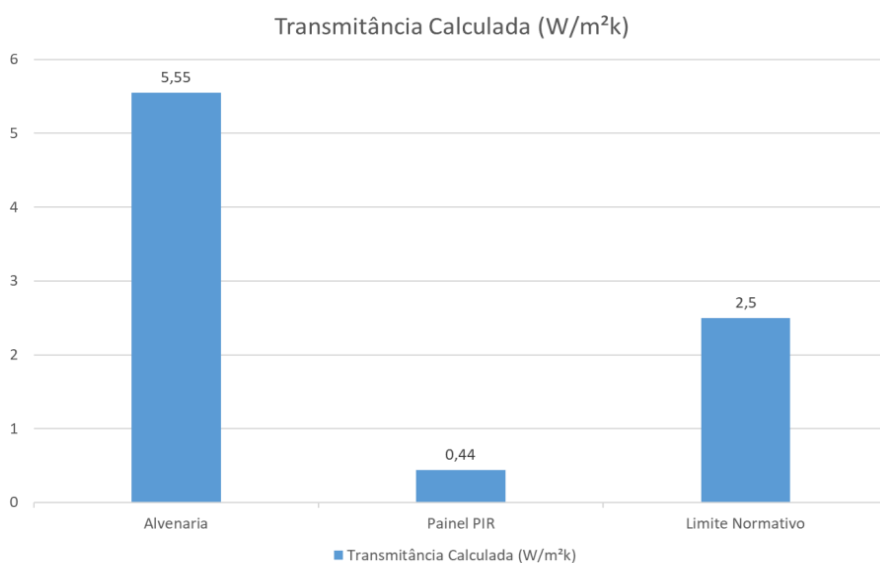
Tabela 3 – Resultado de transmitância térmica calculada Alvenaria x Painel PIR

Sistema Construtivo	Transmitância Calculada (W/m ² K)	Limite Normativo (Zona 8)	Status
Alvenaria Convencional	~5,55	≤ 2,5	Não Atende
Painel PIR	~0,44	≤ 2,5	Atende com folga

Fonte: Autores (2025)

Graficamente, pode-se observar da seguinte maneira (Gráfico 1) a diferença de transmitância térmica entre a alvenaria convencional e o painel PIR, em comparativo com a exigência normativa.

Gráfico 1 – Comparativo visual de transmitância térmica calculada Alvenaria x Painel PIR



Fonte: Autores (2025)

A superioridade térmica do painel PIR em relação à alvenaria convencional é evidenciada pela análise da Transmitância Térmica, que quantifica o fluxo de calor através do sistema. Enquanto a alvenaria convencional depende de grandes espessuras e massa térmica elevada para tentar mitigar o calor, o sistema PIR utiliza a baixa condutividade do seu núcleo para bloquear a radiação térmica de forma imediata.

Um ponto de destaque é a eficiência volumétrica: o painel PIR de 50 mm de espessura alcança um valor que supera em 5,6 vezes o limite da NBR 15575 para a Zona 8. Em contraste, para que a alvenaria convencional atingisse um desempenho isolante similar, seriam necessárias espessuras impraticáveis no canteiro. Essa

redução drástica da espessura da vedação (de 17 cm na alvenaria para 5 cm no PIR) não apenas melhora o conforto, mas promove um ganho real de área útil interna nas edificações públicas, otimizando o investimento por metro quadrado sem comprometer a estabilidade térmica ou a segurança contra incêndio do edifício.

4.2.2 Análise das estratégias de condicionamento térmico

Diferente da alvenaria, que utiliza a "Inércia Térmica" (absorvendo o calor do dia para liberá-lo à noite), o PIR atua por bloqueio imediato (Isolamento). Para o clima equatorial do município de Macapá, onde as temperaturas permanecem elevadas inclusive no período noturno, a estratégia de isolamento do PIR mostra-se qualitativamente superior. Ela evita que o calor externo penetre no ambiente climatizado, reduzindo drasticamente a carga de trabalho dos aparelhos de ar-condicionado e gerando economia operacional para as instituições públicas.

4.3 Verificação da segurança contra incêndio e reação ao fogo

A segurança contra incêndio representa um dos requisitos de desempenho mais rigorosos para a aprovação de materiais em obras públicas, dada a necessidade de garantir a integridade dos usuários e o tempo hábil para evacuação. Ao analisar o comportamento do painel PIR frente a esses riscos, verifica-se que sua viabilidade técnica é sustentada não apenas pela composição do núcleo, mas pela resposta global do sistema construtivo.

Sob a ótica do desempenho, a principal vantagem identificada reside no mecanismo físico de defesa do material. Ao ser exposto a altas temperaturas, o núcleo de PIR não entra em processo de fusão imediata. Observa-se a formação de uma camada carbonizada superficial rígida (carbonização), que atua como um isolante térmico emergencial. Esta crosta protege as camadas mais profundas da espuma, retardando a degradação do elemento e contribuindo para manter a estabilidade do conjunto por um período prolongado.

Adicionalmente, deve-se considerar a contribuição das faces metálicas do painel sanduíche. As chapas de aço atuam como a primeira barreira física à penetração das chamas, blindando o núcleo combustível da exposição direta ao fogo nos estágios iniciais do sinistro. Essa interação entre o revestimento incombustível

(aço) e o núcleo termofixo (PIR) resulta em uma classificação favorável nas normas de reação ao fogo, tipicamente enquadrando-se na Classe II-A, conforme a Instrução Técnica nº 10 (Controle de Materiais de Acabamento e Revestimento).

No contexto específico das edificações públicas de Macapá, a característica de "não gotejamento" mostra-se determinante. Materiais que gotejam partículas incandescentes ao queimar representam um risco severo de propagação vertical do fogo e de ferimentos durante a fuga dos ocupantes. A análise confirma que o PIR, por sua natureza de carbonização, elimina esse risco de gotejamento, mantendo a integridade física da vedação.

Portanto, a aplicação do sistema atende aos rigorosos critérios da ABNT NBR 16626 e às exigências do Corpo de Bombeiros para rotas de fuga e compartimentação. Conclui-se que o material oferece a segurança passiva necessária, desde que o projeto arquitetônico respeite os Tempos Requeridos de Resistência ao Fogo (TRRF) específicos para a altura e ocupação da edificação pública proposta.

Desta forma, a análise atende ao terceiro objetivo específico, de que o sistema cumpre as exigências de reação ao fogo. A classificação do material como termofixo e a formação da camada de carbonização asseguram o desempenho necessário para rotas de fuga em edificações públicas, refutando o temor infundado de comportamento similar ao de polímeros termoplásticos (como o EPS) em situações de sinistro.

4.4 Avaliação do desempenho acústico

A análise técnica revela uma disparidade significativa fundamentada nos princípios físicos de isolamento de cada sistema. A alvenaria convencional, com massa aproximada de 160 kg/m², opera sob a Lei da Massa, onde a resistência à passagem do som é proporcional ao peso da barreira, alcançando um índice de redução sonora (R_w) de cerca de 45 dB quando devidamente rebocada.

Em contrapartida, o painel PIR de 50mm, por ser um sistema leve (12 kg/m²), apresenta um (R_w) entre 25 dB e 27 dB. Embora utilize o conceito de Massa-Mola-Massa (chapa-núcleo-chapa) para dissipar a energia sonora, sua eficiência é limitada em baixas frequências. Além disso, o coeficiente de absorção sonora (a_w) do PIR é de apenas 0,05, indicando que 95% do som interno é refletido, o que pode gerar reverberação excessiva. Portanto, a viabilidade técnica em ambientes como salas de

aula ou auditórios está condicionada ao uso de soluções mistas. Recomenda-se a aplicação combinada com materiais fibrosos (forros minerais ou revestimentos em Drywall com lã) para corrigir o tempo de reverberação, garantindo a inteligibilidade da fala exigida pela norma.

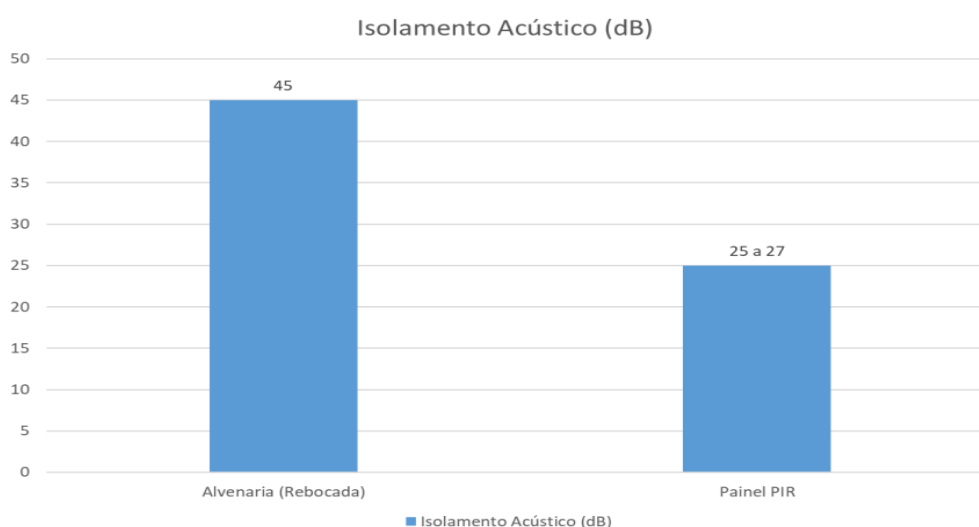
Tabela 4 – Desempenho acústico Alvenaria x Painel PIR

Parâmetro	Alvenaria (Rebocada)	Painel PIR (50mm)	Exigência Adicional (PIR)
Isolamento (Rw)	~45 dB	25 a 27 Db	Soluções mistas (Drywall/Lã)

Fonte: Autores (2025)

Agora, graficamente pode-se observar abaixo (Gráfico 2) a diferença entre isolamento acústico da alvenaria convencional para o painel PIR.

Gráfico 2 – Isolamento acústico Alvenaria x Painel PIR



Fonte: Autores (2025)

Assim, a validação no quesito acústico é condicional. O painel atende ao isolamento de fachada (ruído externo), mas requer complementação interna para absorção. Isso demonstra a importância da caracterização técnica detalhada proposta no primeiro objetivo específico, evitando especificações genéricas que poderiam comprometer a inteligibilidade em ambientes escolares ou administrativos.

4.5 Análise da viabilidade de implementação em licitações

Finalizando a discussão, a pesquisa aponta que a principal barreira para a

adoção do sistema em Macapá não é de ordem técnica, mas administrativa e cultural. A análise exploratória sugere que os Termos de Referência e editais de obras públicas locais tendem a replicar especificações de métodos convencionais, dificultando a inovação.

Para comprovar este cenário, realizou-se uma análise documental amostral de certames recentes, com destaque para a Concorrência Eletrônica Nº 90012/2025 da Prefeitura de Macapá, destinada à construção de escola no Bairro Jardim Marco Zero (Prefeitura Municipal de Macapá, 2025), e para a Concorrência Eletrônica Nº 006/2024 da Secretaria de Estado de Compras e Licitações (Amapá, 2024). O exame destes documentos confirmou a predominância absoluta de prescrições para "alvenaria de tijolos cerâmicos" ou "blocos de concreto", sem abrir margem clara para soluções industrializadas nas vedações verticais.

Um ponto crítico identificado foi a contradição técnica em projetos baseados no padrão FNDE. Nestes editais, o ente público reconhece a severidade do clima da Zona Bioclimática 8 ao exigir telhas termoacústicas — muitas vezes com núcleo em PIR ou EPS, para a cobertura (FNDE, [20--?]). Contudo, para as paredes da mesma edificação, o memorial descritivo mantém a obrigatoriedade da alvenaria convencional sem isolamento (Prefeitura Municipal de Macapá, 2025). Essa disparidade evidencia que a barreira não é o desconhecimento da tecnologia, mas a rigidez dos projetos-padrão.

Consequentemente, a ausência de descritivos técnicos claros para "sistemas termoisolantes industrializados" nos editais impede a orçamentação e a competitividade do PIR nas licitações. O foco dos textos legais permanece na composição do material (tijolo e cimento) em vez do desempenho (transmitância térmica).

Visto a discrepância encontrada entre a necessidade climática e a especificação de edital, fica evidente que a barreira não é tecnológica ou financeira (dado o ganho no ciclo de vida), mas reside na inércia administrativa de replicar memoriais descritivos obsoletos que ignoram soluções industrializadas.

Conclui-se, portanto, que a viabilidade plena depende de uma atualização nos processos de especificação técnica dos órgãos públicos. É necessária a revisão dos Termos de Referência para alinhá-los às exigências modernas de eficiência energética e desempenho da NBR 15575 (ABNT, 2021), permitindo que tecnologias como o PIR disputem em igualdade de condições com os métodos tradicionais.

4.6 Prós e Contras do Painel PIR

Para uma análise de viabilidade técnica que fundamente a substituição da alvenaria convencional por sistemas industrializados em Macapá, é imprescindível confrontar as variáveis de desempenho, logística e segurança sob uma ótica comparativa. O Poliisocianurato (PIR) apresenta-se como uma solução tecnológica avançada, cujas propriedades físico-químicas buscam mitigar os gargalos históricos de produtividade e o desconforto térmico gerado pelo clima equatorial da Zona Bioclimática 8. Entretanto, a transição para um modelo de construção "leve" exige o reconhecimento tanto das eficiências alcançadas quanto das exigências de projeto complementares para garantir a conformidade normativa total. A tabela a seguir sintetiza os principais pontos positivos e os desafios inerentes ao uso de painéis PIR no cenário das obras públicas locais.

Tabela 5 – Prós e Contras do Painel PIR

Categoria	Prós (Vantagens)	Contras (Desafios/Limitações)
Térmica	Isolamento Superior: Possui um dos menores coeficientes de condutividade térmica, bloqueando o calor de forma imediata.	Baixa Inércia: Não armazena calor, o que exige que o isolamento seja contínuo para evitar pontes térmicas.
Segurança	Comportamento Termofixo: Não derrete nem goteja; carboniza superficialmente, protegendo o núcleo e garantindo rotas de fuga seguras (Classe II-A).	Custo de Proteção: Exige que o projeto respeite rigorosamente os Tempos Requeridos de Resistência ao Fogo (TRRF) para manter a integridade do sistema
Acústica	Isolamento de Fachada: Eficaz para reduzir ruídos aéreos externos em frequências médias e altas	Baixa Absorção: Por ter células fechadas e superfície lisa, possui baixo coeficiente de absorção, gerando eco/reverberação se não houver forro auxiliar
Logística	Leveza Estratégica: Facilitando o transporte fluvial via balsas e reduzindo custos de frete em Macapá	Isolamento Geográfico: Embora o frete seja otimizado, a dependência de fornecedores externos ainda vincula a obra ao fluxo logístico fluvial
Execução	Alta Produtividade: Montagem industrializada a seco mais rápida que a alvenaria convencional.	Mão de Obra Especializada: Requer pessoal treinado para garantir a estanqueidade dos encaixes e evitar patologias
Gestão	Eficiência Energética: Reduz drasticamente o consumo de ar-condicionado e os custos operacionais do prédio público	Barreira Administrativa: Dificuldade de implementação devido a editais rígidos que exigem materiais tradicionais em vez de desempenho

Fonte: Autores (2025)

A síntese dos prós e contras revela que a balança técnica pende favoravelmente ao sistema PIR, especialmente no que tange ao desempenho térmico,

onde o material supera em quase seis vezes os limites da ABNT NBR 15575 para a região de Macapá. No entanto, a análise dos "contras" evidencia que a implementação não deve ser encarada de forma genérica: as limitações acústicas e a barreira administrativa nos editais de licitação são pontos de atenção crítica que demandam projetos de condicionamento sonoro específicos e uma atualização nos Termos de Referência dos órgãos públicos. Em suma, as vantagens logísticas e a segurança contra incêndio oferecida pelo núcleo termofixo validam o PIR como uma tecnologia estratégica para a modernização do parque construtivo amapaense, desde que acompanhada de uma gestão de projeto que trate suas particularidades de forma técnica e transparente

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho atingiu seu objetivo geral ao confirmar a plena viabilidade técnica da implementação de painéis de Poliisocianurato (PIR) em obras públicas na cidade de Macapá. A pesquisa demonstrou que esta tecnologia rompe com o paradigma da construção artesanal, oferecendo desempenho superior aos métodos convencionais de alvenaria frente às severas exigências da Zona Bioclimática 8.

No que tange ao primeiro e segundo objetivos específicos (caracterização e conformidade normativa), a análise dos dados comprovou que os painéis PIR atendem com folga aos requisitos da ABNT NBR 15575. Enquanto a norma estipula uma Transmitância Térmica máxima de $2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ para vedações leves na região, os cálculos demonstraram que o painel PIR entrega um desempenho estimado de $0,44 \text{ W/m}^2\text{K}$. Este resultado valida o sistema como uma solução estratégica para combater o ganho excessivo de calor característico do clima equatorial, potencializando a eficiência energética.

Diferente do desempenho térmico, onde o PIR supera o limite normativo em quase seis vezes, o desempenho acústico apresentou-se como um ponto de atenção crítica. A comparação amparada em dados técnicos demonstrou que a substituição da alvenaria pelo PIR implica em uma redução da capacidade de isolamento bruto na ordem de 18 a 20 dB. Conclui-se, portanto, que a implementação deste sistema em edificações públicas de Macapá deve ser acompanhada de um projeto de condicionamento acústico de interiores, utilizando soluções híbridas para mitigar a reverberação e compensar a baixa massa do sistema industrializado.

Em relação ao terceiro objetivo específico (segurança contra incêndio), a pesquisa o atendeu. A caracterização físico-química refutou o estigma de insegurança associado a polímeros, confirmando o comportamento termofixo do PIR. A capacidade do material de carbonizar superficialmente sem gotejar garante o atendimento à NBR 16626 e às Instruções Técnicas do Corpo de Bombeiros (Classe II-A), assegurando a integridade das rotas de fuga e a segurança dos usuários em edifícios públicos.

Por fim, diante da análise documental dos editais de licitação da Prefeitura de Macapá e do Governo do Estado, identificou-se que o principal entrave para a massificação desta tecnologia não é técnico, mas administrativo-cultural. A ausência de especificações para sistemas industrializados e a replicação de textos padrão que exigem "tijolo e cimento" impedem a competitividade de tecnologias inovadoras nos

certames.

Conclui-se, portanto, que a modernização do parque construtivo público amapaense depende de uma atualização nos Termos de Referência. Recomenda-se que os futuros editais abandonem prescrições compositivas em favor de exigências de desempenho, permitindo que a eficiência do PIR contribua para obras mais rápidas, sustentáveis e termicamente confortáveis para a população.

REFERÊNCIAS

AMAPÁ (Estado). Secretaria de Estado de Compras e Licitações. **Concorrência Eletrônica Nº 006/2024**: objeto: contratação de empresa especializada para a revitalização do Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá (IEPA). Macapá: SECCOMPRAS, 2024. Disponível em: <https://pncp.gov.br>. Acesso em: 24 nov. 2025.

ALMEIDA, Maria Inês Avó de. **Comportamento estrutural de painéis sanduíche compósitos para aplicações na indústria da construção**. Lisboa, 2009. Disponível em: [link suspeito removido]. Acesso em: 18. set. 2025.

ARANTES, Lorrán de Sousa et al. Avaliação de painéis sanduíche produzidos com núcleo de caixas de ovos e lâminas de paricá. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 23, n. 2, p. 121-130, 2023. Disponível em: scielo.br/j/ac/a/RLvV5jhxmy8TCT4QLwZmj4y/?lang=pt&format=pdf. Acesso em: 16 set. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**: desempenho térmico de edificações - Parte 2: métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: desempenho térmico de edificações - Parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: edificações habitacionais - desempenho - Parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4**: edificações habitacionais - desempenho - Parte 4: requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16626**: classificação da reação ao fogo de produtos de construção. Rio de Janeiro: ABNT, 2025.

AZEREDO, Hélio Alves de. **O edifício até sua cobertura**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1997.

BARBOSA, E. M. L. Análise comparativa entre alvenaria em bloco cerâmico de vedação e drywall. **Revista Especialize On-line IPOG**, n. 10, 2015.

BARBOSA, E. S. **O uso da alvenaria estrutural em obras**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2015.

BCM. **Painel frigo pir ap.** 2020. Disponível em: <https://bcminterservice.com.br/refrigeracao-comercial/painel-frigo-pir/painel-frigo-pir-ap-3-0-metros-70mm-1-10m-0-43x0-43m-99358.html>. Acesso em: 15 de nov. de 2025.

BORGES, C. A. M. **O conceito de desempenho de edificações e a sua importância para o setor da construção civil no Brasil.** São Paulo: PINI, 2018.

BRASIL. Lei nº 14.133, de 1º de abril de 2021. Lei de Licitações e Contratos Administrativos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2021. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2019-2022/2021/lei/l14133.htm. Acesso em: 2 dez. 2025.

CAÇULA CENTERMAT. **Tipos de tijolo e bloco de concreto.** Porto Alegre, [s.d.]. Disponível em: <https://www.caculacentermat.com.br/tipos-de-tijolo-e-bloco-de-concreto>. Acesso em: 3 dez. de 2025.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Desempenho na Construção Civil:** criando ambientes para o homem. Brasília: CBIC, 2018.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Guia orientativo para atendimento à norma de desempenho ABNT NBR 15575.** Fortaleza: Gadioli, 2016.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Inovação e Produtividade na Construção Civil.** Brasília: CBIC, 2016.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Obras paradas:** o entrave ao desenvolvimento. Brasília: CNI, 2018.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Plano CNT de Transporte e Logística 2019.** Brasília: CNT, 2019.

CONHEÇA os 4 sistemas de construção mais utilizados. Astra, 2016. Disponível em: <https://www.astra-sa.com/destaques/conheca-os-4-sistemas-de-construcao-mais-utilizados/>. Acesso em: 26 de nov. de 2025.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 17 jul. 2002.

CORBELLA, O.; YANNAS, S. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos:** conforto ambiental. Rio de Janeiro: Revan, 2009.

D'ARAÚJO, J. V. C. **Estudo de espumas rígidas de poliuretano (PUR) e poliisocianurato (PIR) com foco no isolamento térmico e na segurança contra o fogo.** 2017. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.

D'ARAÚJO, R. A. **Polímeros:** ciência e tecnologia. 3. ed. São Paulo: Artliber, 2017.

FERREIRA, G. S. **Industrialização da construção civil**: sistemas construtivos e inovação. São Paulo: PINI, 2021.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de conforto térmico**: arquitetura, urbanismo. 8. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2017.

FUNDO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO. **Memorial Descritivo**: projeto escola 13 salas. Brasília: Ministério da Educação, [20--?]. Disponível em: <https://www.gov.br/fnde>. Acesso em: 24 nov. 2025.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GIVONI, B. **Climate Considerations in Building and Urban Design**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1998.

GRUPO PAINEL SANDUICHE. **Painel Sandwich de Lã de Rocha**: o isolamento que sua obra merece. 2020. Disponível em: <https://painelsandwich.com/blog/isolamento-painel-sandwich-la-de-rocha>. Acesso em: 20 de nov. de 2025.

GUMUS, S.; OKAY, O. Polyisocyanurate foams: recent developments and future perspectives. **Journal of Polymer Research**, v. 27, n. 5, p. 1-15, 2020.

JUSTEN FILHO, Marçal. **Comentários à Lei de Licitações e Contratos Administrativos**: Lei 14.133/2021. 2. ed. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2023.

KINGSPAN ISOESTE. **Catálogo de Produtos**. Anápolis: Kingspan Isoeste, 2025.

KINGSPAN ISOESTE. **Manual Técnico de Telhas e Painéis Termoacústicos**. Goiânia: Kingspan Isoeste, 2025.

KINGSPAN. **Painel Térmico Frigo Pir**. Kingspan Isoeste, 2020. Disponível em: <https://kingspan-isoeste.com.br/solucoes-kingspan/painel-termico-frigo-pir/>. Acesso em: 5 out. 2025.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3. ed. Rio de Janeiro: Eletrobras/PROCEL, 2014. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/apostilas/eficiencia_energetica_na_arquitetura.pdf. Acesso em: 17 nov. 2025.

LORDSLEEM JR., A. C. **Execução e inspeção de obras**: procedimentos para sistemas de vedação vertical e horizontal. São Paulo: Pini, 2015.

MACAPÁ (Município). Secretaria Municipal de Obras. **Concorrência Eletrônica Nº 90012/2025**: objeto: construção de escola em tempo integral no bairro Jardim Marco Zero, Macapá/AP - FNDE 13 salas. Macapá: Secretaria Municipal de Obras, 2025. Disponível em: <http://comprasnet.gov.br>. Acesso em: 24 nov. 2025.

MONTEIRO, A.; PALIARI, J. C. **Construção modular residencial**: guia prático de projeto e execução. São Paulo: Oficina de Textos, 2024.

MONTEIRO, Liza Bruna Reis; PALIARI, José Carlos. Os desafios da industrialização da construção civil no contexto brasileiro. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais...** Maceió: ANTAC, 2024.

MONTEIRO, R. C.; PALIARI, J. C. Análise comparativa de produtividade entre sistemas de vedação em alvenaria e painéis termoisolantes. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 24, n. 1, p. 105-120, 2024.

MULTIFRIO. **Painel de poliuretano (PUR) para câmara frigorífica**. 2015. Disponível em: <https://www.multifrioshop.com/camara-frigorifica/paineis-isotermicos/painel-de-pur-poliuretano-para-camara-frigorifica>. Acesso em: 22 nov. 2025.

PINTO, T. P. **Sistema de gestão ambiental para empresas construtoras**. 2. ed. São Paulo: O Nome da Rosa, 2009.

REIS, Guilherme Pinheiro Rocha; SANTOS, Hérciles Ariston Barros dos. **Estudo comparativo para aplicação de painéis sanduíche de concreto em edificações residenciais de padrão médio**. Goiás, 2022. Disponível em: <https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/140/o/ESTUDO.pdf>. Acesso em: 15 set. 2025.

RODRIGUES, M. L. **Ganhos na Construção com a Adoção da Alvenaria com Blocos Cerâmicos Modulares**. 2013, 71p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

SANTANA, A. G.; NOLÊTO, B. C.; VIEIRA, A. G. Análise comparativa das propriedades mecânicas e físicas em painéis isotérmicos PIR e lã de rocha. **Revista Científica do ITPAC**, v. 15, n. 1, fev. 2022. Disponível em: <https://revista.unitpac.com.br/itpac/issue/download/v15-rcitpac-fev-2022/14>. Acesso em: 15 set. 2025.

SAURIN, T. A.; FORMOSO, C. T. O canteiro de obras é um sistema de produção complexo? **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 46, n. 4, p. 81-91, out./dez. 2006.

SAURIN, T. A.; FORMOSO, C. T. **Planejamento e controle da produção em obras de construção civil**. Porto Alegre: ANTAC, 2006.

SILVA, Elaine Cristina Barbosa Domingos da. **Gerenciamento e reciclagem dos resíduos sólidos na construção civil**. Ecodebate, 2013. Disponível em: <https://www.ecodebate.com.br/2013/12/02/gerenciamento-e-reciclagem-dos-residuos-solidos-na-construcao-civil-por-elaine-cristina-barbosa-domingos-da-silva/>. Acesso em: 20 de out. de 2025.

SILVA, F. L.; BARROS, M. M. Logística de canteiro em obras na região amazônica: desafios do transporte fluvial. **Revista de Engenharia Civil IMED**, v. 8, n. 2, p. 45-60, 2021.

SOUZA, Eduardo. **Vantagens e características da alvenaria estrutural**. Arch Daily, 2020. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/951602/vantagens-e-desvantagens-do-uso-da-alvenaria-estrutural>. Acesso em: 20 nov. de 2025.

SOUZA, J. G. **Patologias em sistemas de vedação vertical industrializados**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

SOUZA, R. P. **Comportamento ao fogo de polímeros utilizados na construção civil**. Curitiba, 2019.

TAUIL, C. A.; NESSE, F. J. **Alvenaria Estrutural**. São Paulo: PINI, 2010.

TAUIL, C. A.; NESSE, K. A. L. **Manual prático de alvenaria**. 3. ed. São Paulo: Editora Pini, 2010.

TAVARES, João Paulo Nardin. Características da Climatologia de Macapá-AP. **Caminhos da Geografia**, Uberlândia, v. 15, n. 50, p. 138-151, jun. 2014.

TAVARES, K. C. **Análise do conforto térmico em habitações de interesse social na cidade de Macapá-AP**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

TCU. Tribunal de Contas da União. **Fiscobras 2019**: relatório consolidado das obras paralisadas. Brasília: TCU, 2019.