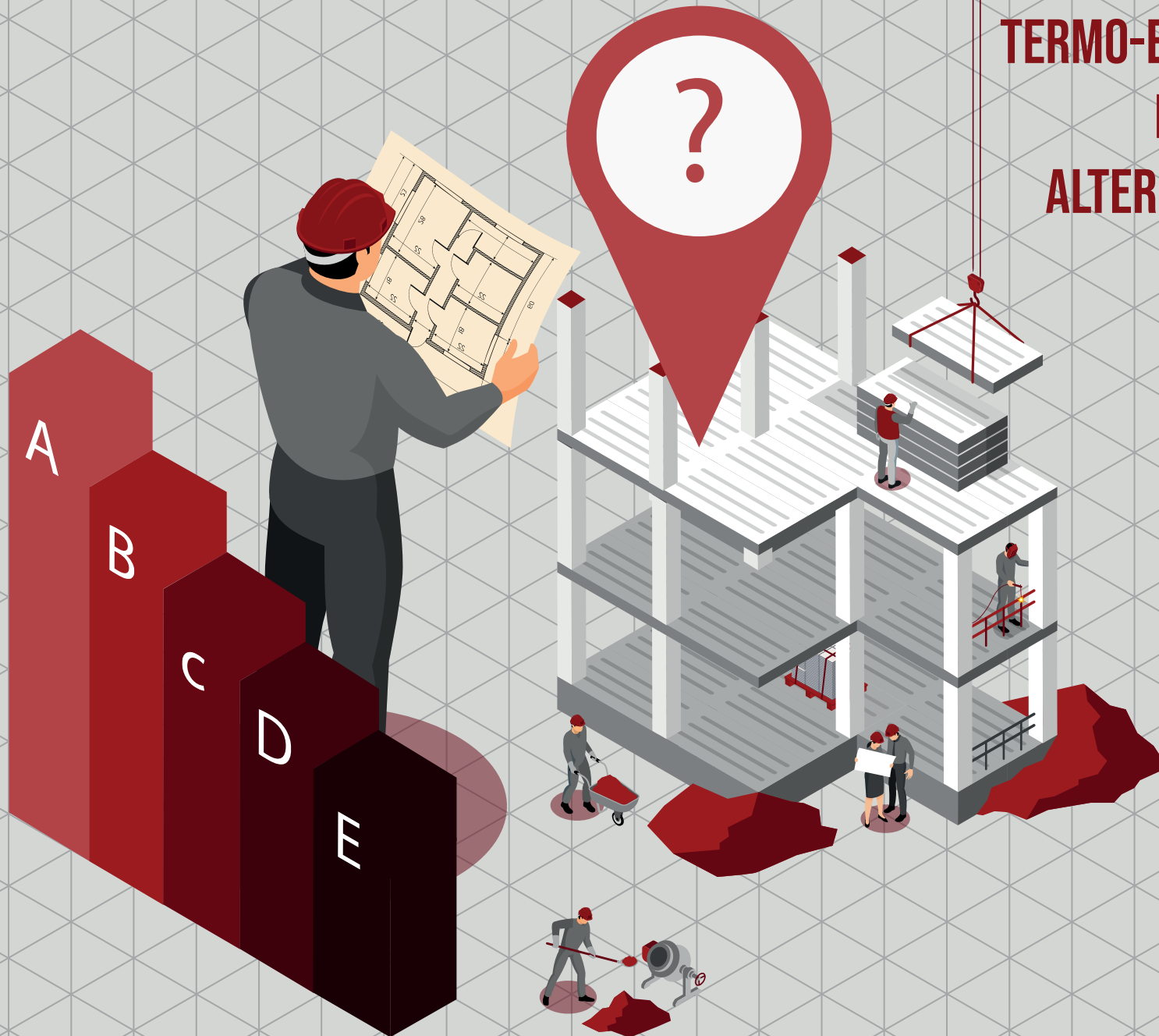


**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO
TERMO-ENERGÉTICO DE VEDAÇÕES
EM CONCRETO LEVE COMO
ALTERNATIVA PARA HABITAÇÕES
DE INTERESSE SOCIAL**



**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO
TERMO-ENERGÉTICO DE
VEDAÇÕES EM CONCRETO
LEVE COMO ALTERNATIVA
PARA HABITAÇÕES DE
INTERESSE SOCIAL**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
TRABALHO FINAL DE GRADUAÇÃO II**

ORIENTANDO:

**FABRÍCIO PIMENTEL GASPAR DA SILVA
DRE: 116180974**

ORIENTADORES:

**REILA VARGAS VELASCO
THIAGO MELO GRABOIS**

“TECNOLOGIA AVANÇADA É AQUELA QUE PERMITE, COM BASE EM RECURSOS HUMANOS E MATERIAIS ACESSÍVEIS, ALCANÇAR, MEDIANTE SEU APERFEIÇOAMENTO E DESENVOLVIMENTO, O MAIS ALTO GRAU DE PRODUTIVIDADE PARA CONSEGUIR UM HABITAT ADEQUADO A CADA REGIÃO’ E SEUS MODOS DE VIDA, TANTO EM QUALIDADE COMO EM QUANTIDADE”
(WAISMAN, 1990)

RESUMO

A Arquitetura e Urbanismo é um campo que estuda e analisa soluções construtivas de forma a adequar o espaço à sociedade que o habita. Atualmente, como o desenvolvimento de novas técnicas e soluções construtivas, tem-se a preocupação da concepção de habitações com vistas à redução do impacto ambiental. Apesar das discussões sobre as questões termo-energéticas das edificações terem aumentado nos últimos anos, o estudo deste assunto se faz necessário uma vez que o conhecimento do que pode ser feito para um melhor desempenho da edificação pode resultar em políticas públicas no setor.

E como produto para uso na construção, a adoção do concreto leve surge como uma tecnologia alternativa ao concreto convencional e a questão termo energética é contemplada com o uso do material, uma vez que proporciona uma redução na transferência de propagação de calor. Adicionalmente, o concreto leve, dentre outros benefícios, proporciona menor carga nas fundações, uma vez que sua massa específica é baixa, e maior facilidade de transporte quando utilizado em peças pré-fabricadas. Frente ao exposto, este trabalho propõe a análise a partir de simulações térmicas no software Energyplus de uma habitação com processo construtivo em paredes pré-fabricadas em concreto leve.

A metodologia empregada será dividida em 3 etapas: a primeira etapa tem como objetivo mostrar os resultados obtidos em pesquisa anterior ao trabalho final de graduação e que motivaram o desenvolvimento deste estudo. Na segunda etapa desenvolve-se um estudo de caso referente ao Programa Minha Casa Minha Vida, localizado no bairro de Senador Camará, e a escolha dos parâmetros e método a fim de realizar a simulação computacional. Diante disso, a última etapa é composta pela realização de simulações de desempenho termo-energético, segundo parâmetros definidos pelo Regulamento Técnico de Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R), variando os materiais construtivos na composição de sistemas de vedações verticais em comparação com a principal especificação adotada pelo programa.

Em conclusão, espera-se uma reflexão acerca do uso de materiais alternativos capazes de potencializar o conforto térmico e a eficiência energética da edificação.

Palavras chaves: Ambiente Construído - Sistemas de Vedações Verticais - Concreto Leve - Desempenho Termo Energético - Pré-Fabricação

ABSTRACT

Architecture and Urbanism is a field that studies and analyzes constructive solutions in order to adapt the space to the society that inhabits it. Currently, with the development of new techniques and constructive solutions, there is a concern with the design of housing with a view to reducing the environmental impact. Although discussions about thermo-energy issues in buildings have increased in recent years, the study of this subject is necessary since the knowledge of what can be done for a better performance of the building can result in public policies in the sector.

And as a product for use in construction, the adoption of lightweight concrete emerges as an alternative technology to conventional concrete and the thermo-energy issue is addressed with the use of the material, since it provides a reduction in the transfer of heat propagation. Additionally, lightweight concrete, among other benefits, provides less load on foundations, since its specific mass is low, and greater ease of transport when used in prefabricated parts.

In view of the above, this work proposes the analysis from thermal simulations in the Energyplus software of a house with a constructive process in prefabricated walls in lightweight concrete.

The methodology used will be divided into 3 stages: the first stage aims to show the results obtained in research prior to the final graduation work and which motivated the development of this study. In the second stage, a case study is developed regarding the Minha Casa Minha Vida Program, located in the neighborhood of Senador Camará, and the choice of parameters and method in order to carry out the computer simulation. In view of this, the last step consists of performing thermo-energy performance simulations, according to parameters defined by the Technical Quality Regulation for the Energy Efficiency Level of Residential Buildings (RTQ-R), varying the construction materials in the composition of vertical seals compared to the main specification adopted by the program.

In conclusion, a reflection on the use of alternative materials capable of enhancing the thermal comfort and energy efficiency of the building is expected.

Key Words: Built Environment - Vertical Envelopment Systems - Lightweight Concrete - Thermo Energy Performance - Pre Fabrication.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	06	7. OBJETO E CAMPO DE ATUAÇÃO	25
		O DÉFICIT HABITACIONAL E O PROGRAMA MINHA CASA MINHA VIDA	26
2. A QUESTÃO TERMO ENERGÉTICA	09	O DÉFICIT HABITACIONAL E O PROGRAMA CASA VERDE E AMARELA	27
DESEMPENHO TERMO ENERGÉTICO	10	8. PERCURSO DE EXPOSIÇÃO	28
O BRASIL E O GASTO ENERGÉTICO	11	PROGRAMA EXPERIMENTAL	29
A ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA E SEU CONTEXTO	12	CARACTERIZAÇÃO E DOSAGEM	30
		DESENVOLVIMENTO DOS PAINÉIS	31
3. O CONCRETO LEVE	13	ENSAIOS EXPERIMENTAIS DE ANÁLISE TÉRMICA	32
DEFINIÇÃO E BENEFÍCIOS	14	RESULTADOS - ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE	33
HISTÓRICO E APLICAÇÃO	15	RESULTADOS - RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO	34
		RESULTADOS - MASSA ESPECÍFICA	35
4. A PRÉ FABRICAÇÃO	16	RESULTADOS - ENSAIO TÉRMICO	36
INÍCIO DA PRÉ FABRICAÇÃO NO MUNDO	17	BENEFÍCIOS OBTIDOS	37
HISTÓRICO DA PRÉ FABRICAÇÃO NO MUNDO	18	AMORTECIMENTO E ATRASO TÉRMICO	39
INÍCIO DA PRÉ FABRICAÇÃO NO BRASIL	19	9. PERCURSO DELIBERATIVO	43
HISTÓRICO DA PRÉ FABRICAÇÃO NO BRASIL	20	OBJETO DE ESTUDO	44
		TIPOLOGIA HABITACIONAL ANALISADA	46
5. OBJETIVO	21	O COMPORTAMENTO DO CLIMA EM SENADOR CAMARÁ	49
OBJETIVOS GERAIS	22	PARÂMETROS E MÉTODO DA SIMULAÇÃO	52
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23	10. PERCURSO ANALÍTICO	57
		11. CONCLUSÕES	66
6. METODOLOGIA	24	12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68

1

INTRODUÇÃO

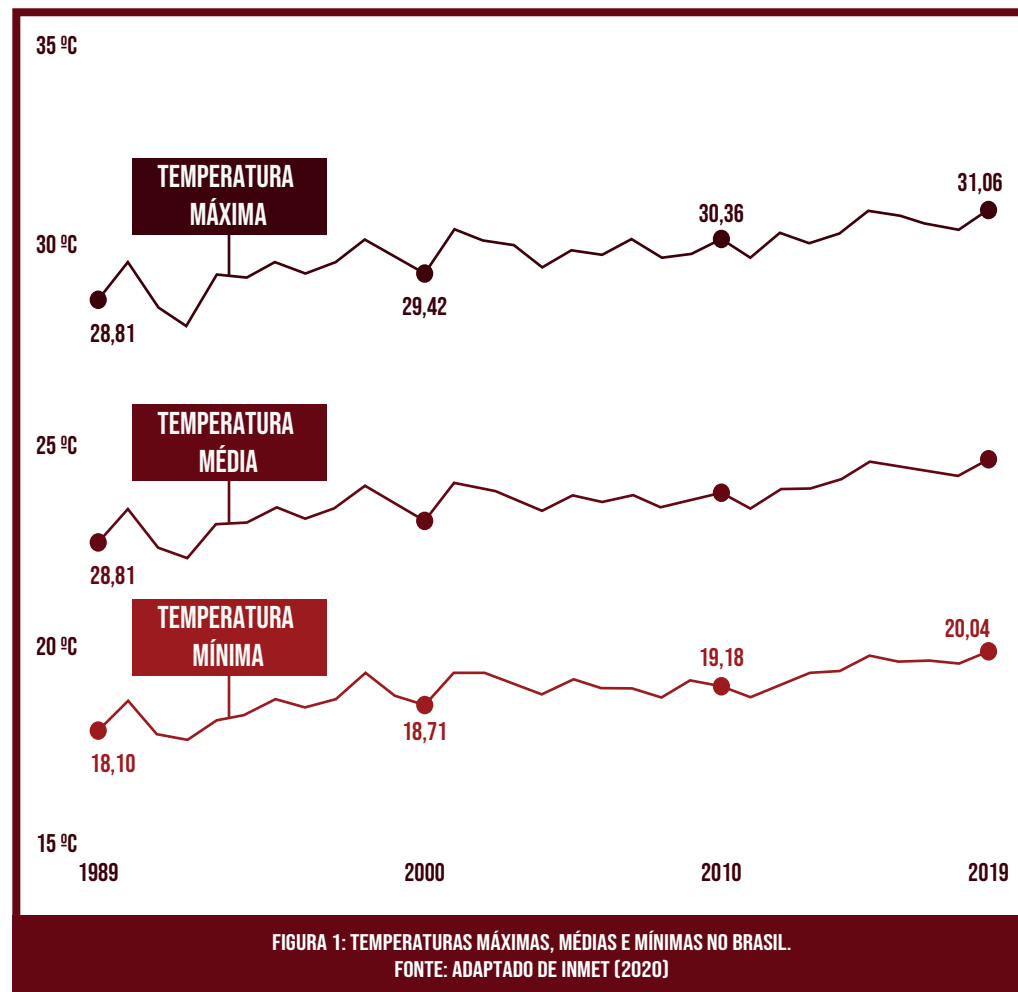
Os recursos energéticos são o foco dos interesses estatais, gerando disputas geopolíticas desde a primeira Revolução Industrial. Na segunda metade do século XX, com a expansão do meio urbano-industrial, principalmente, na América Latina e Sudeste Asiático e, conseqüentemente, o crescimento populacional, houve o aumento exponencial da demanda energética. Logo, nos últimos anos, a questão energética traz novas discussões.

Ao longo da história, impulsionada pelos novos materiais advindos da Revolução Industrial, o aço e o concreto armado, e, principalmente, em virtude das transformações sociais, econômicas e técnicas decorrentes da Segunda Guerra Mundial, a arquitetura distanciou-se da relação com o ambiente climático local. O desenvolvimento de sistemas de condicionamento de ar, compatíveis com uso em edificações, fez com que o ambiente climático deixasse de ser um condicionante de projeto (LAMBERTS et al., 2001). Durante décadas viu-se o uso indiscriminado das novas tecnologias e materiais que se tornavam disponíveis, os quais eram projetados e utilizados em qualquer lugar do mundo, sem sofrer adaptações às características do ambiente climático e da cultura do local a ser inserido, ignorando-se ainda, muitas vezes, o estudo das variáveis arquitetônicas provedoras das condições de conforto ambiental na arquitetura, como a orientação solar e a forma do edifício, o dimensionamento das aberturas, os fechamentos, entre outras.

Como consequência desta produção arquitetônica, na busca de minimizar o desconforto térmico e visual dos ambientes construídos, sistemas de iluminação e de climatização artificial passaram a ser largamente utilizados, dando ao projetista menos preocupação perante os problemas de adequação do edifício ao clima (Lamberts et al., 2001), porém, gerando gastos energéticos excessivos.

A maior parte do território brasileiro tem como realidade um clima tropical com temperaturas elevadas e altas incidências de sol durante boa parte do ano. Como exemplificação, podemos citar o Rio de Janeiro, onde as temperaturas médias são consideravelmente altas (Lamberts; Dutra; Pereira, 2014).

Conforme a Figura 1, podemos notar que desde 1989 as temperaturas, tanto máximas quanto mínimas e médias, no Brasil vem sofrendo um aumento brusco em uma parcela de tempo. Com isso, para solucionar as altas temperaturas, adotou-se a climatização artificial em residências e locais comerciais fechados ou semiabertos para garantir assim o conforto térmico dos usuários.



Em resultado da climatização artificial, os setores residenciais juntamente com o comercial são responsáveis por quase 50% do consumo energético por classe de uso das edificações, segundo a Empresa de Pesquisa Energética (2020) e, por esse motivo, os condicionadores de ar preenchem uma parcela de 20% da demanda de eletricidade, segundo Lamberts et al (2014).

Além disso, as previsões para o futuro são alarmantes, uma vez que é visto que a demanda para uma solução das altas temperaturas aumentará nas próximas décadas em razão de que o consumo de energia elétrica no setor residencial triplicou nos últimos anos e a posse de equipamentos nas residências aumentou 9,0% ao ano entre 2005 e 2017.

A adoção de materiais leves em sistemas cimentícios que compõem a fachada de um edifício se tornam uma solução, contribuem para melhorias de isolamento térmico, maior duração e desempenho acústico e para a redução do peso próprio da estrutura.

Em um sistema construtivo eficiente deve propiciar edificações de qualidade, que apresentem condições adequadas de segurança estrutural, salubridade, capacidade funcional, aconchego e confiabilidade das instalações (JANTSCH, 2015); de modo que o não atendimento aos requisitos mínimos de desempenho pode afetar diretamente a durabilidade e a vida útil das construções.

Logo, o material leve será responsável por compor a parede sendo barreira térmica entre o ambiente interno e externo, controlando a troca de calor entre esses espaços. Conforme Lamberts et al (2014), a especificação dos materiais construtivos que irão compor a edificação é um partido de responsabilidade do arquiteto, mostrando-se assim, em termos de eficiência energética e conforto ambiental, que é fundamental o conhecimento sobre o comportamento térmico de sistemas de vedações, pois assim esta decisão fornece estratégias adequadas às necessidades específicas de cada variação climática.

Conclui-se então que a escolha do sistema construtivo e do material utilizado influencia na tecnologia da construção, execução, mão de obra e a qualidade a serem empregadas.

Conseqüentemente, é de extrema importância a apresentação dos benefícios e apontamentos que trazem as novas tecnologias e, dentro deste contexto, podemos citar as paredes pré-fabricadas em concreto leve, sejam elas estruturais ou de vedação. Os mesmos têm a função estabelecer a separação entre ambientes e funcionam de forma que constituem barreiras para intempéries, ou seja, quaisquer condições, sejam elas: ventos fortes, chuvas e incidência de calor exacerbada sobre a fachada de uma determinada construção.

A utilização do concreto leve constitui uma alternativa para o presente Trabalho Final de Graduação visando o benefício termo-energético que esse material proporciona. Além disso, o emprego dessa solução construtiva permite atender a demanda habitacional brasileira, permitindo a execução da obra de modo mais ágil, econômico e sustentável (Cesar e Roman, 2006).

Em relação aos sistemas tradicionais de vedação, as principais vantagens da utilização do método em pré-fabricação são: maior organização e limpeza no canteiro; redução do número de atividades no canteiro; melhor controle e menor desperdício de materiais; redução de prazo e de custo; facilidade de utilização e de manutenção de instalações embutidas; facilidade de introdução de isolamentos; limitação ou diminuição de atividades existentes no processo tradicional, tal como revestimentos; precisão dimensional e superfícies lisas (SILVA, 2004).

2

A QUESTÃO TERMO ENERGÉTICA

DESEMPENHO TERMO-ENERGÉTICO

Quando se pensa em uma arquitetura de qualidade, o conforto térmico e a eficiência energética são temas que devem ser considerados, pois ambos prezam pelo uso do espaço condicionado a sua excelência, possibilitando assim uma ambientação que pode alcançar um menor uso de condicionador de ar, reduzindo assim a utilização de energia elétrica, pois segundo estudo realizado por Lan et al (2011), o desconforto térmico tem um efeito negativo na produtividade do ser humano.

Em termos de mudanças climáticas, Bayomi et al (2019) preconizam que é previsto um aumento na temperatura média global de 1,4°C a 5,8°C até o ano 2100, o que impacta nos níveis recomendados de conforto nas edificações (Figura 2). Porém, as alterações climáticas externas às edificações podem ser acompanhadas por adaptações ou buscas por soluções na fase da concepção arquitetônica de forma a minimizar os impactos térmicos aos usuários. Neste aspecto, há uma série de fatores que podem ser avaliados, como por exemplo, implantação do projeto, iluminação, ventilação, temperatura e umidade do ar, localização geográfica e materialidade da edificação, e sistemas construtivos utilizados.

Diferentes pesquisas têm buscado analisar o desempenho termo-energético de diferentes sistemas estruturais e materiais empregados nas envoltórias das edificações (Oliveira e Alves, 2021; Ustaogly et al, 2020; Almeida, 2019; Bezerra, 2003; Sacht, 2008; Angelin, 2014). Destaca-se no trabalho desenvolvido por Almeida (2019) que o sistema construtivo em alvenaria estrutural apresentou melhor desempenho térmico em comparação ao sistema em paredes de concreto, para o qual o desempenho precisou então ser incrementado com a inclusão de materiais

com características isolantes. Portanto, torna-se importante a busca por soluções para alcançar a potencialização do conforto térmico interno das edificações. Neste contexto, enquadra-se como exemplo a utilização de bio-concretos de casca-de-arroz, bambu e madeira (Da Gloria et al, 2020), compósitos cimentícios reforçados com fibras vegetais (Ferreira, 2012), peças leves e autoportantes de bambu e bio-concreto (Lima, 2020) visando a adequação das vedações das edificações ao clima de forma a proporcionar melhor conforto térmico aos usuários das edificações, além do concreto leve que será abordado no capítulo seguinte.

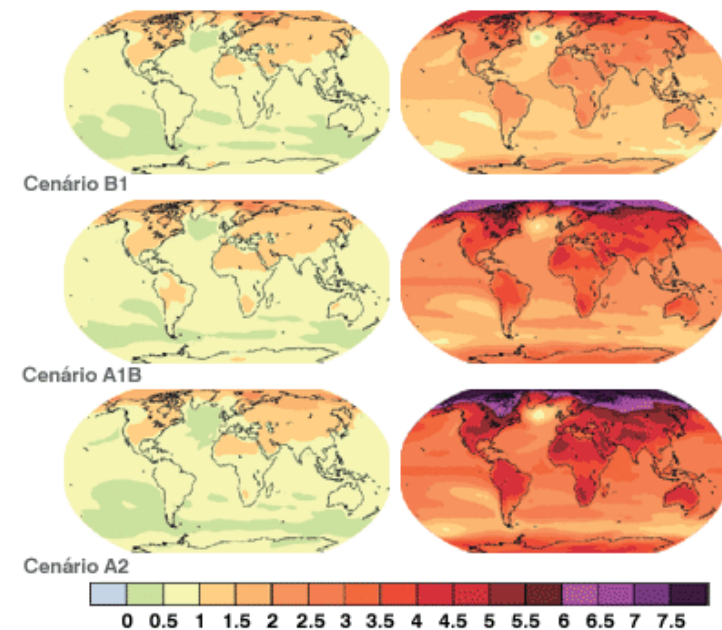


FIGURA 2: PROJEÇÕES DE TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DA TERRA.
FONTE: ADAPTADO DE BBC (2007)

O BRASIL E O GASTO ENERGÉTICO

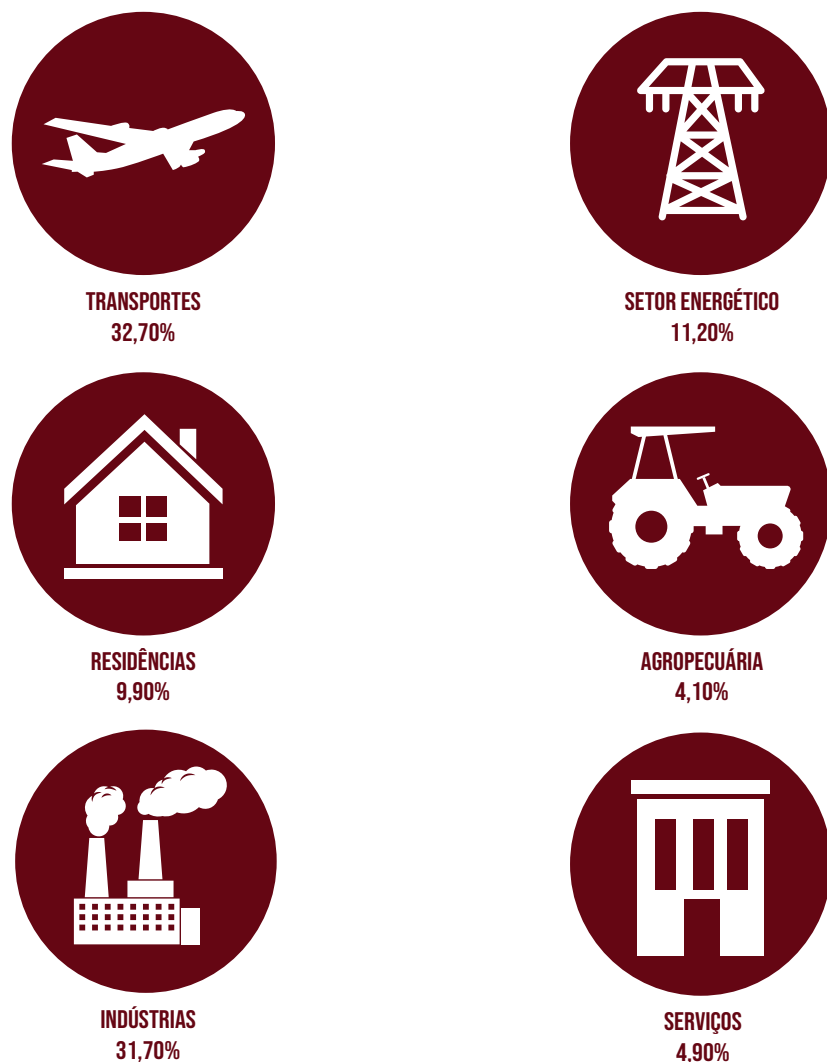


FIGURA 3: O USO DE ENERGIA NO BRASIL
FONTE: ADAPTADO DE BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL (2018)

De acordo com Romero e Reis (2021) as primeiras normas no mundo de eficiência energética em edificações surgiram na década de 70, após a crise do petróleo. Além disso, diversos países lançaram programas de incentivo à redução do consumo de energia, resultando posteriormente na criação de normas de eficiência energética, como a Standard 90 - Energy Conservation in New Building Design e a norma californiana Title 24 de 1978.

Já no Brasil, a primeira preocupação com o gasto energético em edificações foi no ano de 2001 (Lamberts; Dutra; Pereira, 2014), originando assim a criação do Programa Nacional de Conservação de Energia (PROCEL EDIFICA).

De acordo com o relatório do Balanço de Energia Nacional, BEN (2018), o consumo de energia elétrica nos setores residencial, comercial e público corresponde a 50% do consumo total de energia no país no ano de 2017 (Figura 3), sendo o setor residencial responsável por 50% dessa parcela consumida. Geller (2003) mostra que o consumo de energia no Brasil cresceu de 250% no período de 1975 a 2000 e que o uso energético residencial foi uma das principais causas desse aumento. O autor ressalta a importância de medidas para a eficiência energética por parte das edificações residenciais. Ainda segundo Ludgero e Assis (2005) a necessidade da redução do consumo de energia nas edificações é um aspecto presente tanto nos projetos de novos edifícios como também na discussão de políticas públicas.

Logo, segundo Lamberts, Dutra E Pereira (2014), são nesses setores que o arquiteto e urbanista deve atuar de forma a aumentar a eficiência energética.

Segundo Bertol (2015) a partir de então, vêm sendo desenvolvidos estudos, programas e normas que abordam a questão do esgotamento dos recursos naturais não renováveis.

Ainda, de acordo com a Empresa de Pesquisa Energética, entre o ano de 2007 e 2017, ou seja, em 10 anos o consumo de energia elétrica cresceu aproximadamente 27,7%.

A ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA E O SEU CONTEXTO

No território brasileiro o clima prevalecente é o tropical. Entretanto, o país possui uma influência continental, marítima, de latitude, de relevo e de massas de ar criando diversos subtipos de clima tropical, gerando assim uma diversidade climática. Podemos citar ainda que em uma mesma região geográfica do país, existem mais de um tipo de clima.

Em virtude disso foi criado um zoneamento bioclimático para o território nacional, a fim de padronizar o clima brasileiro em relação à análise térmica dos ambientes. Esse zoneamento bioclimático divide o território brasileiro em oito zonas relativamente homogêneas quanto aos tipos de clima existentes. A ABNT (1998) apresenta uma metodologia aplicável na fase de projeto, para a avaliação do desempenho térmico de habitações unifamiliares de interesse social, ao mesmo tempo em que, estabelecendo um Zoneamento Bioclimático Brasileiro, traz recomendações de diretrizes construtivas e o detalhamento de estratégias de condicionamento térmico passivo, com base em parâmetros e condições de contorno fixados.

Sendo assim, para esse trabalho foi escolhido o estado do Rio de Janeiro, uma vez que é um dos estados que mais sofrem com as mudanças climáticas e alta incidência de calor (Metoblue, 2019).

Na Figura 4, que mostra o mapa das tipologias bioclimáticas, podemos notar que a maior parte do território fluminense é formado pelo clima tropical e é caracterizado por uma média de temperatura bem distribuída ao longo do ano.

A presença de climas sub úmido e secos são caracterizadas de duas formas, quando há uma precipitação mal distribuída, com chuvas concentradas no verão e inverno seco, típica dos planaltos do vale do rio Paraíba, e quando há precipitações escassas típicas da região leste e nordeste do estado. O relevo destas regiões é

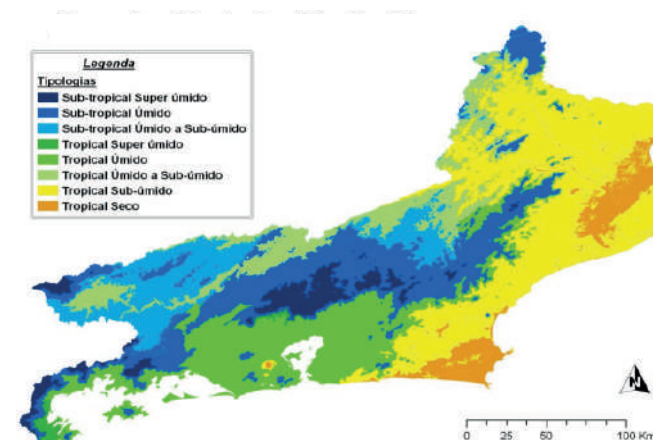


FIGURA 4: MAPA DAS TIPOLOGIAS BIOCLIMÁTICAS
FONTE: ADAPTADO DE BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL (1992)

marcado por planícies, mares de morros ou superfícies colinosas, com alta incidência solar, elevada temperatura e evapotranspiração. Para a habitação de interesse social no estado do Rio de Janeiro foi percebido que são construídas com materiais que não favorecem o clima presente, em que 80% das edificações são compostas por paredes maciças de concreto moldadas in loco, estando o restante dividido entre a utilização de alvenaria estrutural em blocos cerâmicos, alvenaria estrutural em blocos de concreto e alvenaria de vedação com blocos cerâmicos (Vasquez, 2017). Por conseguinte, surge como alerta, em razão de que o sistema de parede de concreto, que é o mais utilizado, é visto como inadequado para todas as zonas bioclimáticas do estado e do país (Moreno, 2013).

Logo, conclui-se que para isso é de extrema importância que se conheça o desempenho térmico de um edifício e o clima onde o mesmo será implementado, para que possa estimar parte da necessidade de aporte energético que ele apresenta (Mascaró, 1992), sendo resultado da interação do ambiente, ele próprio e o usuário.

3

O CONCRETO LEVE

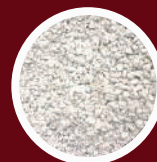
DEFINIÇÃO E BENEFÍCIOS

Atualmente, há uma crescente preocupação com o meio ambiente. Por conseguinte a arquitetura e a engenharia civil, inserida no quadro de exploração através da extração ilimitada de recursos naturais (areia, água, brita), poluição causada pelos entulhos produzidos e pelo grande consumo de energia em suas obras, tornaram indispensável a busca por novos espaços que devem proporcionar conforto térmico, acústico, visual, baixo consumo de energia, qualidade, rapidez, menor custo, e visam minimizar os impactos socioambientais, preservar os recursos naturais e melhorar a qualidade de vida nas áreas urbanas a partir da construção de obras mais econômicas e sustentáveis (John, 2000).



FIGURA 5: BENEFÍCIOS DO CONCRETO LEVE
FONTE: ADAPTADO DE TOTAL CONSTRUÇÃO (2019)

NATURAIS



DIATOMITA



PEDRA POMES



CINZAS
VULCÂNICAS

ARTIFICIAIS



ARGILA
EXPANDIDA



EPS



VERMICULITA

FIGURA 6: OS TIPOS DE AGREGADOS NATURAIS E ARTIFICIAIS.
FONTE: AUTOR

Logo, o concreto leve é visto como uma solução de material a proporcionar menor incidência de calor em edificações (Figura 5), gerando assim menos consumo de energia com climatização artificial. Neste tipo de concreto tem-se a substituição total ou parcial dos agregados convencionais por agregados leves artificiais (vermiculita, EPS-isopor e argila expandida) ou naturais (diatomita, pedra pomes, escória e cinzas vulcânicas), conforme Figura 6. Tais materiais são porosos, o que tende a reduzir a resistência do concreto. Assim, o ACI 213R-03 define que para um concreto leve seja estrutural a sua resistência à compressão, aos 28 dias, deve ser maior que 17 MPa e sua massa específica seca no mesmo intervalo deve variar entre 1120 e 1920 kg/m³, enquanto nos concretos convencionais sua densidade varia de 2300 a 2500 kg/m³.

HISTÓRICO E APLICAÇÃO

Início da utilização dos concretos com agregados leves em aproximadamente 1100 a.C, no México, com construtores pré-colombianos.



As aplicações históricas mais conhecidas dos concretos com agregados leves foram construídas pelos romanos, entre a República Romana e o Império Bizantino, destacando-se o Coliseu de Roma, a cobertura do Panteão e o Porto de Cosa.



FIGURA 7: O HISTÓRICO DO CONCRETO LEVE
FONTE: ADAPTADO DE CONCRENORTE (2017)



FIGURA 8: EDIFÍCIO SOUTHWESTERN BELL TELEPHONE COMPANY (1927)
FONTE: ALAMY (2020)

Data-se que o uso do primeiro concreto leve estrutural foi em 1929, onde o mesmo foi utilizado no Edifício Southwestern Bell Telephone Company (Figura 7), na cidade de Kansas. Inicialmente, o edifício foi construído com 14 pavimentos com concreto estrutural convencional, porém em projeto essa edificação teria mais 8 pavimentos com o material convencional. Projetistas verificaram que se fosse utilizado o concreto leve, seria possível executar 14 pavimentos, além dos 14 pavimentos já executados com o concreto convencional. Portanto, o Edifício possui 28 pavimentos (Rossignolo, 2009).

4

A PRÉ FABRICAÇÃO

INÍCIO DA PRÉ FABRICAÇÃO NO MUNDO

O surgimento da Indústria foi um dos marcos para a evolução histórica da humanidade. Com o passar dos anos e frente às constantes inovações tecnológicas a indústria passou por importantes e profundas mudanças, que serviram para mudar de forma considerável o desenvolvimento de uma sociedade, que hoje assiste a uma transformação tecnológica e precisa adaptar-se a essa realidade.

Marson (2014) afirma que, historicamente, a indústria foi o fator mais poderoso de aceleração do crescimento econômico e exerceu grande impacto sobre todo o ambiente institucional e social.

Os avanços tecnológicos sempre foram importantes para a evolução da Indústria, fator ocasionado pela busca de trabalhos mais dinâmicos, eficientes e qualificados.

A revolução Industrial ocorrida na Inglaterra no século XVIII foi um período de grande marco na história mundial, uma vez que seus acontecimentos afetaram a humanidade, mudando os meios de produção, ou seja, os produtos deixaram de ser manufaturados e passaram a ser maquinofaturados, permitindo assim uma produção em massa inserindo mais produtos no mercado.

Já no Século XX, os elementos pré-fabricados ganham importância efetiva nas construções a partir da Segunda Guerra Mundial (Figura 9). No entanto após mais de 70 anos no mercado nacional e internacional, existem avanços a percorrer em alguns países, como é o caso do Brasil.

Por isso, é importante compreender a evolução histórica da pré-fabricação, a fim de contextualizar o presente trabalho e mostrar como o passado contribuiu para a evolução da construção pré-fabricada. Apesar das vantagens, a técnica não é



FIGURA 9: DESTROÇOS DA SEGUNDA GUERRA MUNDIAL.
FONTE: PREFABRICAR (2018)

empregada por muitos arquitetos por ser industrializada e supostamente restringir as possibilidades do projeto. Além disso, o estudo sobre esse tipo de técnica é feito de forma pouco difundida.

Segundo Paulo Mendes da Rocha: “A cidade deve constituir uma estrutura de amparo à vida, levando em conta suas várias dimensões – habitação, comércio, serviços, transporte, lazer e trabalho”. A arquitetura, modificadora do espaço e da paisagem, deve atender social e esteticamente as necessidades humanas.

HISTÓRICO DA PRÉ FABRICAÇÃO NO MUNDO

O avanço da utilização com elementos pré-fabricados ocorreu em momentos distintos e de maneira divergentes ao redor do mundo. Entretanto, define-se que as primeiras construções surgiram na Europa e tanto os EUA quanto o Canadá e o Brasil foram influenciados pela cultura eurocêntrica.

De acordo com Salas (1988), pode-se dividir o emprego da pré-fabricação na Europa em três etapas:

1

- Pós Segunda Guerra Mundial: demanda de construções em larga escala;
- Desempenho econômico;
- Repetição de tipologias arquitetônicas;
- Ciclos fechados de produção e Pré-Fabricação pesada.

1950 - 1970



FIGURA 10: UM DOS PRIMEIROS SISTEMAS DE PRÉ-FABRICAÇÃO NA FRANÇA EM 1948.

2

- Acidentes com construções pré-fabricadas;
- Demolição de conjuntos habitacionais;
- Composição de paisagens monótonas e uniformes;
- Projetos arquitetônicos inflexíveis.

1970 - 1980



FIGURA 11: COLAPSO DA TORRE RONAN POINT, CONSTRUÍDA EM LONDRES, COM 22 PAVIMENTOS, EM 1968.

3

- Desempenho Técnico;
- Independência de sistemas da edificação;
- Ciclos abertos de produção e que consideram desmontagem;
- Vida útil: flexibilidade; redução de resíduos de demolição.

1980



FIGURA 12: NEXT, 21. OSAKA, 1994. DESENVOLVIDO SOB AS PREMISSAS DO CENTURY HOUSING SYSTEM.

INÍCIO DA PRÉ FABRICAÇÃO NO BRASIL

Diferente da Europa, o Brasil até meados da década de 60 possuía formas de pré-fabricação pouco exploradas, uma vez que não houve necessidade de construção em massa por conta da Segunda Guerra Mundial. Contudo, o aumento populacional originou o início do uso dessa tecnologia.

Vasconcelos (2002), afirma que a primeira grande obra onde se utilizou elementos pré-fabricados no Brasil, foi o hipódromo da Gávea, no Rio de Janeiro (Figura 13). Em 1926, a empresa responsável pela execução fez a utilização de diversas aplicações com elementos pré-fabricados, entre eles estacas das fundações. Nesta obra o canteiro teve de ser minuciosamente planejado para não alongar demasiadamente o tempo de construção, necessitando então da racionalização e organização da construção.

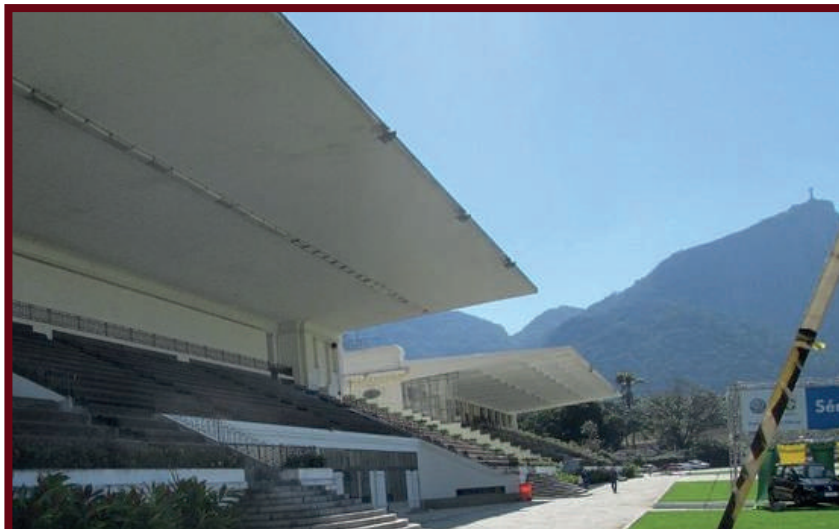


FIGURA 13: HIPÓDROMO DA GÁVEA.
FONTE: PREFABRICAR (2009)

No entanto, essa preocupação só foi de fato ocorrer no fim da década de 50, que conforme Vasconcelos (2002), na cidade de São Paulo, a Mauá Construtora executou galpões pré-moldados no próprio canteiro de obras.

Em alguns galpões foi utilizado o processo de executar as peças deitadas umas sobre as outras numa sequência vertical, separando-as por meio de papel parafinado. Não era necessário esperar que o concreto endurecesse, para então executar a camada sucessiva. Esse procedimento economizava tempo e espaço no canteiro, podendo ser empilhadas até 10 peças.

Em relação à pré-fabricação de edifícios de vários pavimentos, com estrutura reticulada, a primeira tentativa, segundo Vasconcelos (2002), parece ter sido a do Conjunto Residencial da Universidade de São Paulo - CRUSP da cidade universitária Armando Salles de Oliveira, em São Paulo. Trata-se do conjunto residencial da USP de 1964, constituído de doze prédios com doze pavimentos, projetados pelo Fundo de Construção da Universidade de São Paulo - FUNDUSP, para abrigar estudantes de outras cidades que ingressaram nas faculdades da universidade.

Sendo assim, esse sistema construtivo se torna uma opção para uma habitação de interesse social, pois estes empreendimentos utilizam em sua maioria o sistema construtivo de paredes maciças de concreto moldadas in loco (CIMENTO ITAMBE, 2018). Logo, é viável empregar este método uma vez que a pré-fabricação melhora o rendimento, a trabalhabilidade e torna o canteiro de obra mais produtivo e mais limpo.

HISTÓRICO DA PRÉ-FABRICAÇÃO NO BRASIL

Na Figura 14, é apresentada uma linha do tempo da utilização da pre-fabricação no Brasil.

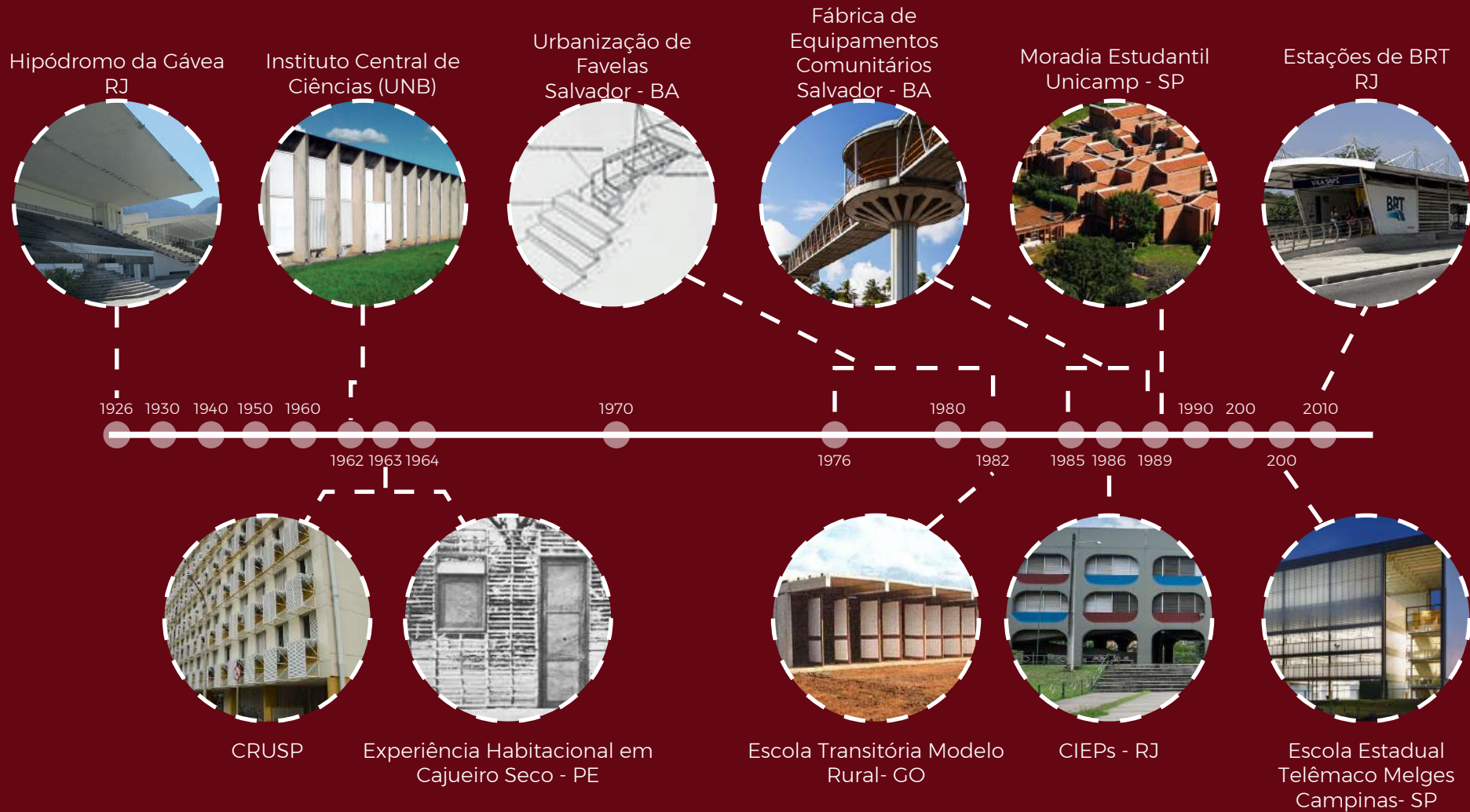


FIGURA 14: LINHA DO TEMPO.

5

OBJETIVO

OBJETIVO GERAL

O objetivo do presente TFG é analisar a influência de agregados leves incorporados no concreto, em substituição aos agregados convencionais, no que se refere ao desempenho termo-energético de uma habitação de interesse social, localizada no bairro de Senador Camará no município da cidade do Rio de Janeiro, pertencente à Zona Bioclimática 8 a partir de simulações térmicas produzidas no software Energyplus.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Apresentar o comportamento físico, mecânico e térmico do concreto leve, tendo como resultado e motivação a pesquisa desenvolvida em etapa anterior ao TFG
- b) Descrever e abordar as características dos materiais leves que formam as paredes de vedações verticais da fachada do edifício leves usadas para a simulação térmica ;
- c) Estudar do programa energyplus
- d) Avaliar experimentalmente os benefícios conquistados a partir da substituição dos materiais convencionais por agregados leves;

6

METODOLOGIA

METODOLOGIA

A METODOLOGIA PROPOSTA CONTEMPLA 3 ETAPAS: PERCURSO DE EXPOSIÇÃO, PERCURSO DELIBERATIVO E PERCURSO ANALÍTICO.



PERCURSO DE EXPOSIÇÃO:

Tem como objetivo apresentar a pesquisa e utilizar as informações obtidas na pesquisa desenvolvida na iniciação científica como uma primeira análise da capacidade do agregado leve, no que se refere ao seu comportamento térmico, e que serviu como motivação para o desenvolvimento Trabalho Final de Graduação.



PERCURSO DELIBERATIVO:

Nesta etapa, desenvolve-se um estudo de caso referente ao Programa Minha Casa Minha Vida, localizado no bairro de Senador Camará, e a escolha dos parâmetros e métodos a fim de realizar simulações computacionais de desempenho termo-energético.



PERCURSO ANALÍTICO:

A última etapa é composta pela realização das simulações no software Energyplus, segundo parâmetros definidos pelo Regulamento Técnico de Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R), variando os materiais construtivos convencionais por materiais leves na composição de sistemas de vedações verticais em comparação com a principal especificação adotada pelo programa que são as paredes maciças de concreto moldadas in loco.

7

**OBJETO E CAMPO
DE ATUAÇÃO**

O DÉFICIT HABITACIONAL E O PROGRAMA MINHA CASA MINHA VIDA

O déficit habitacional é um problema social que atinge o Brasil desde os tempos do Império, e se tornou um problema estrutural grave. Quando olhamos hoje as grandes cidades brasileiras nos deparamos com uma paisagem que abriga diversos modos de morar, explicitando desde condições econômicas privilegiadas até as mais desfavoráveis.

Segundo a Fundação João Pinheiro (2008) o déficit habitacional está diretamente relacionado à falta de moradia. Sendo assim, engloba as moradias sem condições de serem habitadas em razão da alta precariedade e do desgaste da estrutura física. Com isso, em uma pesquisa feita pela fundação, o déficit habitacional foi estimado em 5.876.699 domicílios para 2019 (8% do total) e mais de 24 milhões de domicílios apresentaram ao menos um tipo de inadequação (infraestrutura, edificação e de inadequação fundiária) no Brasil (Figura 15).

Desde 2013, como uma tentativa de sanar esse problema foi lançado o programa habitacional “Minha casa Minha Vida”, elevando o número de novas unidades habitacionais. No entanto esse projeto possui falhas, uma vez que adota um mesmo partido projetual e sistema construtivo em divergentes regiões, tornando o projeto padronizado e não levando em conta os diferentes contextos de implementação do projeto.

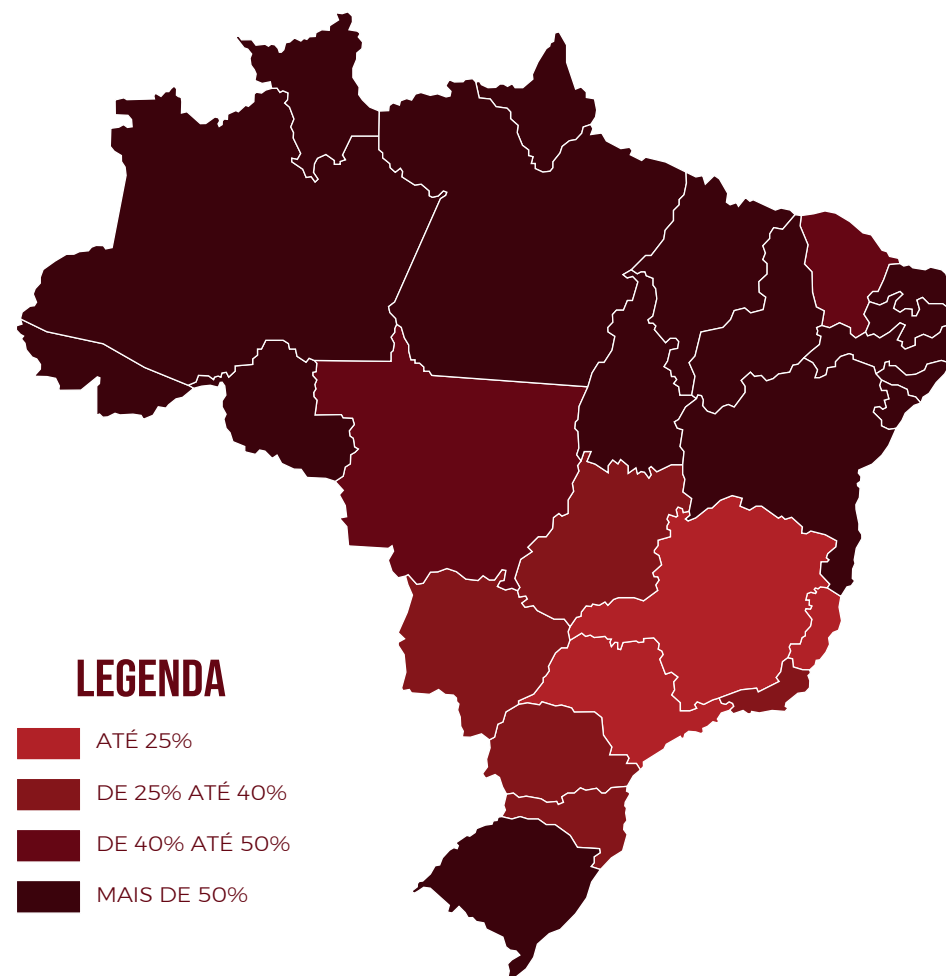


FIGURA 15: MAPA COM PORCENTAGEM DE HABITAÇÕES INAQUEDAS PARA MORADIA
FONTE: ADAPTADO DO CAU/MT (2008)

O DÉFICIT HABITACIONAL E O PROGRAMA CASA VERDE E AMARELA

O Casa Verde e Amarela é um programa do Governo Federal criado para reestruturar o Minha Casa Minha Vida (MCMV), antigo programa habitacional. Assim como o MCMV, o objetivo é facilitar o acesso dos brasileiros à casa própria, proporcionando mais qualidade de vida. Em resumo, o Casa Verde e Amarela permite que famílias com renda mensal de até R\$7000,00 financiem um imóvel por meio dos seus benefícios (Tabela 1).

TABELA 1: MODALIDADES DE ATENDIMENTO
FONTE: MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL

PROGRAMA MINHA CASA MINHA VIDA		
FAIXA	FAIXA DE RENDA	MODALIDADES DE ATENDIMENTO
FAIXA 1	ATÉ R\$ 1.800,00	PRODUÇÃO SUBSIDIADA
FAIXA 1,5	ATÉ R\$ 2.600,00	
FAIXA 2	ATÉ R\$ 4.000,00	PRODUÇÃO FINANCIADA
FAIXA 3	R\$ 4.000,00 À 7.000,00	

PROGRAMA CASA VERDE E AMARELA		
GRUPO	FAIXA DE RENDA	MODALIDADES DE ATENDIMENTO
GRUPO 1	ATÉ R\$ 2.000,00	- PRODUÇÃO SUBSIDIADA; - REGULARIZAÇÃO FUNDIÁRIA; - MELHORIA HABITACIONAL; - PRODUÇÃO FINANCIADA
GRUPO 2	DE R\$ 2.000,00 À 4.000,00	- PRODUÇÃO SUBSIDIADA; - REGULARIZAÇÃO FUNDIÁRIA (ATÉ R\$ 5.000,00)
GRUPO 3	DE R\$ 4.000,00 À 7.000,00	

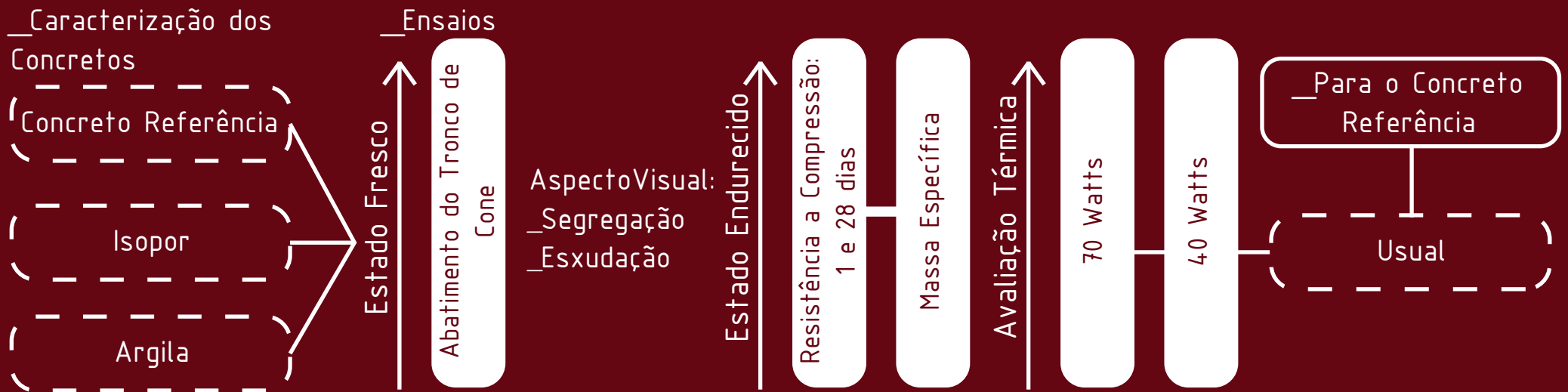
Outra mudança importante foi feita com relação às taxas de juros, que, com o Minha Casa Minha Vida, era única para todo o Brasil, variando de acordo com as faixas de renda aceitas pelo programa. Agora, com o Casa Verde e Amarela, as taxas de juros variam de acordo com a faixa de renda e a localidade do imóvel. Mas houve, por exemplo, uma redução da taxa significativa para moradores do Norte e Nordeste. Por fim, de acordo com a portaria 959 do Casa Verde Amarela o programa, diferente do Minha Casa Minha Vida, os projetos dos empreendimentos habitacionais devem ser elaborados visando à promoção de condições dignas de habitabilidade, observando o adequado atendimento a critérios de mobilidade urbana, acessibilidade, sustentabilidade, conforto ambiental e eficiência energética, diversidade de acesso a comércios e serviços, bem como sua conectividade com o entorno. A estratégia principal para o alcance desse objetivo é: explorar ao máximo estratégias passivas para garantir o conforto das unidades habitacionais, com o aproveitamento da iluminação e ventilação natural, por meio da forma do edifício, escolha adequada de fechamentos, escolha adequada de paredes externas e coberturas, disposição e tamanho das aberturas, tipos de esquadrias, sempre de acordo com o clima local para aumentar o conforto ambiental e o desempenho termo-energético da Unidade Habitacional.

8

PERCURSO DE EXPOSIÇÃO

PROGRAMA EXPERIMENTAL

O presente capítulo tem como objetivo apresentar a pesquisa realizada pelo discente enquanto integrante de Iniciação Científica de onde surge a motivação para retomar no Trabalho Final de Graduação.



PROGRAMA EXPERIMENTAL

CARACTERIZAÇÃO E DOSAGEM DOS MATERIAIS

A caracterização dos materiais e a dosagem do concreto referência foram obtidas com o auxílio da pesquisa feita por Reis et al (2018). O concreto referência foi dosado para a obtenção de resistência à compressão aos 28 dias de idade igual a 50 MPa (CREF). Com base neste concreto, foram utilizadas as pérolas de poliestireno expandido em substituição total do agregado graúdo, o que gerou o concreto com denominação “CPE” na Tabela 2. O concreto denominado “CAE” representa o concreto produzido com 100% de substituição dos agregados naturais (miúdo e graúdo) por argila expandida miúda (AEM) e argila expandida.

CIMENTO (CPVARI-RS):

Massa Específica: 2950 Kg/m³.

AGREGADO MIÚDO (AREIA MÉDIA):

Módulo de Finura: 2,45;

Dimensão Máxima Característica: 4,8 mm;

Massa Específica: 2655 Kg/m³.

AGREGADO GRAÚDO (BRITA):

Dimensão Máxima Característica: 9,5 mm;

Massa Específica: 2655 Kg/m³.

PÉROLAS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS):

Diâmetros Variáveis: 1 a 4 mm;

Massa Específica: 17,5 Kg/m³.

ARGILA EXPANDIDA MIÚDA (AEM):

Massa Específica: 1680 Kg/m³;

Absorção: 6,72%.

ARGILA EXPANDIDA GRAÚDA (AEG):

Massa Específica: 1070 Kg/m³;

Absorção: 13,73%.

DOSAGEM DOS CONCRETOS

TABELA 2: PROPORCIONAMENTO DOS MATERIAIS EM KG/M³

CONCRETO	CIMENTO	AREIA	BRITA	PPE	AEM	AEG	ADITIVO	ÁGUA
CPE	480,01	612,55	-	6,46	-	-	0,81	190,55
CAE	480,01	-	-	-	447,70	465,33	0,81	190,55
CREF	480,01	612,55	979,10	-	-	-	1,52	190,55

METODOLOGIA

DESENVOLVIMENTO DOS PAINÉIS



Figura 16: Ensaio de abatimento do tronco de cone.

Figura 19: Fôrma com armação antes de ser iniciada a concretagem.

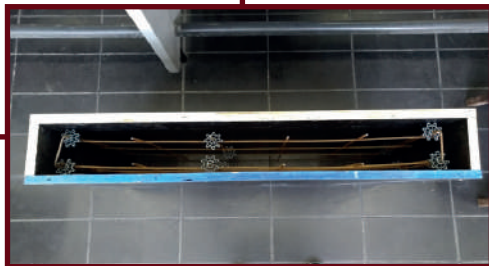


Figura 17: Corpo de prova em estufa antes de ser feito o ensaio de massa específica.

Figura 20: Fôrma montada e pronta para ser iniciada a concretagem



Figura 21: Fôrma após ser efetuada a concretagem.

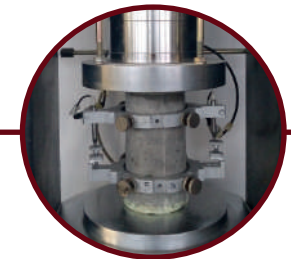


Figura 18: Corpo de prova em ensaio de resistência à compressão em prensa Hidráulica.

METODOLOGIA

A metodologia para a produção dos painéis, os ensaios experimentais de análise térmica e os resultados do concreto referência estão fundamentadas na pesquisa de Almeida (2019).

ENSAIOS EXPERIMENTAIS DE ANÁLISE TÉRMICA

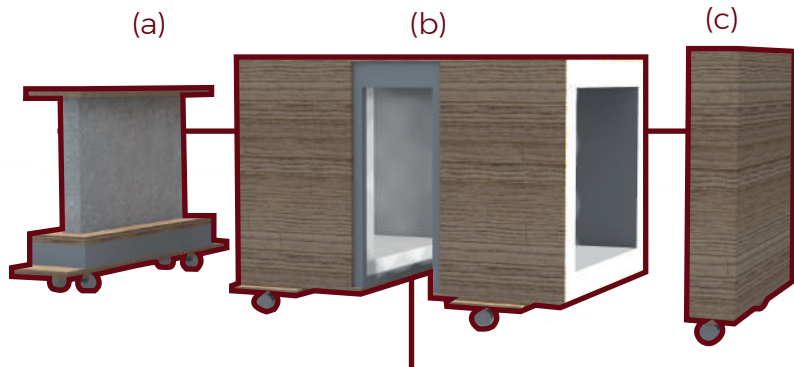


Figura 22: Câmara Térmica:
(a) Carrinho para suporte dos Painéis;
(b) Câmara; (c) Módulo de Aquecimento.

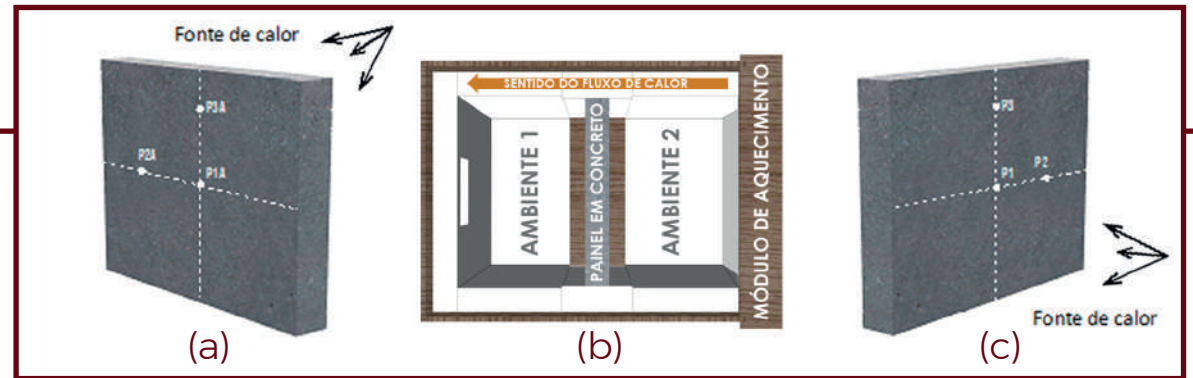


Figura 23: Painel e ambientes:
(a) Regiões dos sensores na face do painel voltado para o ambiente 1;
(b) Vista superior da Câmara Térmica;
(c) Regiões dos sensores na face do painel voltado para o ambiente 2.

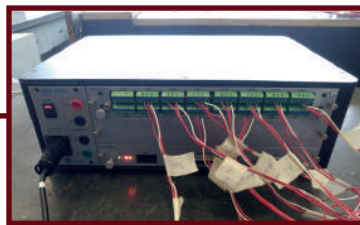


Figura 24: Sistema de Aquisição de Dados: Lynx.



Figura 25: Sistema de Aquisição de Dados: Datalogger.

ANÁLISE TÉRMICA DE CONCRETOS COM A INCORPORAÇÃO DE AGREGADOS LEVES

RESULTADOS - ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE

A caracterização no estado fresco foi realizada através do ensaio de abatimento do tronco de cone, que tem como objetivo o resultado sobre a consistência e fluidez do material produzido, segundo a norma ABNT NBR NM 67(1998). Na Figura 26, apresentam-se os resultados obtidos de cada concreto produzido. O concreto referência teve abatimento igual a 18cm, apresentando um acréscimo com a introdução dos agregados leves. O concreto “CPE” teve maior valor de abatimento em comparação ao concreto “CAE”.

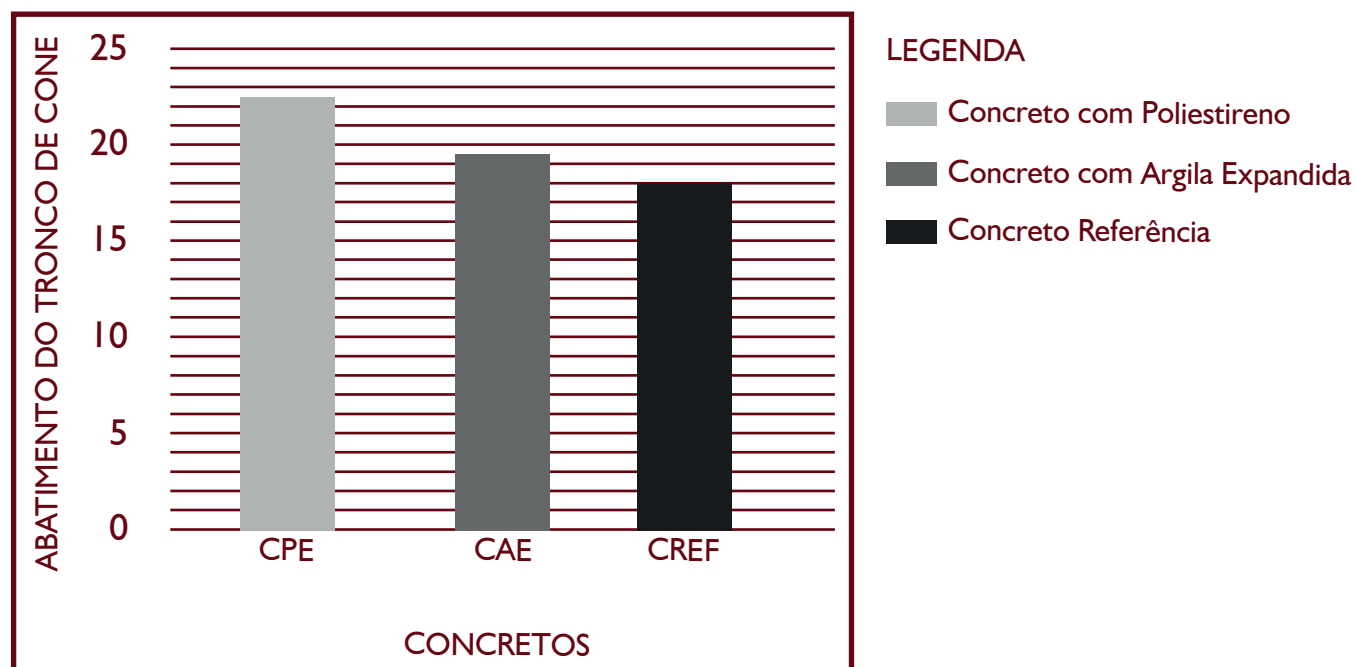


FIGURA 26: RESULTADOS DOS ABATIMENTOS DO TRONCO DE CONE.

ANÁLISE TÉRMICA DE CONCRETOS COM A INCORPORAÇÃO DE AGREGADOS LEVES

RESULTADOS - ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

No estado endurecido, foram realizados ensaios de resistência à compressão e massa específica. Os ensaios de resistência à compressão foram realizados em corpos de prova cilíndricos de dimensões iguais a 100mm de diâmetro x 200mm de altura, utilizando prensa hidráulica servocontrolada, a uma velocidade com controle por deformação a uma taxa de 0,025mm/min. Os concretos foram avaliados em duas idades diferentes: 1 dia e 28 dias.

Independentemente da idade avaliada, todos os concretos produzidos com agregados leves tiveram resultados inferiores ao concreto referência (CREF). A maior redução dos valores de resistência foi observada nos concretos produzidos com poliestireno expandido. Para a idade de 1 dia os concretos “CPE” e “CAE” tiveram reduções de 64% e 16%, respectivamente. Para a idade de 28 dias essas reduções foram de 77% e 52%. Vale ressaltar que, de acordo com a norma ACI 213 (2003), o concreto “CAE” pode ser classificado como estrutural, pois a sua resistência à compressão é superior a 17MPa aos 28 dias, enquanto o concreto “CPE” se enquadra como concreto isolante.

TABELA 3: RESULTADOS DAS RESISTÊNCIAS DOS CONCRETOS NAS DIFERENTES IDADES DE ENSAIO.

CONCRETOS	1 dia		28 dias	
	fc	CV	fc	CV
	MPa	%	MPa	%
CREF	15,93	4,90	38,05	0,53
CPE	5,73	0,58	8,60	9,42
CAE	13,33	7,69	18,34	11,04

ANÁLISE TÉRMICA DE CONCRETOS COM A INCORPORAÇÃO DE AGREGADOS LEVES

RESULTADOS - MASSA ESPECÍFICA

O ensaio de massa específica foi realizado segundo a ABNT NBR 9778:2005.

A massa específica dos concretos leves foi inferior ao do concreto referência, uma vez que para a produção dos concretos leves têm-se a utilização de agregados com massas específicas inferiores aos agregados naturais que são empregados no concreto referência. Conforme exigência do ACI 213R (2003) os concretos produzidos podem ser classificados como leves, uma vez que a massa específica encontrada (1300kg/m^3) está compreendida entre 1120 e 1920Kg/m^3 .

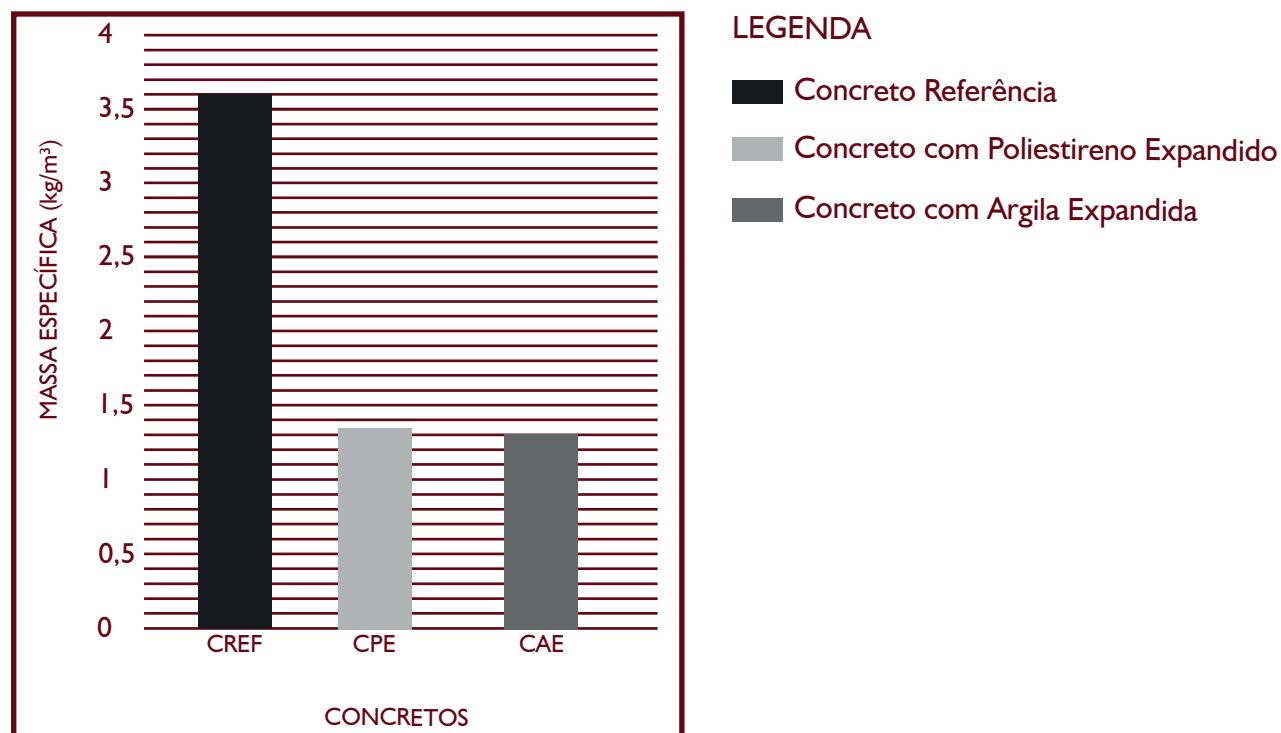


FIGURA 27: RESULTADOS DAS MASSAS ESPECÍFICAS.

ENSAIO TÉRMICO

A Figura 28 e a Figura 29 apresentam curvas do ensaio térmico. Na Figura 28, cada curva representa a média de três curvas, sendo cada uma destas curvas os resultados obtidos dos sensores de temperatura posicionados nos pontos P1, P2 e P3, conforme Figura 23c. As curvas obtidas para a face oposta do painel, cujos sensores de temperatura estão posicionados nos pontos P1A, P2A e P3A são apresentadas na Figura 29.

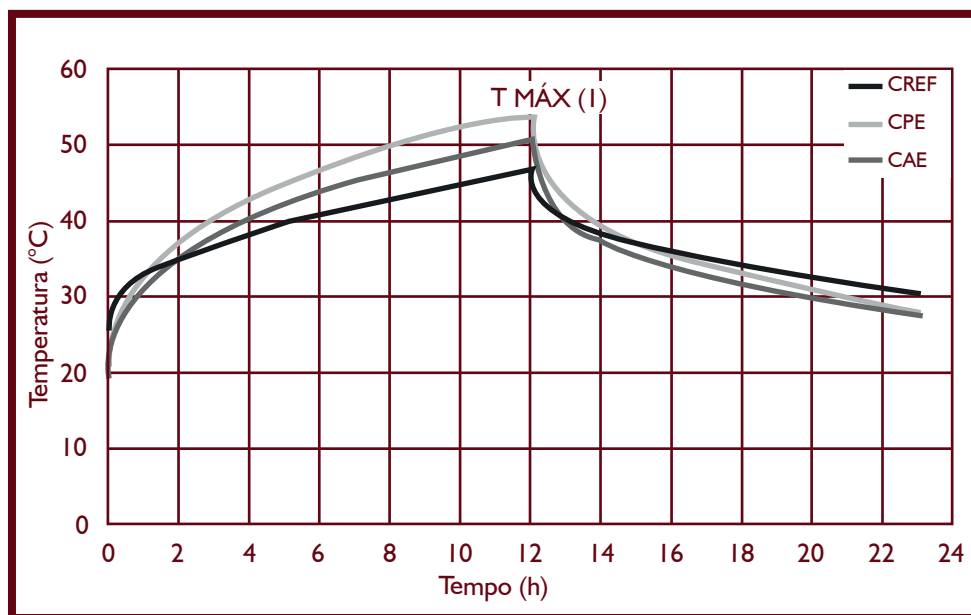


FIGURA 28: CURVAS TEMPERATURA X TEMPO DA FACE DO PAINEL COM INCIDÊNCIA DA FONTE DE CALOR.

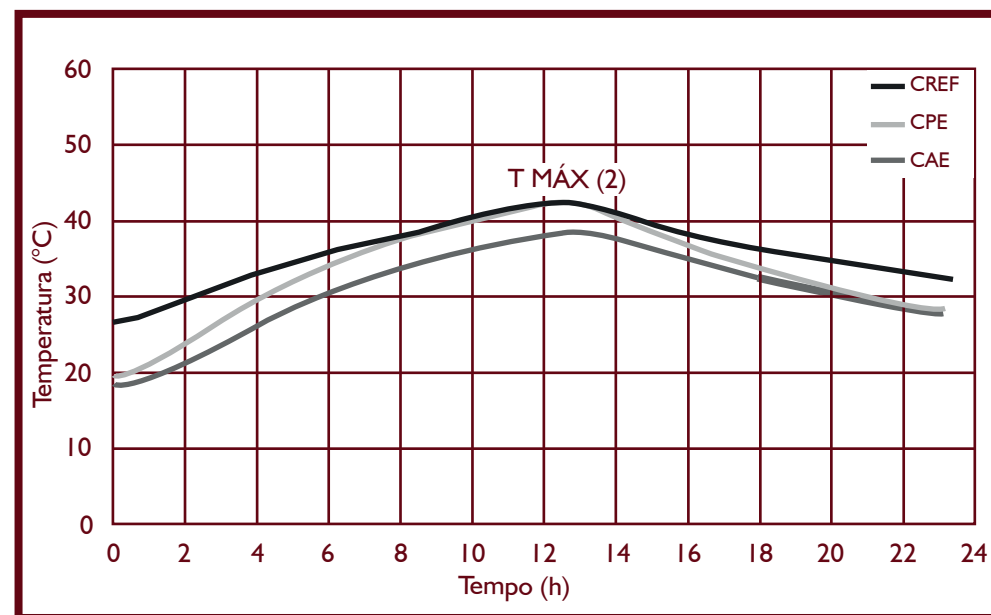


FIGURA 29: CURVAS TEMPERATURA X TEMPO DA FACE DO PAINEL SEM INCIDÊNCIA DA FONTE DE CALOR.

BENEFÍCIOS OBTIDOS

A Figura 30 apresenta os resultados extraídos das curvas das Figuras 28 e 29. Os resultados das três primeiras colunas de cada gráfico da Figura 30 são valores obtidos a partir da diferença entre a temperatura Máx (1) e temperatura Máx (2), apontados nas figuras 28 e 29, ou seja, quando o ambiente 2, foi aquecido com lâmpadas de 40watts (primeiro gráfico da Figura 30), o painel produzido com concreto referência (CREF) apresentou uma diferença de temperatura de 4,08°C, ao se analisar a amplitude máxima de temperatura entre cada face do painel, em seus respectivos ambientes 1 e 2. Análise similar é feita para os concretos CAE e CPE, cujos valores estão apresentados na Figura 30. Com estes dados é possível evidenciar que quanto menor é esse valor, menos isolante é o material.

Com base nos valores apresentados das primeiras colunas de cada gráfico da figura 31, foi feito um comparativo entre cada concreto leve em relação ao concreto referência. De acordo com os gráficos é possível observar o benefício térmico dos painéis produzidos com agregados leves. Como descrito no parágrafo anterior, os concretos com agregados leves, denominados como CAE e CPE, mostraram maior isolamento, uma vez que a diferença obtida entre as duas faces de cada painel, individualmente, foi de 8,59°C e 6,6°C, respectivamente, enquanto o resultado para o concreto referência foi de 4,08°C, no teste com a lâmpada de 40watts.

Analisando somente os concretos leves, tem-se que o benefício do concreto com argila expandida foi 77% superior em relação ao concreto com poliestireno expandido. Tal entendimento foi feito a partir da diferença de temperatura 8,59°C do concreto de argila expandida pelo valor de temperatura 4,08°C do concreto referência, que resultou em uma temperatura igual a 4,51°C (CREF/CAE). Para o concreto com poliestireno expandido este resultado foi de 2,54°C (CREF/CPE, na Figura 31). Comportamento similar foi observado quando o ensaio foi realizado com lâmpadas de 70W, ou seja, o melhor desempenho térmico foi observado para o concreto produzido com argila expandida, porém com valores maiores de redução de temperatura, em relação ao concreto referência.

Ambos os materiais possuem características propícias ao isolamento térmico, uma vez que se expandem durante o seu processo de produção, tendo gases no seu interior e se caracterizando como um material com núcleo poroso. Em relação aos resultados encontrados, o melhor desempenho foi observado para o concreto com argila expandida, mas vale ressaltar que o concreto “CAE” foi produzido com a substituição total dos agregados convencionais (miúdos e grãos) por agregados leves, enquanto que o concreto “CPE” foi produzido com a substituição parcial de seus agregados (apenas agregado grão) pelo poliestireno expandido.

BENEFÍCIOS OBTIDOS

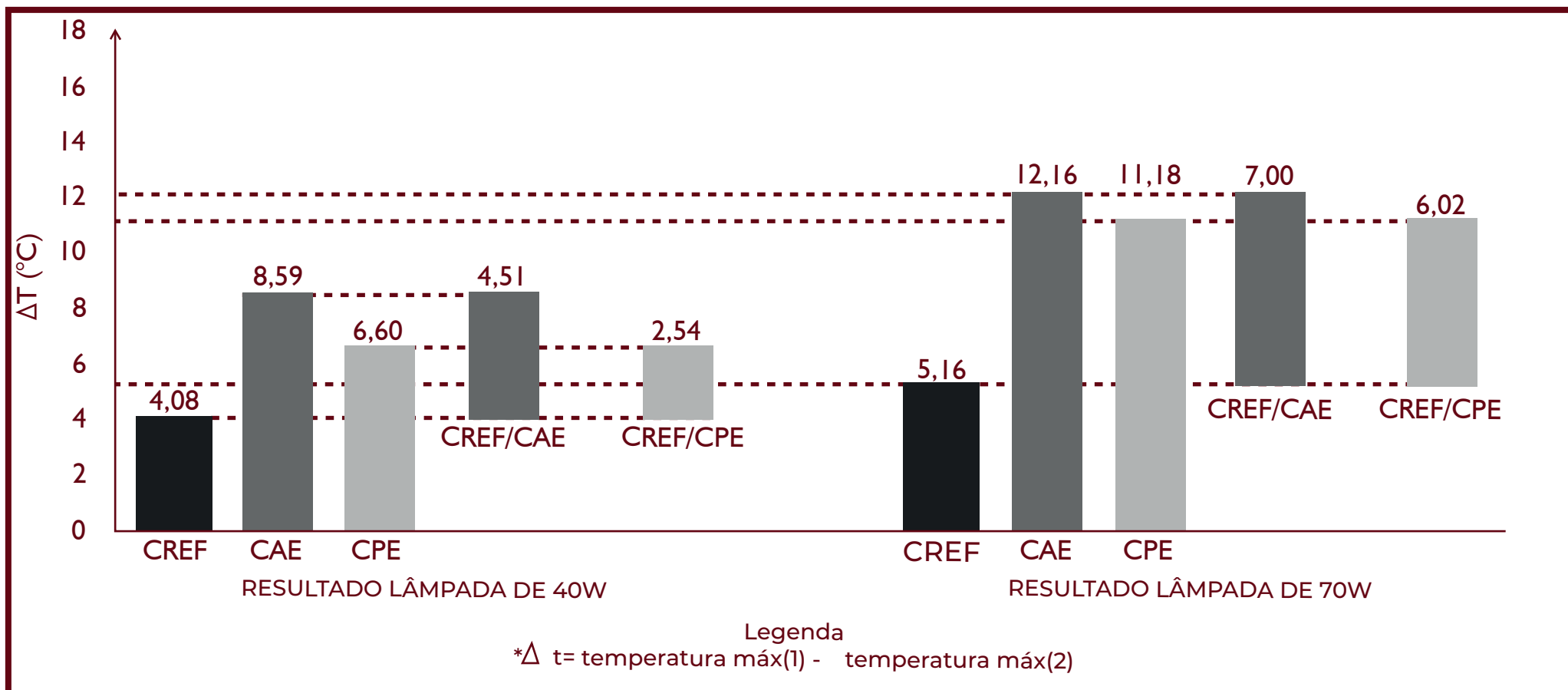


FIGURA 30: RESULTADO TÉRMICO COM A UTILIZAÇÃO DE LÂMPADAS DE 40W E 70W.

AMORTECIMENTO E ATRASO TÉRMICO

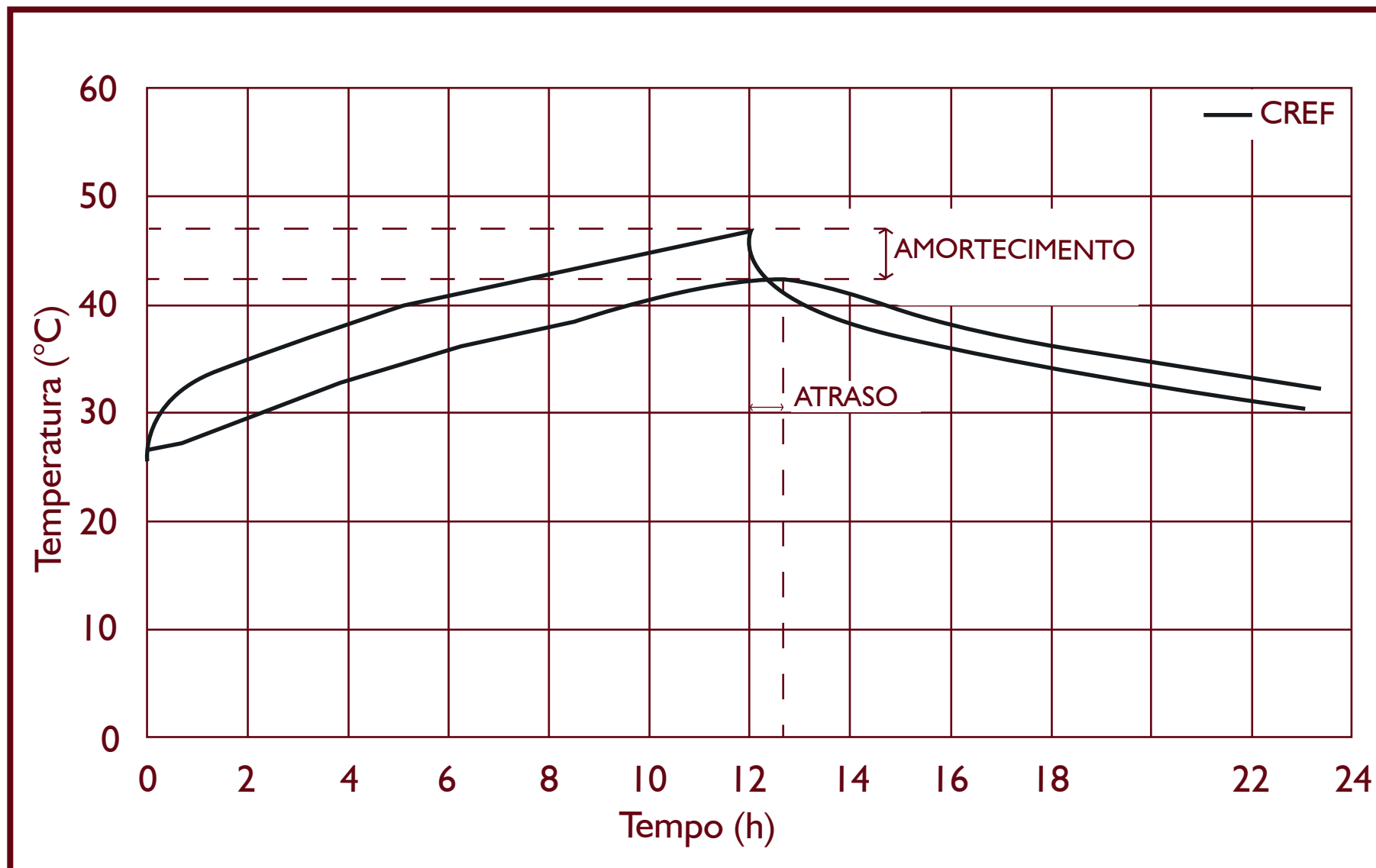


FIGURA 31: AMORTECIMENTO E ATRASO TÉRMICO DO CONCRETO REFERÊNCIA.

AMORTECIMENTO E ATRASO TÉRMICO

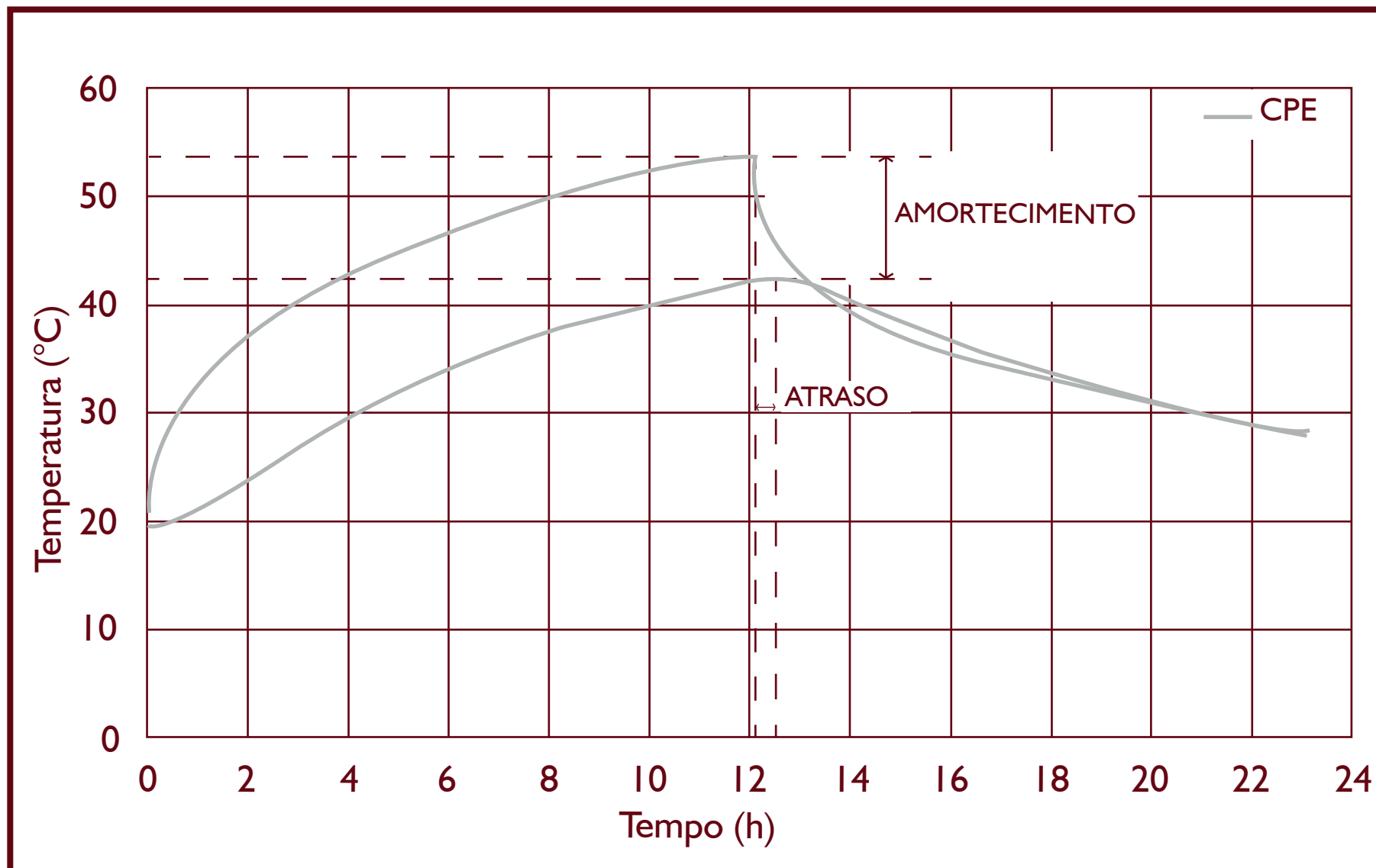


FIGURA 32: AMORTECIMENTO E ATRASO TÉRMICO DO CONCRETO COM POLIESTIRENO EXPANDIDO.

AMORTECIMENTO E ATRASO TÉRMICO

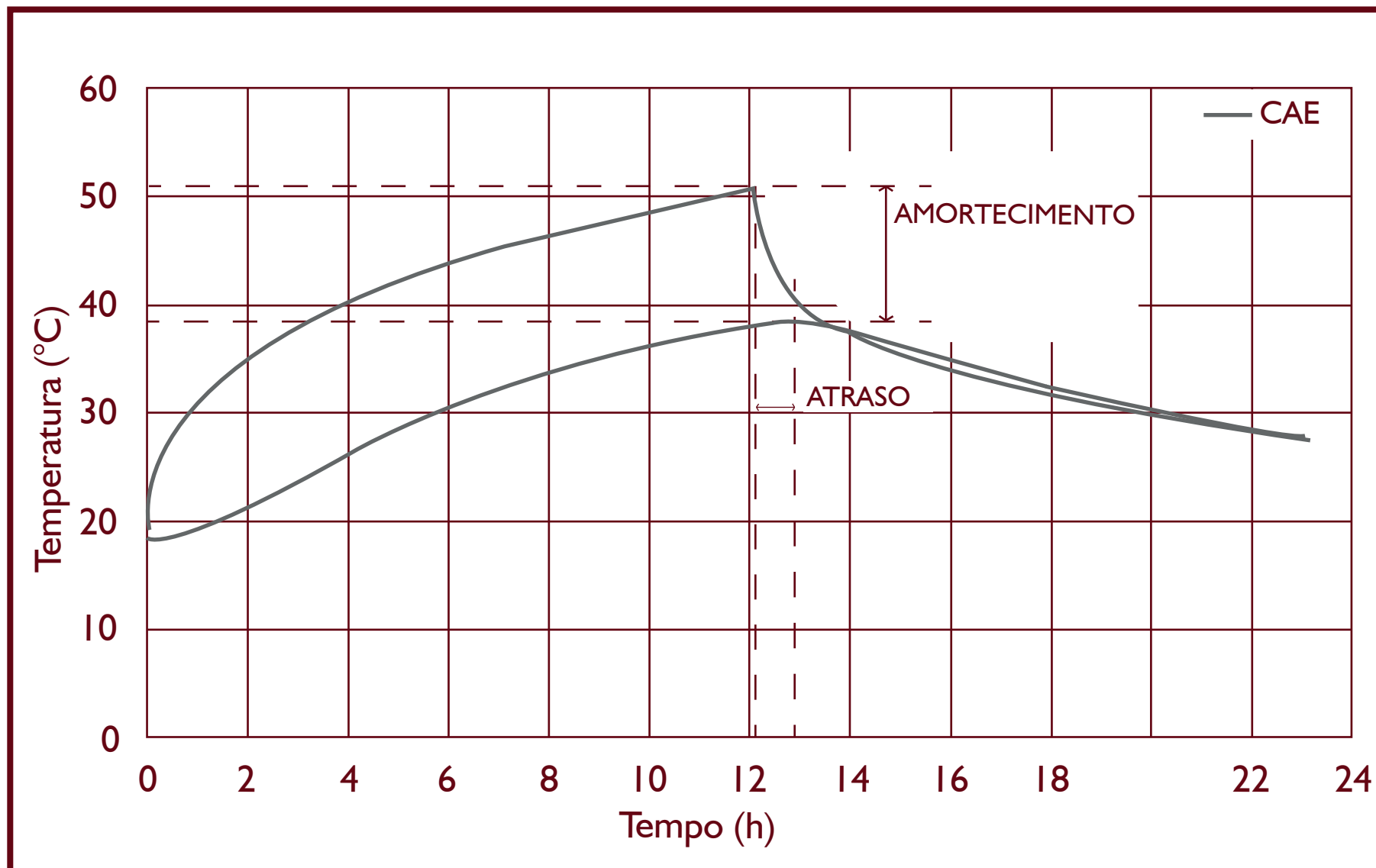


FIGURA 33: AMORTECIMENTO E ATRASO TÉRMICO DO CONCRETO COM ARGILA EXPANDIDA.

AMORTECIMENTO E ATRASO TÉRMICO

Nas figuras 31, 32 e 33 podem ser observados e comparados os valores máximos de temperaturas para os ambientes 1 e 2 em cada um dos ensaios. O amortecimento térmico é o valor da temperatura em °C, enquanto que o atraso ou retardo térmico é o tempo que leva uma diferença térmica ocorrida num dos meios para manifestar-se na superfície oposta do fechamento. Conforme explica Frota e Schiffer (2003), estes conceitos estão diretamente ligados à inércia térmica, que é a capacidade que os corpos possuem em permanecer no estado que se encontram, indicando uma persistência da temperatura, ou seja, independente das altas temperaturas no exterior da edificação, se ela apresentar uma pequena variação, terá uma grande inércia térmica, logo quanto maior o amortecimento e o atraso térmico, maior será a inércia térmica.

Na tabela 4, observa-se que a temperatura máxima para o Ambiente 2 é superior nos ensaios com concreto leve do que o concreto convencional. Logo, pressupõe-se que essa diferença de temperatura é devido a utilização dos materiais leves, uma vez que são isolantes térmicos, com alta resistência térmica, dificultando a passagem de calor no sentido AMB2 ---- AMB1, levando a maiores temperaturas no ambiente 2, uma vez que o calor está retido.

TABELA 4: AMORTECIMENTO E ATRASO TÉRMICO DOS CONCRETOS

AMBIENTES	CPE			CAE			CREF		
	TEMPERATURA MÁXIMA °C	AMORTECIMENTO TÉRMICO °C	ATRASO TÉRMICO	TEMPERATURA MÁXIMA °C	AMORTECIMENTO TÉRMICO °C	ATRASO TÉRMICO	TEMPERATURA MÁXIMA °C	AMORTECIMENTO TÉRMICO °C	ATRASO TÉRMICO
AMB2	53,95	11,00	40 MINUTOS	52,95	9,00	40 MINUTOS	47,95	4,00	30 MINUTOS
AMB1	42,95			43,95			43,95		

9

PERCORSO DELIBERATIVO

OBJETO DE ESTUDO

A tipologia habitacional analisada corresponde a um dos modelos representativos de habitações de interesse social multifamiliar do Programa Minha Casa Minha Vida, referente a faixa 1, localizado no Bairro de Senador Camará, no estado do Rio de Janeiro.



FIGURA 34: MAPA COM A LOCALIZAÇÃO DA REGIÃO NO PAÍS ONDE O OBJETO DE ESTUDO ESTÁ LOCALIZADO
FONTE: ADAPTADO DE GOOGLE EARTH



FIGURA 35: MAPA COM A LOCALIZAÇÃO DA REGIÃO NO ESTADO ONDE O OBJETO DE ESTUDO ESTÁ LOCALIZADO
FONTE: ADAPTADO DE GOOGLE EARTH

OBJETO DE ESTUDO

Na Imagem 36 podemos notar a localização desde o bairro, passando pela apresentação do condomínio e finalizando na demarcação do bloco, onde está localizado o apartamento escolhido a ser analisado.

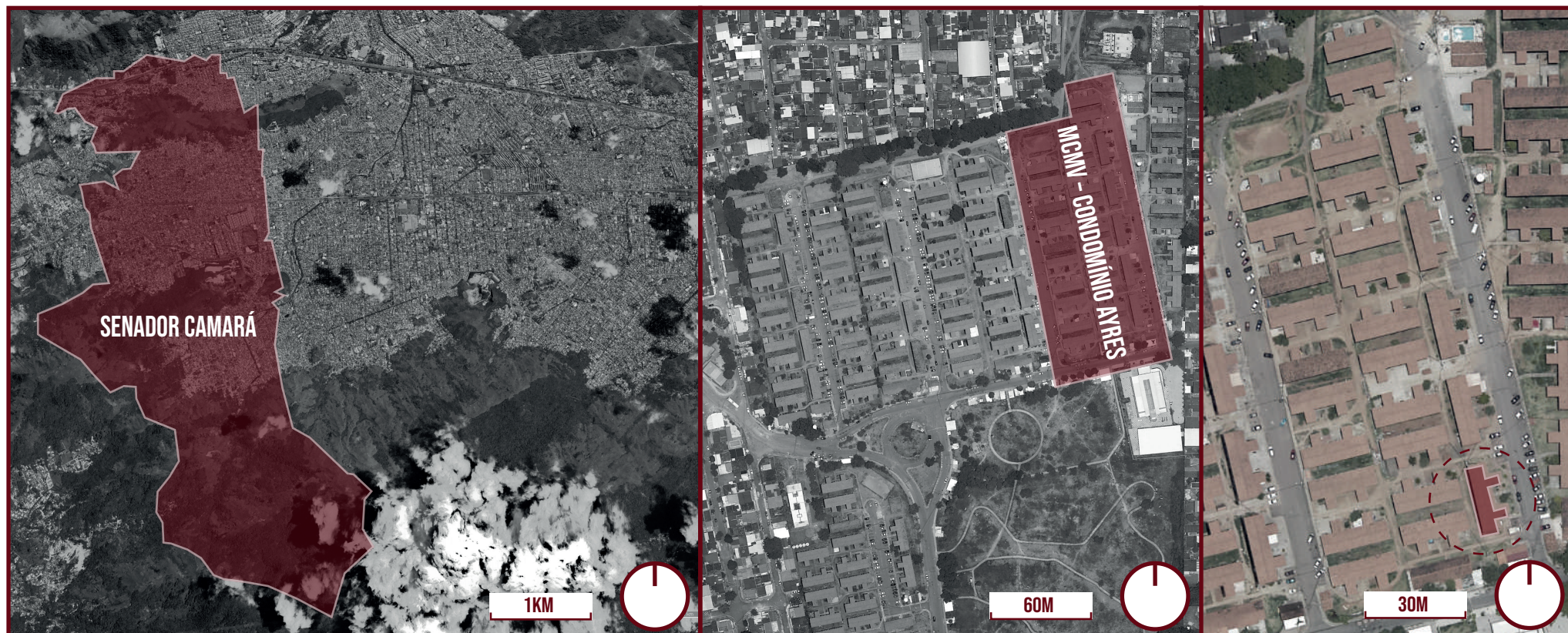


FIGURA 36: MAPAS COM A APROXIMAÇÃO DESDE O BAIRRO DE SENADOR CAMARÁ ATÉ A DEMARCAÇÃO DO BLOCO ESCOLHIDO ONDE ESTÁ LOCALIZADO O APARTAMENTO A SER ANALISADO
FONTE: ADAPTADO DE GOOGLE EARTH

TIPOLOGIA HABITACIONAL ANALISADA

Na Figura 37, podemos notar a precariedade do condomínio analisado, além da padronização do mesmo, mais uma vez sem ter sido articulado de encontro com o clima local.



FIGURA 37: IMAGENS DO CONJUNTO HABITACIONAL MULTIFAMILIAR AYRES, LOCALIZADO NA RUA PERY RIBEIRO EM SENADOR CAMARÁ
FONTE: JORNAL EXTRA

TIPOLOGIA HABITACIONAL ANALISADA

A tipologia habitacional analisada é composta por 4 pavimentos tipos. Sendo assim, foram escolhidos dois apartamentos para serem analisados conforme a demarcação na Figura 38. Inicialmente foi optado por analisar o apartamento localizado no último andar do bloco devida a sua orientação mais crítica dentre todos os outros, uma vez que o mesmo conta com a cobertura e isso possui influência direta na interferência solar. Posteriormente, foi escolhido também o apartamento imediatamente abaixo do 4º andar, pois o mesmo não teria influência da cobertura e assim resultaria em comparativos com o apartamento superior.

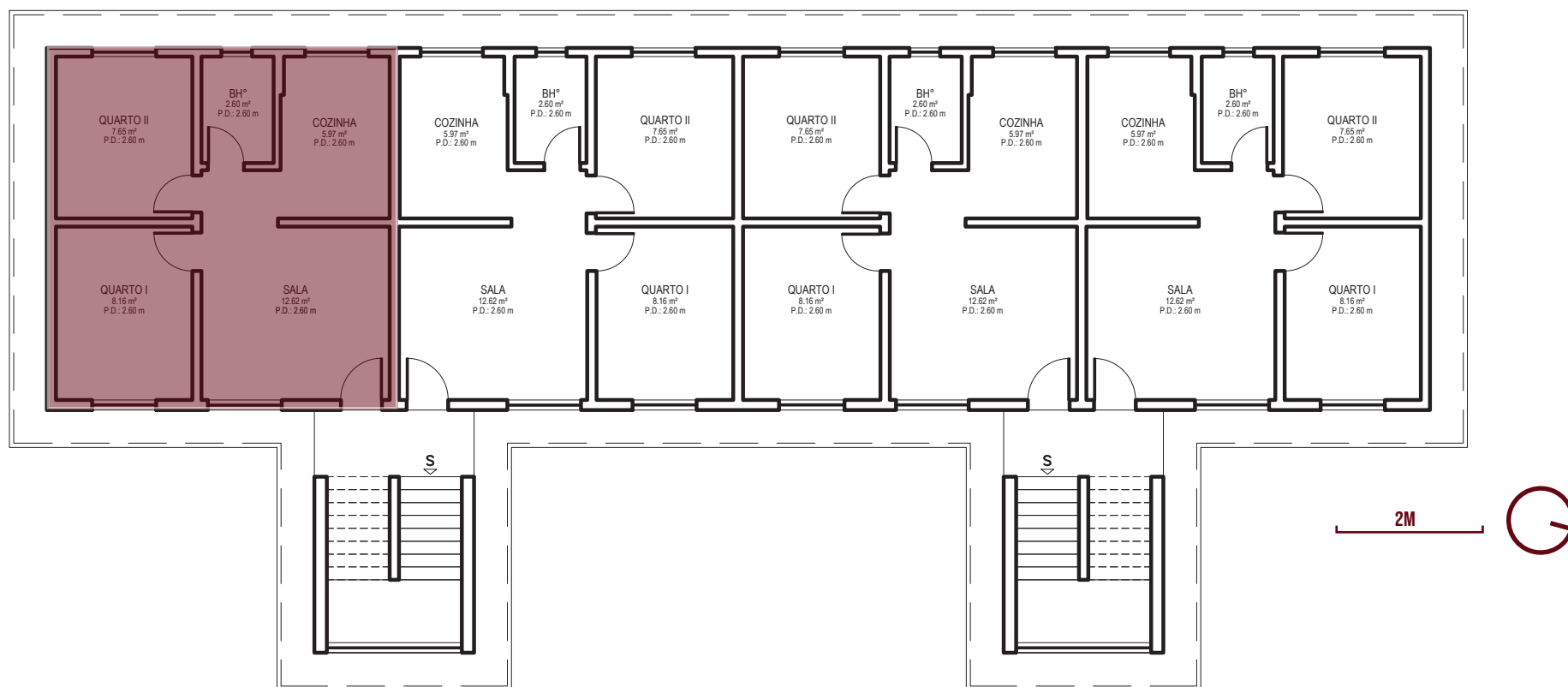


FIGURA 38: PLANTA DO PAVIMENTO TIPO DO OBJETO DE ESTUDO
FONTE: ADAPTADO DO PROJETO LEGAL FORNECIDO PELA CAIXA ECONÔMICA FEDERAL

TIPOLOGIA HABITACIONAL ANALISADA

TABELA 5: CARACTERÍSTICAS DO PROJETO DO OBJETO DE ESTUDO
FONTE: ADAPTADO DO PROJETO LEGAL FORNECIDO PELA CAIXA ECONÔMICA FEDERAL

COMPONENTES		DIMENSÕES
JANELAS	SALA (2 FOLHAS DE CORRER)	1,40X1,20M (FATOR DE VENTILAÇÃO 0,45)
	QUARTOS (2 FOLHAS DE CORRER)	1,20X1,20M (FATOR DE VENTILAÇÃO 0,45)
	COZINHA (2 FOLHAS DE CORRER)	1,20X1,20M (FATOR DE VENTILAÇÃO 0,45)
	BANHEIRO (BÁSCULA)	0,60X0,60M (FATOR DE VENTILAÇÃO 0,70)
PORTAS	ENTRADA - SALA (PORTA EM MADEIRA)	0,80X2,10M
	QUARTOS (PORTA EM MADEIRA)	0,70X2,10M
	BANHEIRO (PORTA EM MADEIRA)	0,70X2,10M
PÉ-DIREITO		2,60M

A tipologia habitacional analisada apresenta uma forma linear e possui quatro pavimentos tipo, cada um com quatro unidades por andar (totalizando dezesseis unidades). Além disso, conforme a Figura 41 os apartamentos possuem dois dormitórios, um banheiro e sala integrada com cozinha, totalizando uma área de 37m². A Tabela 5 apresenta algumas especificações básicas sobre as esquadrias que compõem o projeto, e o pé direito adotado para o apartamento.

O COMPORTAMENTO DO CLIMA EM SENADOR CAMARÁ

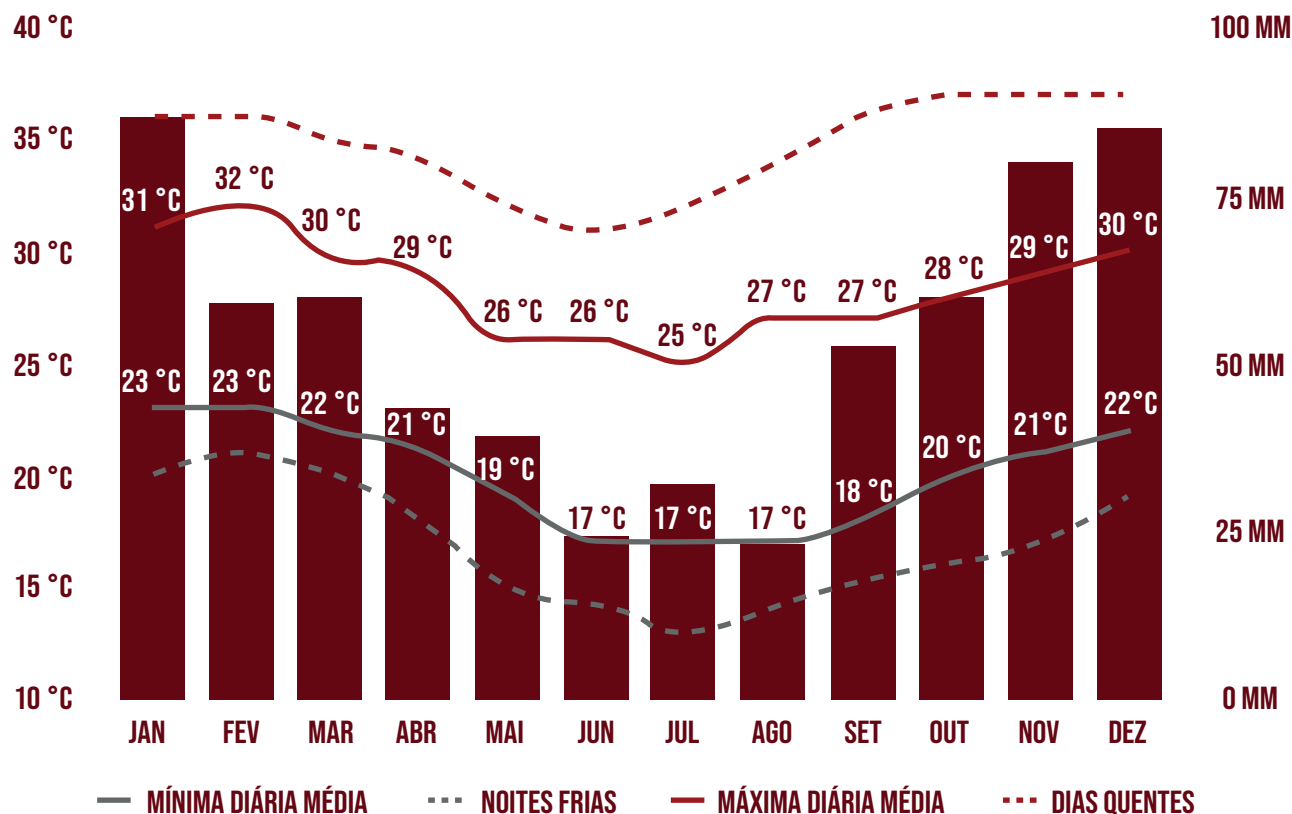


FIGURA 39: TEMPERATURAS E PRECIPITAÇÕES MÉDIAS DE SENADOR CAMARÁ
FONTE: ADAPTADO DO METOBLUE

Senador Camará é conhecido como um bairro por ter altas temperaturas. Na Figura 39 podemos notar que as maiores temperaturas se concentram no intervalo de Dezembro a Março. A "máxima diária média" (linha vermelha contínua) mostra a média da temperatura máxima de um dia para cada mês. Da mesma forma, "mínima diária média" (linha cinza contínua) mostra a média da temperatura mínima. Os dias quentes e noites frias (linhas vermelhas e cinzas tracejadas) mostram a média do dia mais quente e da noite mais fria de cada mês nos últimos 30 anos.

O COMPORTAMENTO DO CLIMA EM SENADOR CAMARÁ

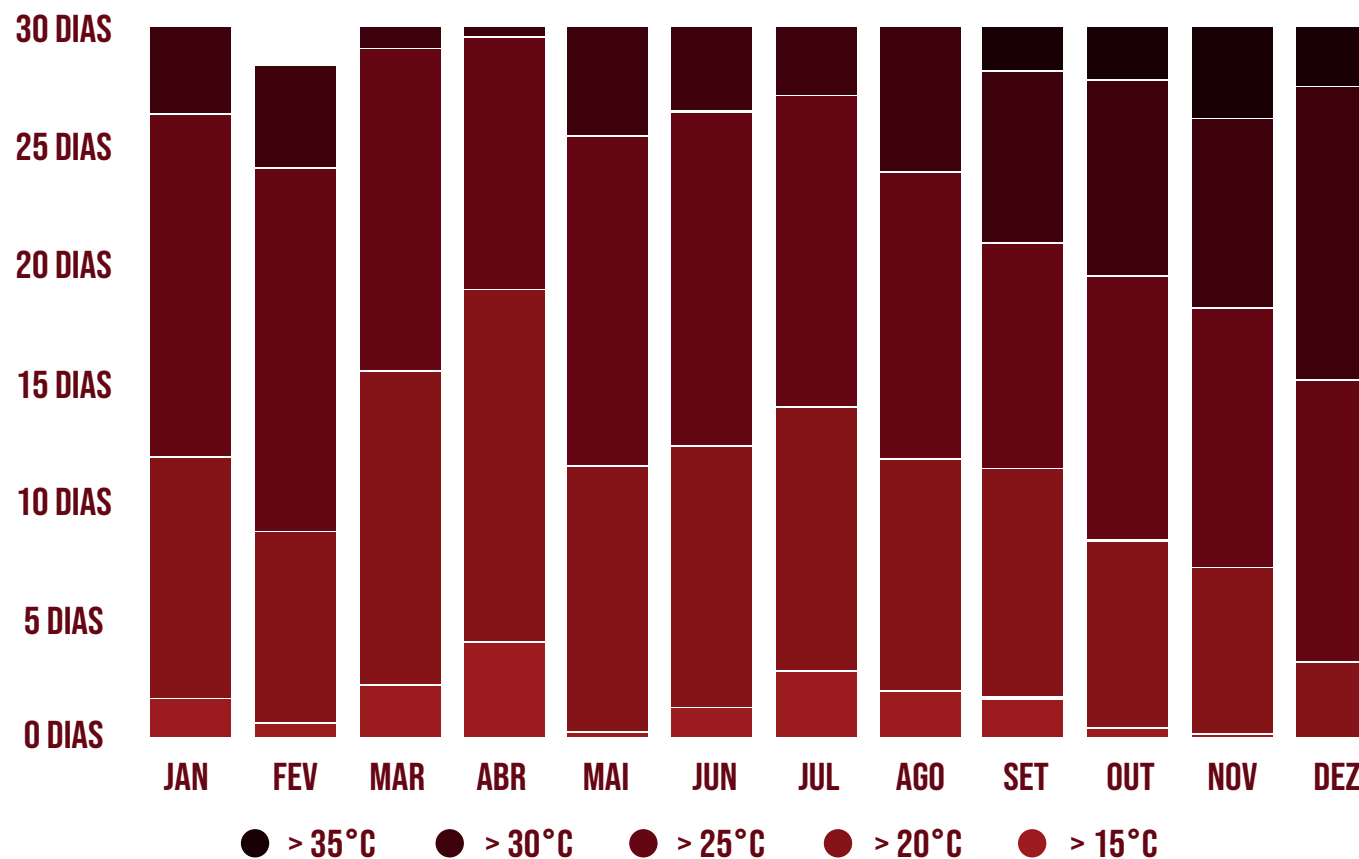


FIGURA 40: TEMPERATURAS MÁXIMAS
FONTE: ADAPTADO DO METOBLUE

A Figura 40 apresenta as temperaturas máximas durante o mês ao decorrer do ano e quantos dias por mês atingem determinadas temperaturas.

O COMPORTAMENTO DO CLIMA EM SENADOR CAMARÁ

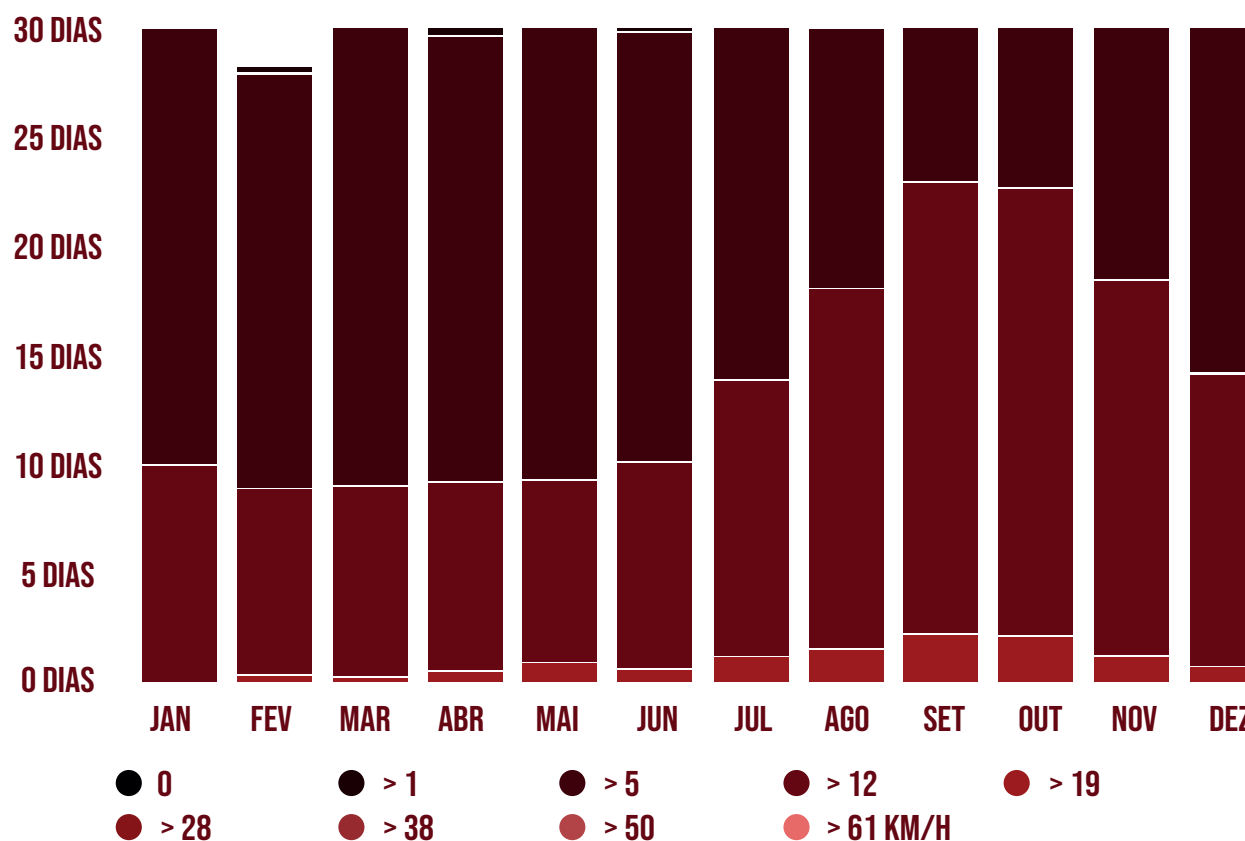


FIGURA 41: VELOCIDADE DO VENTO
FONTE: ADAPTADO DO METOBLUE

A Região fica entre dois grandes maciços que são o Maciço da Pedra Branca e do Gericinó com mais de mil metros de altitude. Com isso, a ocupação urbana intensa, essa localização gera condições mais quentes, uma vez que a circulação de ar é dificultada pelos maciços que se tornam barreiras, além por ter muito concreto e pouca arborização. A Figura 41 mostra os dias por mês, durante os quais o vento atinge certas velocidades.

PARÂMETROS DA SIMULAÇÃO

ZB8 - Cidade: Rio de Janeiro (RJ)		
Eficiência	EqNumEnvResfr	Método da Simulação Arquivo TRY
A	5	$G_{Hr} \leq 4159$
B	4	$4159 < G_{Hr} \leq 6686$
C	3	$6686 < G_{Hr} \leq 8548$
D	2	$8548 < G_{Hr} \leq 10714$
E	1	$10714 < G_{Hr}$

TABELA 6: LIMITES DE CLASSIFICAÇÃO DOS VALORES EM GHR PARA A CIDADE DO RIO DE JANEIRO, UTILIZANDO ARQUIVO CLIMÁTICO TRY, DE ACORDO COM O MÉTODO DA SIMULAÇÃO DO RTQ-R
FONTE: ADAPTADO DE BRASIL, 2012

A análise foi feita com base no método de simulação proposto pelo Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) (Brasil, 2012). Como já dito anteriormente, a Cidade do Rio de Janeiro pertence à Zona Bioclimática 8, e com isso a avaliação dos concretos produzidos será feita apenas para as condições de verão enquanto ventiladas naturalmente sem considerar o cálculo do consumo relativo de energia para refrigeração (Cr). Sendo assim, será calculado o EqNumEnvResfr para dois apartamentos, o apartamento do 4º andar, intitulado como 401, (Figura 45), uma vez que esta contempla o telhado e assim é vista como mais crítica e o apartamento do 3º andar, intitulado como 301, uma vez que não possui influência da cobertura e servirá de comparação ao apartamento 401. Além disso, os resultados das análises serão classificados de acordo com limites pré-determinados informados na tabela 6.

MÉTODO DA SIMULAÇÃO

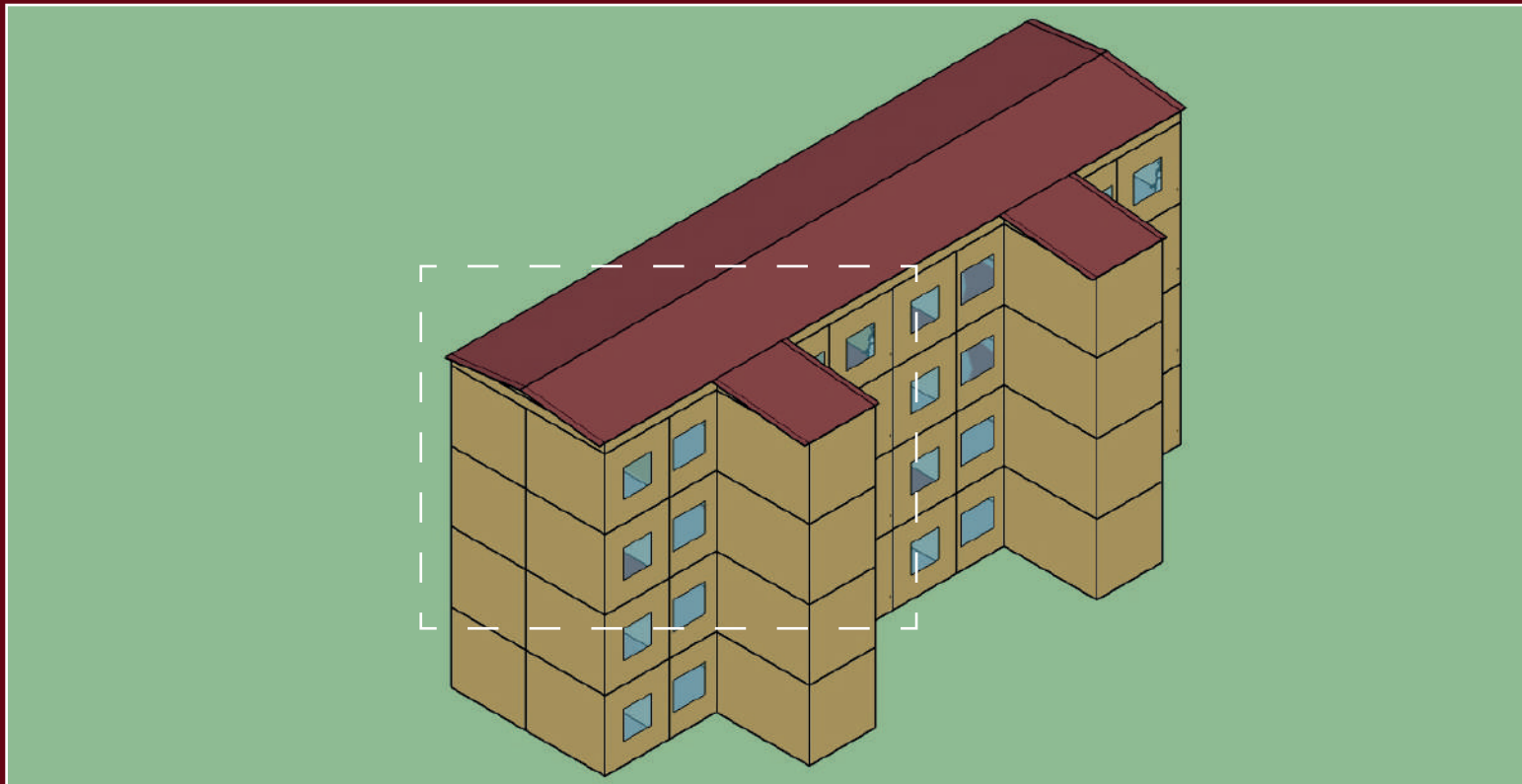


FIGURA 42: MODELO DA TIPOLOGIA HABITACIONAL ANALISADA PARA SIMULAÇÃO
FONTE: AUTOR

O programa utilizado para a simulação termo-energética foi o EnergyPlus versão 8.7 (DOE, 2017). Para a modelagem da tipologia habitacional analisada foi utilizado o plug-in Euclid para o programa Sketchup 2016. Na Figura 42 é visto o bloco onde se encontram os apartamentos.

MÉTODO DA SIMULAÇÃO

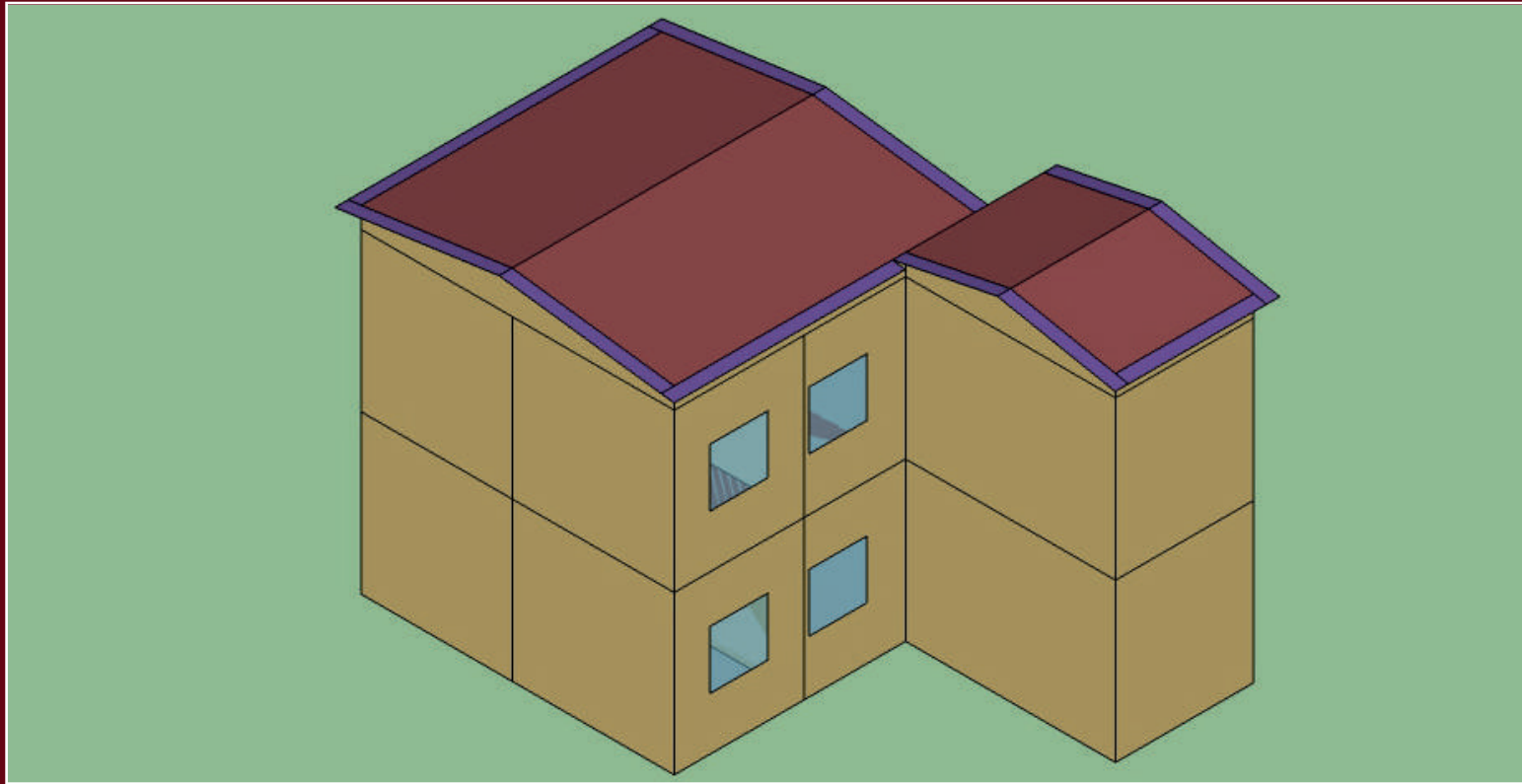


FIGURA 43: TIPOLOGIA MODELADA PARA A ANÁLISE
FONTE: AUTOR

Na Figura 43, é apresentado a modelagem feita para a realização da análise. O método de modelagem e especificação de informações para a geração de resultados foi escolhido de forma que apenas os apartamentos avaliados (do 4º e 3º andar, além das caixas de escadas dos respectivos andares) foram modelados, pois as superfícies de contato com os outros apartamento foram inseridas como adiabáticas, para que o software gerasse menos variáveis, facilitando assim a análise e limitando o risco de erros.

PARÂMETROS DA SIMULAÇÃO

TABELA 7: PADRÃO DE OCUPAÇÃO
FONTE: AUTOR

Hora	Dormitórios		Salas	
	Dias de Semana (%)	Final de Semana (%)	Dias de Semana (%)	Final de Semana (%)
1h	100	100	0	0
2h	100	100	0	0
3h	100	100	0	0
4h	100	100	0	0
5h	100	100	0	0
6h	100	100	0	0
7h	100	100	0	0
8h	0	100	0	0
9h	0	100	0	0
10h	0	50	0	0
11h	0	0	0	25
12h	0	0	0	75
13h	0	0	0	0
14h	0	0	25	75
15h	0	0	25	50
16h	0	0	25	50
17h	0	0	25	50
18h	0	0	25	25
19h	0	0	100	25
20h	0	0	50	50
21h	50	50	50	50
22h	100	100	0	0
23h	100	100	0	0
24h	100	100	0	0

TABELA 8: PADRÃO DE USO DA ILUMINAÇÃO
FONTE: AUTOR

Hora	Dormitórios		Salas	
	Dias de Semana (%)	Final de Semana (%)	Dias de Semana (%)	Final de Semana (%)
1h	0	0	0	0
2h	0	0	0	0
3h	0	0	0	0
4h	0	0	0	0
5h	0	0	0	0
6h	0	0	0	0
7h	100	0	0	0
8h	0	0	0	0
9h	0	100	0	0
10h	0	0	0	0
11h	0	0	0	100
12h	0	0	0	100
13h	0	0	0	0
14h	0	0	0	0
15h	0	0	0	0
16h	0	0	0	0
17h	0	0	100	100
18h	0	0	100	100
19h	0	0	100	100
20h	0	0	100	100
21h	100	100	100	100
22h	100	100	0	0
23h	0	0	0	0
24h	0	0	0	0

PADRÃO DE OCUPAÇÃO

SALA:

Todos os usuários.

DORMITÓRIO:

2 pessoas.

TOTAL:

4 pessoas.

PADRÃO DE ILUMINAÇÃO

0%:

Iluminação desligada.

100%:

Iluminação sendo utilizada.

As análises foram feitas de acordo com o arquivo climático para a cidade do Rio de Janeiro, cujos os dados foram obtidos da estação meteorológica localizada no Aeroporto Internacional do Galeão.

PARÂMETROS DA SIMULAÇÃO

TABELA 9: PROPRIEDADES DOS MATERIAIS NAS SIMULAÇÕES
FONTE: CALCULADOS DE ACORDO COM A NBR 15220.

Elementos	Absortância	Espessura Equivalente	Condutividade	Densidade Equivalente	Calor Específico
Telha Cerâmica	0,7	0,02	1,00	1800	920
Laje de Concreto	0,27	0,1	1,75	2400	1000
Porta em Madeira	0,9	0,03	0,12	400	2300
Parede de Concreto com Argila Expandida	0,5	0,1	0,65	1300	1000
Parede de Concreto com Pérolas de EPS	0,04	0,1	0,85	1250	1420

Para a realização das simulações computacionais faz-se necessária a inserção dos valores referentes às propriedades termofísicas dos materiais presentes na envoltória de uma edificação.

Os materiais utilizados foram os mesmos analisados enquanto na pesquisa de iniciação científica (argila expandida e pérolas de EPS) uma vez que o concreto com argila expandida é estrutural. Já, o concreto com pérolas foi mantido com o intuito comparativo, por mais que sejam apenas para vedações.

Vale salientar que as simulações foram feitas apenas para uma única orientação, logo se a orientação muda os resultados irão acompanhar seu deslocamento. Além disso, não foi considerada a temperatura do solo, como normalmente se faria para o conjunto inteiro.

Os valores das propriedades dos materiais empregados nas simulações podem ser verificados na Tabela 9.

10

**PERCURSO
ANALÍTICO**

— RESULTADOS E DISCUSSÕES

O capítulo Percurso Analítico servirá para apresentar os resultados relativos ao desempenho termoenergético observado para a tipologia habitacional simulada. A discussão leva em consideração os diferentes materiais empregados na confecção dos concretos leves adotados como alternativa às vedações em concreto convencional - utilizado tradicionalmente em tipologias do Programa MCMV. Vale ressaltar que as respostas obtidas são oriundas de uma série de variáveis, não sendo exclusivas das vedações em concreto leve. Nesse sentido, características geométricas do objeto, orientação das fachadas, propriedades do demais componentes da envoltória como as esquadrias e as coberturas são informações relevantes para as determinações a serem discutidas. Deste modo, foi estabelecido que as variações de resultados obtidas entre as simulações são consequências da diferença entre as propriedades termofísicas apresentadas por tais materiais. Cabe ressaltar ainda, considerando a planta do pavimento tipo (ver Figura 38) e a tipologia habitacional empregada (ver Figuras 42 e 43), que as unidades localizadas nas extremidades do edifício tendem a apresentar desempenho térmico - em seu interior - inferior ao das unidades centrais, uma vez que há maior área de superfície (vedação) da envoltória exposta ao ambiente. Deste modo, considerou-se, para a simulação e análise, uma unidade de habitação no quarto e último pavimento - que terá influência direta da cobertura -, com fachadas orientadas a noroeste, nordeste e sudoeste, sendo esta última uma empena cega. Por fim, considerou-se também a simulação da unidade imediatamente inferior, sem impacto direto da cobertura adotada, a fim de confrontar os resultados.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir, nas tabelas 10, 11 e 12 são apresentados os resultados de desempenho termo-energético obtidos nas unidades 301 e 401, considerando os diferentes materiais para vedação vertical (concreto convencional, com EPS e com argila expandida, respectivamente).

Podemos notar na Tabela 10 que os valores de Graus-hora para resfriamento (GHR) são altos e possuem a classificação mais baixa (D) para o apartamento 401 e intermediária (C) para o 301. Logo, podemos concluir que a cobertura nesse caso possui importante influência, visto os resultados.

Vale ressaltar que 80% das habitações de interesse social no estado do Rio de Janeiro são compostas por paredes maciças de concreto moldadas in loco, cujo os resultados são os mais problemáticos conforme tabela 10.

TABELA 10: RESULTADOS GERAIS EM GHR DOS PAVIMENTOS COM CONCRETO CONVENCIONAL
FONTE: AUTOR

Concreto Convencional (CREF)				
Und.	Sala	Quarto 1	Quarto 2	Habitação
301	8661	9944	9254	8247
	D	D	D	C
401	9886	10951	10194	9254
	D	E	D	D

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na tabela 11 é observado que diferente do concreto convencional, o concreto leve com poliestireno expandido possui resultados que reduziram os indicadores de GHR, sobretudo nos ambientes com maior carga térmica (quartos), alcançando valores próximos a classificação mais recomendada. Além disso, nota-se que mais uma vez os valores mais baixos são no pavimento, onde a cobertura não possui influência.

TABELA 11: RESULTADOS GERAIS EM GHR DOS PAVIMENTOS COM CONCRETO LEVE COM POLIESTIRENO EXPANDIDO
FONTE: AUTOR

Concreto com Pérolas de EPS (CPE)				
Und.	Sala	Quarto 1	Quarto 2	Habitação
301	5947	6699	6445	6227
	B	C	B	B
401	7918	8379	8037	7304
	C	C	C	C

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na tabela 12 podemos observar que em comparação ao concreto leve com poliestireno expandido, o concreto leve com argila expandida quando no apartamento 301, possui valores intensamente inferiores para a habitação, por mais que a classificação para ambos seja a mesma (B). No entanto, nota-se que em relação ao apartamento 401 esses valores são ligeiramente inferiores, resultando na mesma classificação (C).

TABELA 12: RESULTADOS GERAIS EM GHR DOS PAVIMENTOS COM CONCRETO LEVE COM ARGILA EXPANDIDA
FONTE: AUTOR

Concreto com Argila Expandida (CAE)				
Und.	Sala	Quarto 1	Quarto 2	Habitação
301	5287	6462	5955	5180
	B	B	B	B
401	7657	8542	8037	7209
	C	C	C	C

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 44 podem ser observados os resultados comparativos dos concretos no ambiente da Sala integrada com a Cozinha. Nela, podemos notar que o concreto convencional é o material mais problemático no último pavimento, uma vez que o mesmo possui influência da cobertura e não possui materiais que funcionam como isolantes térmicos. Podemos notar ainda que os materiais leves tornam o ambiente ainda mais confortável uma vez que está localizado no andar abaixo e não possui interferência da cobertura.

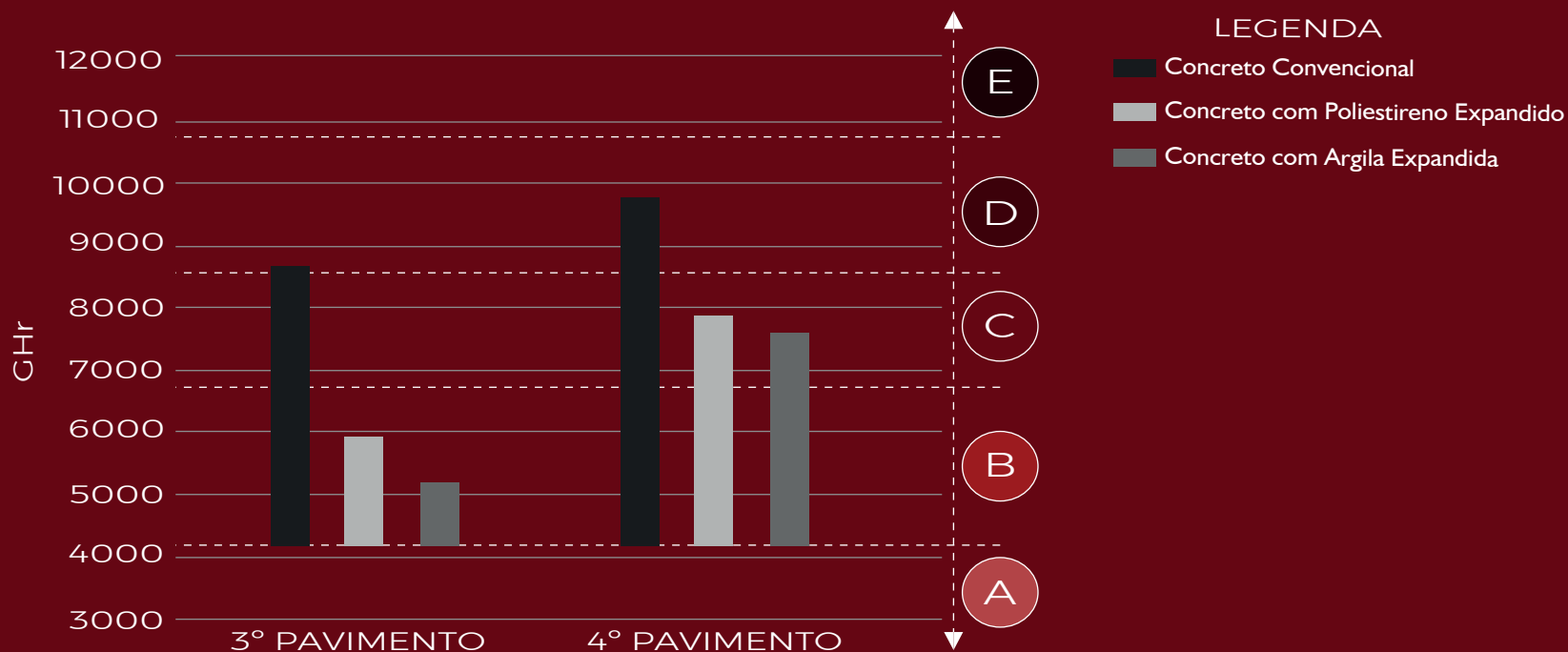


FIGURA 44: DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO EM GHR PARA OS DIFERENTES MATERIAIS NA SALA INTEGRADA COM A COZINHA
FONTE: AUTOR

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 45 apresenta os resultados dos materiais utilizados nos concretos enquanto no ambiente do Quarto 1. Podemos notar que diferente da Sala integrada com a Cozinha, os valores são um pouco maiores, uma vez que o Quarto possui área menor. Logo, a distribuição solar nesse ambiente é de forma menos regular, visto que o quarto possui também apenas uma abertura, dificultado de certa forma a ventilação natural, enquanto a sala integrada com a cozinha possui duas aberturas.

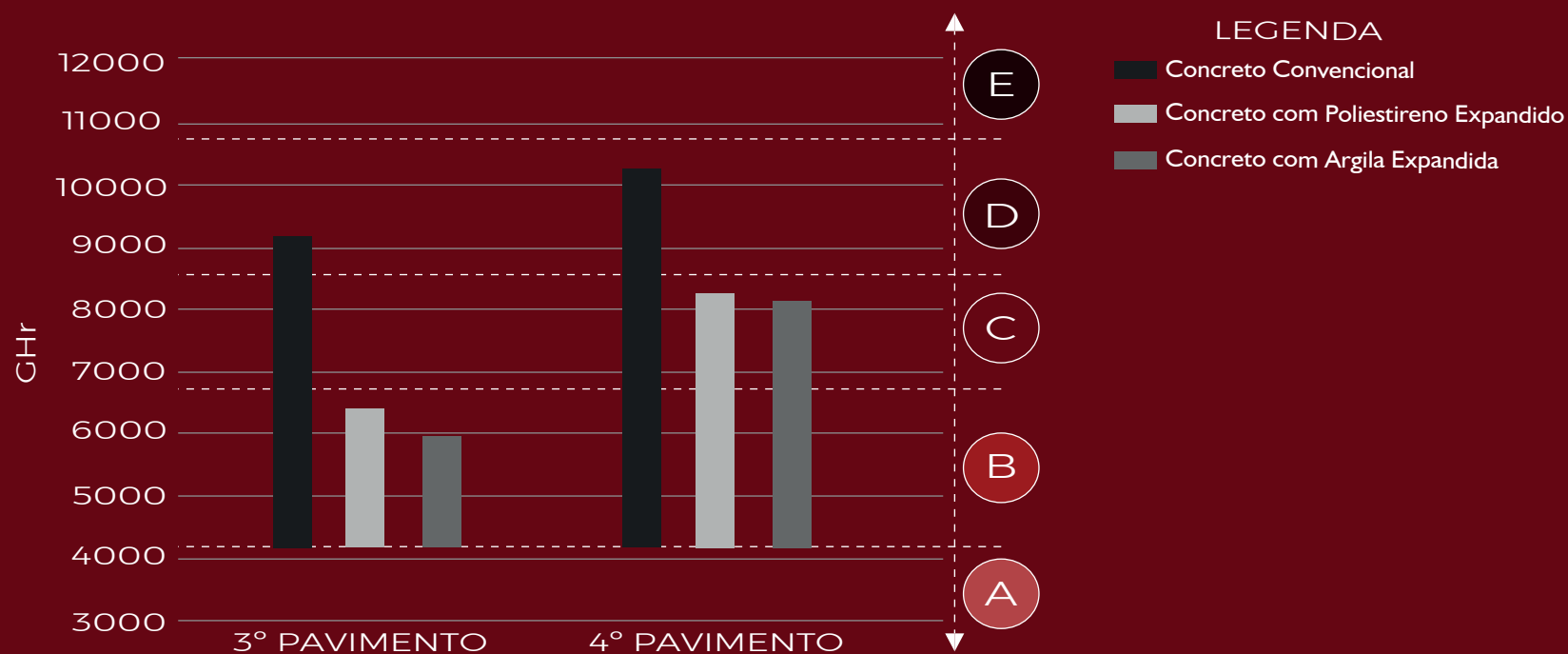


FIGURA 45: DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO EM GHR PARA OS DIFERENTES MATERIAIS NO QUARTO 1
FONTE: AUTOR

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Já na Figura 46 são expostos os resultados referentes ao Quarto 2. Em comparação com o Quarto 1, o Quarto 2 possui um conforto térmico superior, pois a sua localização em planta favorece a implantação do edifício enquanto norte. Sendo assim, o Quarto 2 recebe interferência solar da manhã, enquanto que o Quarto 1 recebe interferência solar na parte da tarde. Sobre os materiais, podemos destacar mais uma vez o material em argila expandida que independente em qual andar é incorporado, possui resultados superiores aos outros materiais.

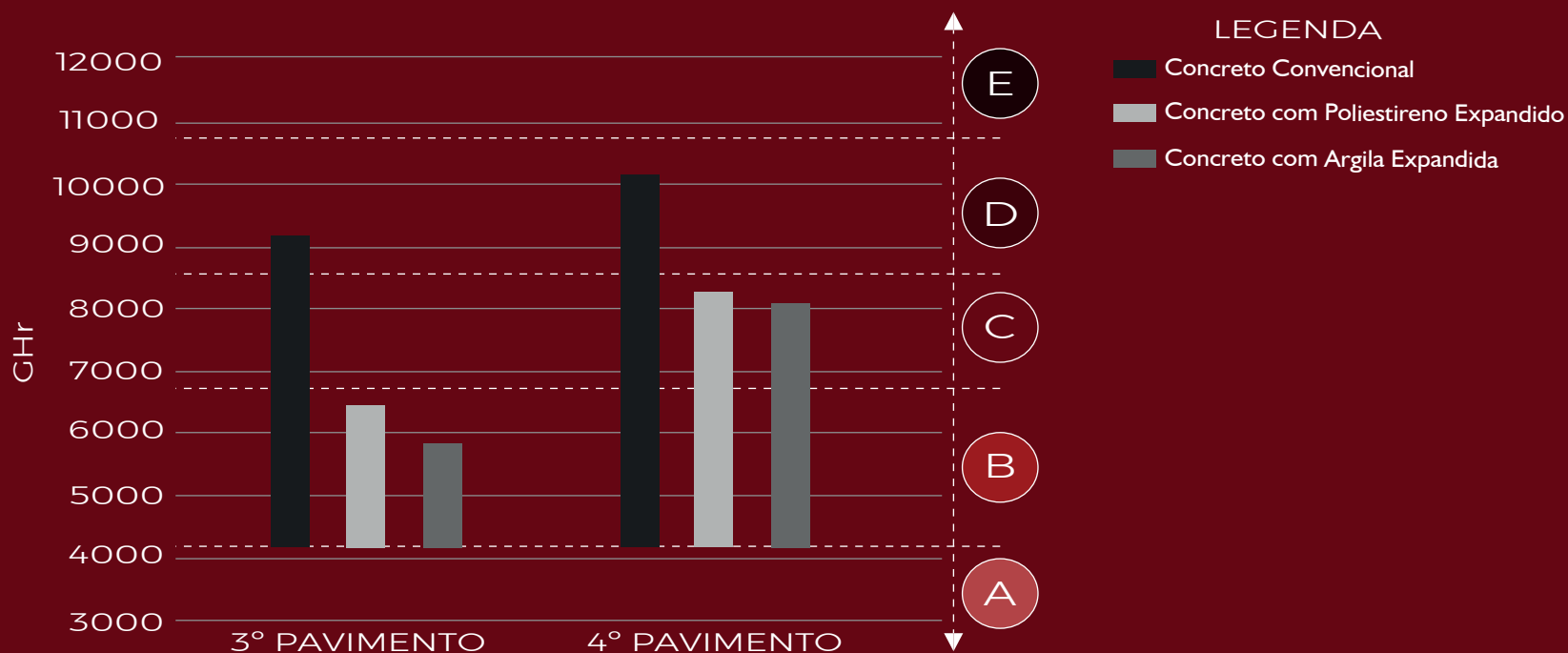


FIGURA 46: DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO EM GHR PARA OS DIFERENTES MATERIAIS NO QUARTO 2
FONTE: AUTOR

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 47 possui resultados da Unidade Habitacional, onde o resultados de todos os ambientes foram multiplicados pelas suas áreas e divididos pela área total do apartamento, de forma a entender a distribuição da interferência solar. Ambos os materiais possuem características propícias ao isolamento térmico, uma vez que se expandem durante o seu processo de produção, possuindo vazios no seu interior e se caracterizando como um material com núcleo poroso. Em relação aos resultados encontrados, o melhor desempenho foi observado para o concreto com argila expandida, mas vale ressaltar que o concreto “CAE” foi produzido com a substituição total dos agregados convencionais (miúdos e graúdos) por agregados leves, enquanto que o concreto “CPE” foi produzido com a substituição parcial de seus agregados (apenas agregado graúdo) pelo poliestireno expandido, influenciando assim na massa específica do material, logo em sua densidade também, o que reverbera nos resultados.

Os concretos com incorporação de agregados leves se enquadram na classificação de concreto leve e estrutural para aqueles produzidos com argila expandida e os ensaios térmicos demonstraram a capacidade de isolamento térmico do concreto leve, uma vez que proporcionou ganhos consideráveis de redução de temperatura em comparação ao concreto convencional.

A redução de carga térmica transferida para o interior das edificações pode resultar em economia de energia, uma vez que a climatização dos ambientes também será reduzida.

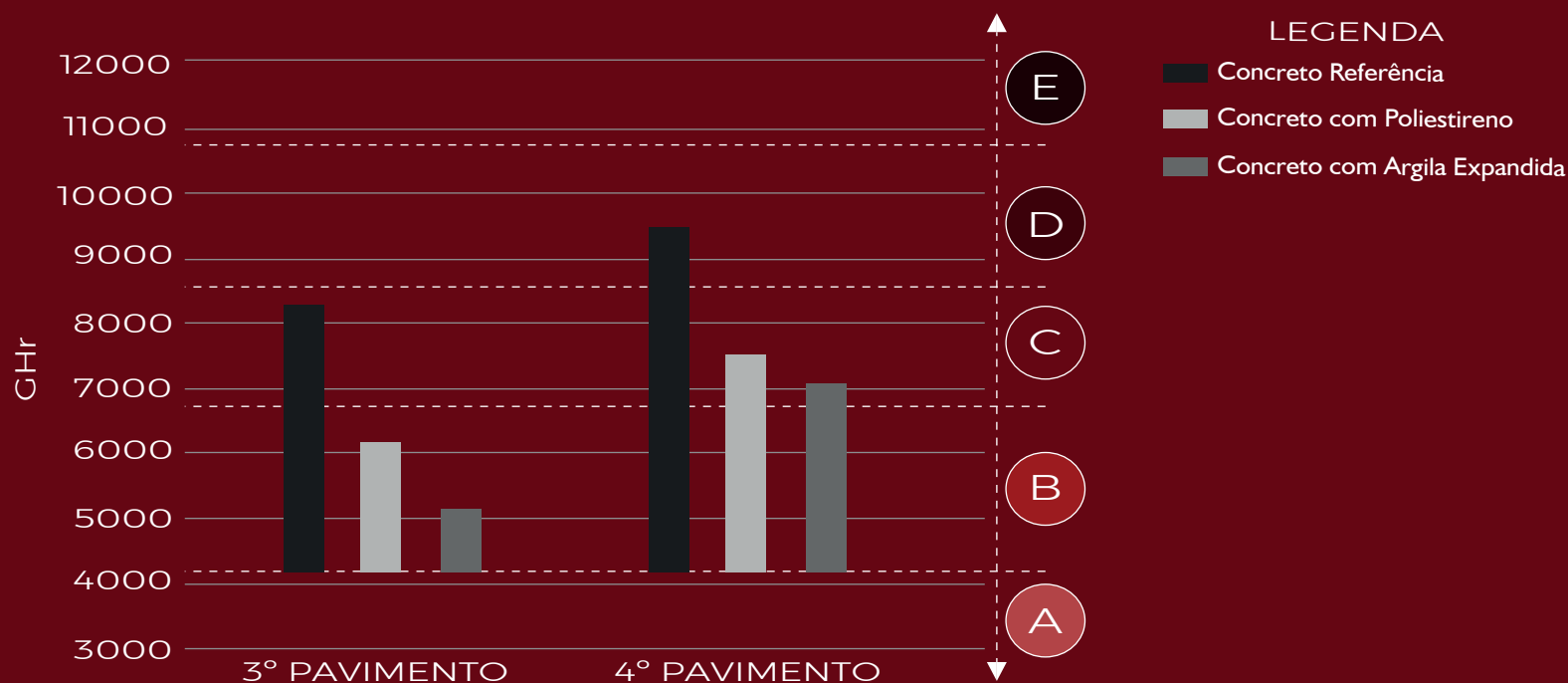


FIGURA 47: DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO EM GHR PARA OS DIFERENTES MATERIAIS NA UNIDADE HABITACIONAL

FONTE: AUTOR

11

CONCLUSÕES

CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Considerando os resultados experimentais obtidos associados a simulação do desempenho termo-energético, os materiais leves podem ser utilizados em projetos de habitação que vislumbram condições de conforto e qualidade ambiental adequadas;
- O emprego dos concretos leves (com EPS e argila expandida) para as vedações apresentaram benefícios significativos ao desempenho termo-energético em relação ao concreto convencional usualmente empregado nas unidades habitacionais simuladas. Em alguns ambientes, os indicadores GHR foram reduzidos em cerca de 35%;
- De maneira geral, o uso de concreto leve com pérolas de EPS em substituição ao concreto convencional nas vedações verticais alterou a classificação dos ambientes de D para pelo menos C, segundo os níveis de eficiência propostos pelo RTQ-R. Na unidade que não se encontra na cobertura, alguns ambientes obtiveram classificação B;
- O uso de concreto leve com argila expandida em substituição ao concreto convencional nas vedações verticais alterou a classificação dos ambientes da unidade 301 de D para B, e, de D para C na unidade 401, segundo os níveis de eficiência propostos pelo RTQ-R.

PERSPECTIVAS PARA TRABALHOS FUTUROS

- O trabalho buscou avaliar o comportamento térmico de materiais leves como alternativa ao concreto convencional tipicamente adotado em Programas de habitação de interesse social promovidos pelo Estado. Um possível benefício do ponto de vista termo-energético, proporcionado pela utilização dos agregados leves em substituição aos agregados naturais, foi observado. No entanto, considerando que estes benefícios são também relevantes do ponto de vista do impacto ambiental das construções, considera-se o emprego da metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) como uma ferramenta potencial para a validação da aplicação dos materiais estudados.

12

**REFERÊNCIAS
BIBLIOGRÁFICAS**

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, T. P (2019). A Influência dos Materiais de Sistemas de Vedações Verticais no Desempenho Termo-Energético de Edificações: Habitações de Interesse Social no Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: UFRJ. 222 P. Dissertação Mestrado. PROARQ, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura FAU/UFRJ.

ESTADOS UNIDOS. American Concrete Institute. (2003).Guide For Structural Lightweight-Aggregate Concrete. ACI 213R-03. Detroit.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15220 (2005): Desempenho Térmico de Edificações.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15575 (2013): Edificações Habitacionais: Desempenho.

Angelin, A. (2014). Concreto leve estrutural-Desempenhos físicos, térmicos, mecânicos e microestruturais. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Tecnologia, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo.

PE (Empresa de Pesquisa Energética). Balanço Energético Nacional 2019: Ano base 2019. Rio de Janeiro: EPE 2018. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-419/BEN2018__Int.pdf>. Acesso em agosto 2021.

Catoia, T. (2012). Concreto Ultraleve® Estrutural com Pérolas de Eps: Caracterização do Material e Estudo de sua Aplicação em Lajes. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

Eurolightcon-Economic Design and Construction with Lightweight Aggregate Concrete. LWAC Materials Properties, State-of-the-art. Project BE96-3942/R2, Noruega, 1998.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GELLER, H. S. Revolução Energética: políticas para um futuro sustentável. Rio de Janeiro: Relume Dumará:USAid, 2003

Grabois, T. M.. (2012). Desenvolvimento e Caracterização Experimental de Concretos Leves Auto Adensáveis Reforçados com Fibras de Sisal e Aço. Rio de Janeiro: UFRJ. 119 P. Dissertação Mestrado. Coppe, Programa de Engenharia Civil.

Oliveira, L. C. Relatório PIBIC UFRJ, 2019.

Holm, T. A.; Bremner, T. W.State-of-the-art report on high-strength, high-durability structural low-density concrete for applications in severe marine enviroNBRents.US Army Corps of Engineers-Engineer Research in Development Center, ERDC/SL TR-00-3, 2000.

JOHN, V.M. Reciclagem de resíduos na construção civil – contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. São Paulo, 2000. 102p. Tese (livre docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando.Eficiência energética na arquitetura. 3ª ed. Rio de Janeiro: Eletrobrás/PROCEL, 2014

LUDGERO, J.; ASSIS, E. Avaliação Preliminar do Consumo Energético Desagregado da Escola Arquitetura da UFMG. In: Anais do Primeiro Congresso Brasileiro de Eficiência Energética. 2005.

MARSON, M. D. A industrialização brasileira antes de 1930: uma contribuição sobre a evolução da indústria de máquinas e equipamentos no estado de São Paulo, 1900-1920. SciELO, São Paulo, out/dez. 2014. Disponível em:<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-41612015000400753>. Acesso em: 13 Ago. 2021.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Rossignolo, J. A. e Agnesini, M. V. C. (2005). Concreto estrutural leve. Concreto: Ensino, Pesquisas e Realizações. São Paulo: IBRACON.

Rossignolo, J. A. (2009). Concreto leve estrutural: Produção, propriedades, microestrutura e aplicações. São Paulo, Editora PINI.

Reis, L et al (2018). Dosagem e análise experimental de concretos leves estruturais para produção de painéis pré-fabricados. Lima: Jornadas sudamericanas de ingenieria estructural.

Sacht, H. M. Painéis de vedação de concreto moldados in loco: Avaliação de desempenho térmico e desenvolvimento de concretos. Dissertação de mestrado, Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

Souza, Camila. (2017) Avaliação do Desempenho Térmico de Vedações em Blocos de Concreto Produzidos com Lã de Rocha. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana). Universidade Federal da Bahia, Salvador.