



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI - UNIVATES  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**ANÁLISE COMPARATIVA DE ISOLAMENTO TÉRMICO ENTRE  
PAINÉIS PRÉ-MOLDADOS, ALVENARIA DE VEDAÇÃO DE BLOCOS  
DE CONCRETO E BLOCOS CERÂMICOS PARA FINS DE  
CONFORTO TÉRMICO**

Ana Cristina Fiegenbaum

Lajeado, junho de 2018

Ana Cristina Fiegenbaum

**ANÁLISE COMPARATIVA DE ISOLAMENTO TÉRMICO ENTRE  
PAINÉIS PRÉ-MOLDADOS, ALVENARIA DE VEDAÇÃO DE BLOCOS  
DE CONCRETO E BLOCOS CERÂMICOS PARA FINS DE  
CONFORTO TÉRMICO**

Trabalho de Conclusão de Curso - Etapa I, do Curso de Engenharia Civil, da Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Professor Mestre Marcelo Freitas Ferreira.

Lajeado, junho de 2018

Ana Cristina Fiegenbaum

**ANÁLISE COMPARATIVA DE ISOLAMENTO TÉRMICO ENTRE  
PAINÉIS PRÉ-MOLDADOS, ALVENARIA DE VEDAÇÃO DE BLOCOS  
DE CONCRETO E BLOCOS CERÂMICOS PARA FINS DE  
CONFORTO TÉRMICO**

O Orientador e a Banca Examinadora abaixo aprovam a Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, da Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES, como parte da exigência para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Prof. Ms. Marcelo Freitas Ferreira - Orientador  
Universidade do Vale do Taquari - Univates

Prof. Ms. Douglas Ferreira Velho - Banca  
Universidade do Vale do Taquari - Univates

Prof. Ms. Rodrigo Spinelli - Banca  
Universidade do Vale do Taquari - Univates

Lajeado, junho de 2018.

Deixo aqui meu agradecimento à toda minha família, principalmente aos meus pais, à minha irmã e ao meu namorado por toda a dedicação, ajuda, apoio e paciência.

Dedico a todos os professores que fizeram parte de minha formação acadêmica, em especial ao Prof. Orientador Marcelo pelo empenho, e aos professores Rafael, Débora e Rodrigo pelas contribuições e ideias que enriqueceram o meu trabalho.

Por fim, agradeço a todos que fizeram parte dessa trajetória, família, amigos, colegas e professores. Obrigada!

## **RESUMO**

As pessoas e as empresas estão cada vez mais em busca de conforto e qualidade de vida, a temperatura no ambiente é fator essencial. Esses locais devem oferecer condições térmicas adequadas para o conforto humano, que estão descritas na norma técnica de desempenho de edificações, NBR 15575 (ABNT, 2013). Este trabalho foi elaborado com o objetivo de analisar o desempenho térmico de três paredes constituídas de materiais diferentes: alvenaria com painéis pré-moldados de concreto, alvenaria de blocos de concreto e alvenaria de blocos cerâmicos, que foram analisados em várias etapas, com a aplicação de revestimentos de argamassa e pintura. Foram realizadas medições de temperatura interna dos 3 protótipos e da temperatura externa com um termo-higrômetro, durante vários dias em cada etapa, em 4 horários durante o dia, sempre nas mesmas condições, para que se tivesse dados suficientes para fazer as análises. Foram feitos também os cálculos através da NBR 15220-2 (ABNT, 2005) de resistência e transmitância térmica do material, considerando-se a espessura dos blocos e painéis, com camada interna e externa de 2 cm de espessura nos Protótipos 2 (blocos de concreto) e 3 (blocos cerâmicos), ambos com 14 cm de espessura. O Protótipo 1 é composto por painéis pré-moldados de concreto de 10 cm. Foi avaliado tanto pelas medições como pelos cálculos que a temperatura no protótipo de blocos cerâmicos apresentou a menor temperatura, principalmente após o reboco e com pintura na cor branca, além de possuir uma umidade relativa do ar menor, comparando com os outros dois protótipos, comprovando que a cerâmica absorve menos água e é mais eficiente para uma alvenaria de vedação. O Protótipo 3, de blocos cerâmicos, também foi o único que se aproximou dos valores estabelecidos pela norma.

Palavras-Chave: Conforto. Desempenho. Temperatura. Concreto. Cerâmica.

## **ABSTRACT**

People and companies are increasingly looking for comfort and quality of life, that's why the temperature in the environment is essential. These places must provide a suitable thermal conditions for human comfort, which are described in the building performance's technical standard, called: NBR 15575 (ABNT, 2013). This work was developed with the aim of analyzing the thermal performance of three walls made with different materials: masonry with precast concrete panels, masonry of concrete blocks and masonry of ceramic blocks, which were analyzed in several stages, with the application of mortar coating and paint. Internal temperature measurements of 3 prototypes and also the external temperature were carried out with a thermo-hygrometer for several days at each stage, at 4 times during the day, always in the same conditions, in order to have enough data for making the analyzes. The resistance's calculations and thermal transmittance of the material were also made through the NBR 15220-2 (ABNT, 2005), considering the blocks and panels thickness, with internal and external layer of 2 cm of thickness in the Prototypes 2 (concrete blocks) and 3 (ceramic blocks), both with 14 cm of thickness. Prototype 1 is composed of 10 cm precast concrete panels. It was evaluated not only through measurements but also through the calculations where the lowest temperature was showed in the prototype ceramic blocks, mainly after plastering and with white paint, besides having a lower air relative humidity, compared with the other two prototypes, proving the theory that ceramic absorbs less water and is more efficient for a masonry partition. Prototype 3, of ceramic blocks, was also the only one that approached the values established by the standard.

Keywords: Comfort. Performance. Temperature. Concrete. Ceramic.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Transmissão de calor por condução, convecção e radiação.....	19
Figura 2 – Zona de Conforto Térmico.....	26
Figura 3 - Zoneamento bioclimático.....	28
Figura 4 – Painel maciço.....	34
Figura 5 – Painel alveolar.....	35
Figura 6 – Painel nervurado.....	35
Figura 7 – Painel de parede sanduíche sem ligação rígida.....	36
Figura 8 – Painel de parede dupla.....	36
Figura 9 – Painel de parede reticulado misto, sem função estrutural.....	37
Figura 10 – Ligações de pré-moldados.....	38
Figura 11 – Estrutura de revestimento de uma superfície com pintura.....	42
Figura 12 – Azulejos, pastilhas de porcelana e plaquetas de laminado cerâmico.....	44
Figura 15 – Fluxograma das etapas do trabalho.....	49
Figura 16 – Protótipo 1.....	50
Figura 17 – Protótipo 2.....	50
Figura 18 – Protótipo 3.....	51
Figura 19 – Fôrma para a concretagem do contrapiso.....	52
Figura 20 – Concretagem do contrapiso.....	52
Figura 21 – Elevação das paredes de alvenaria.....	53
Figura 22 – Concretagem das vigas e colocação de esperas para fixação das lajes.....	53
Figura 23 – Aplicação de chapisco industrializado.....	54
Figura 24 – Camada de reboco de 2 cm de espessura.....	54
Figura 25 – Protótipo de painéis pré-moldados e lajes pré-moldadas.....	55
Figura 26 – Conclusão dos 3 protótipos.....	55
Figura 27 – Termo-higrômetro usado para a coleta de temperatura e umidade.....	56
Figura 28 – Coletas de dados com o termo-higrômetro.....	57

Figuras 29 - Aplicação de chapisco nos protótipos de blocos.....	59
Figura 30 – Aplicação de reboco para a 2ª etapa de medições.....	59
Figuras 31 e 32 - Pinturas com tinta branca e marrom.....	60
Figura 33 – Protótipos pintados com a tinta térmica.....	70

## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1 – Temperaturas medidas na Etapa 1.....	64
Gráfico 2 – Temperaturas medidas na Etapa 2.....	66
Gráfico 3 – Temperaturas medidas na Etapa 3.....	68
Gráfico 4 – Temperaturas medidas na Etapa 4.....	69
Gráfico 5 – Umidades medidas na Etapa 1.....	71
Gráfico 6 – Temperaturas medidas na Etapa 5.....	73

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Condutividade Térmica dos materiais.....	23
Tabela 2 – Procedimentos de avaliação de desempenho térmico de edificações.....	29
Tabela 3 - Transmitância Térmica máximas em paredes externas.....	30
Tabela 4 - Capacidade Térmica de paredes externas.....	30
Tabela 5 - Requisitos de desempenho no verão.....	31
Tabela 6 - Requisitos de desempenho de inverno.....	31
Tabela 7 – Equivalência de materiais isolantes.....	41
Tabela 8 – Materiais usados nos protótipos.....	48
Tabela 9 – Etapas de medições e coletas de dados.....	58
Tabela 10 - Resultados das análises térmicas dos protótipos.....	61
Tabela 11 – Requisitos da Zona Bioclimática 2.....	62
Tabela 12 – Requisitos das Paredes Leves.....	63
Tabela 13 – Média das medições de temperatura da Etapa 1.....	64
Tabela 14 – Média das medições de temperatura da Etapa 2.....	66
Tabela 15 – Média das medições de temperatura da Etapa 3.....	67
Tabela 16 – Média das medições de temperatura da Etapa 4.....	69
Tabela 17 - Média das medições de umidade da Etapa 1.....	71
Tabela 18 - Média das medições de temperatura na Etapa 5.....	72

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABCIC - Associação Brasileira de Construção Industrializada de Concreto

ETICS - Sistema Composto de Isolamento Térmico pelo Exterior

EPS - Poliestireno Expandido

XPS - Poliestireno Extrudido

## LISTA DE SÍMBOLOS

$Q$  – calor (kcal/h)

$\lambda$  ou  $k$  – coeficiente de condutividade térmica do material (kcal/m.°C ou W/m.K)

$S$  – área de passagem de calor (m<sup>2</sup>)

$\Delta t$  – diferença de temperatura (°C)

$l$  – espessura da parede (m)

$\alpha_c$  – coeficiente de transferência de calor por convecção (kcal/m<sup>2</sup>.h.°C)

$\alpha_i$  - eficiente de transferência de calor por radiação (kcal/m<sup>2</sup>.h.°C)

$R$  – resistência térmica (m<sup>2</sup>.K/W)

$e$  – espessura da camada (m)

$U$  – transmitância térmica (W/m<sup>2</sup>.K)

$R_T$  – resistência total do elemento

$K$  - condutividade térmica do material (kcal/m.°C)

$\alpha$  - absorvância da superfície

$\rho$  – refletância da superfície

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	13
1.1. Objetivos .....	14
1.1.1. Objetivos específicos .....	15
1.2. Justificativa da pesquisa.....	15
1.3. Limitações da pesquisa .....	16
1.4. Estrutura da pesquisa .....	16
2. REFERENCIAL TEÓRICO .....	18
2.1. Física aplicada à Construção Civil.....	18
2.1.1. Transferência de Calor.....	19
2.1.1.1. Condução .....	19
2.1.1.2. Convecção.....	20
2.1.1.3. Radiação.....	21
2.1.2. Condutividade Térmica.....	22
2.1.3. Carga Térmica.....	22
2.1.4. Resistência Térmica.....	23
2.1.5. Transmitância Térmica ou Coeficiente Global de Transmissão Térmica.....	24
2.2. Conforto Térmico .....	25
2.3. Normas brasileiras de conforto térmico .....	27
2.3.1. NBR 15220 (ABNT, 2005)A.....	27
2.3.2. NBR 15575 (ABNT, 2013).....	29
2.4. Tipos de vedações verticais .....	31
2.4.1. Alvenaria de vedação com blocos de concreto e blocos cerâmicos.....	32
2.4.2. Alvenaria de vedação com painéis de concreto pré-moldados .....	33
2.4.2.1. Tipos de painéis pré-moldados .....	34
2.4.2.1.1. Painel de parede maciço.....	34
2.4.2.1.2. Painel de parede alveolar não estrutural .....	35
2.4.2.1.3. Painel de parede nervurado .....	35

2.4.2.1.4. Painel de parede sanduíche sem ligação rígida.....	35
2.4.2.1.5. Painel de parede dupla .....	36
2.4.2.1.6. Painel de parede reticulado misto, sem função estrutural.....	36
2.5. Ligações .....	37
2.6. Manuseio, armazenamento, transporte e controle de qualidade .....	38
2.7. Isolamentos de paredes .....	39
2.7.1. Materiais isolantes .....	40
2.7.2. Revestimentos de argamassa.....	41
2.7.3. Revestimento com pintura .....	42
2.7.3.1. Tinta térmica .....	43
2.7.4. Revestimentos cerâmicos.....	44
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	46
3.1. Caracterização dos materiais usados nos protótipos.....	48
3.2. Etapas de construção e montagem dos protótipos .....	51
3.3. Métodos avaliativos de desempenho térmico .....	56
4. ANÁLISES DE RESULTADOS .....	61
4.1. Resultados dos cálculos através da NBR 15220-2/2005 .....	61
4.2. Resultados das medições de Temperatura .....	63
4.2.1. Etapa 1 .....	64
4.2.2. Etapa 2 .....	66
4.2.3. Etapa 3 .....	67
4.2.4. Etapa 4 .....	68
4.3. Outras análises .....	70
4.3.1. Análises de Umidade Relativa do Ar.....	71
4.3.2. Análises da aplicação da tinta térmica .....	72
5. CONCLUSÕES.....	74
REFERÊNCIAS .....	76
ANEXOS.....	79

## 1. INTRODUÇÃO

No período clássico, as habitações eram vistas como um espaço habitável que deveria ter funcionalidade. Hoje em dia, no entanto, ela precisa ser vista também como um elemento com eficiência energética, que pode ser entendida como um atributo que proporciona conforto térmico, acústico, visual e com baixo consumo de energia (LAMBERTS *et al.* 2014).

Lamberts *et al.* (2014), afirma também que desde a antiguidade as pessoas já buscavam alternativas construtivas que melhorassem o conforto térmico, apesar de que ainda não havia climatização naquela época. Em Honan, no norte da China, por exemplo, o clima era muito severo e as edificações foram construídas subterrâneas, onde a temperatura é mais amena. Já nos Estados Unidos, no estado de Colorado, por ser uma região seca e quente, as habitações eram construídas em encostas de pedras, protegendo as residências da incidência do sol.

Conforto térmico, segundo a NBR 15220 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2005) é a “satisfação psicofisiológica de um indivíduo com as condições térmicas do ambiente”. Para Lamberts (2016), “conforto térmico se refere ao estado mental que expressa a satisfação do homem com o ambiente térmico que o circunda”. A não satisfação pode ser causada pelo desconforto causado pela sensação de calor ou de frio, quando não há balanço térmico estável.

Conforme Frota e Schiffer (2007), as principais variáveis associadas ao conforto térmico são a temperatura, umidade e velocidade do ar e radiação solar, tendo algumas relações com as chuvas, a vegetação, a permeabilidade do solo, as águas superficiais e subterrâneas, a topografia, entre outras características.

De acordo com a norma de Desempenho Térmico, a NBR 15575 (ABNT, 2013), seu objetivo está voltado ao comportamento dos sistemas do edifício no cumprimento dos requisitos dos usuários. A partir disso a norma foi organizada levando em consideração as

exigências dos usuários e as condições de implantação definindo os requisitos que se pretende atender, estabelecendo critérios e sua forma de avaliação. As exigências dos usuários que a norma cita são divididas em três tópicos: segurança (em relação ao uso e operação da edificação, à parte estrutural e contra o fogo), habitabilidade (como questões de estanqueidade, desempenho térmico, acústico e lumínico, saúde, higiene, conforto e acessibilidade) e sustentabilidade (durabilidade, manutenção e impacto ambiental).

Segundo Thomaz e Ishioka (2017), o isolamento térmico não remete apenas ao conforto mas também na redução do consumo de energia. Além disso, melhora a impermeabilidade das paredes e reduz as pontes térmicas que originam a condensação. O isolamento pode ser aplicado em todo o entorno do edifício, em paredes, coberturas e pavimentos. Há diversos tipos de materiais para serem utilizados, desde os mais tradicionais como o revestimento argamassado e cerâmico, a pintura e o EPS, aos mais naturais como fibras de lã de ovelha até compostos reciclados e outros que virão a surgir. A escolha do material e o modo de aplicação variam para cada caso e deve seguir as necessidades que a edificação e os usuários exigem.

Este estudo enquadra-se como uma pesquisa experimental, na qual é apresentada uma revisão teórica dos temas relacionados ao trabalho e posteriormente a execução dos experimentos, que se refere à aplicação de dois tipos de revestimentos em vedações verticais compostas por painéis pré-moldados, blocos de concreto e blocos cerâmicos, para analisar o conforto térmico.

## **1.1. Objetivos**

Este trabalho tem como objetivo principal realizar o estudo sobre o comportamento térmico de diferentes tipos de vedações verticais, que neste caso será a alvenaria de vedação com o uso de painéis de concreto pré-moldados, blocos de concreto e blocos cerâmicos, que deverá atender as especificações da NBR 15575 (ABNT, 2013) e da NBR 15220 (ABNT, 2005).

### **1.1.1. Objetivos específicos**

- Calcular a resistência e a transmitância térmica dos materiais dos protótipos através da NBR 15220-2 (ABNT, 2005).
- Comparar a utilização de alvenaria de vedação de painéis de concreto pré-moldados com blocos de concreto e com blocos cerâmicos, medindo o Índice de Temperatura, considerando as determinações da NBR 15575 (ABNT, 2013), para fins de isolamento térmico.
- Comparar o Desempenho Térmico antes e após a aplicação do revestimento de argamassa e de pintura dos protótipos.

### **1.2. Justificativa da pesquisa**

Em decorrência do clima de determinadas regiões brasileiras, com variações térmicas muito elevadas, e a busca incessante pelo conforto térmico, faz-se necessário o isolamento das edificações, buscando obter um ambiente mais agradável, diminuindo os gastos com energia elétrica e os impactos ambientais.

Essa questão de isolamento e desempenho é de extrema importância, não só pelo fato das pessoas estarem em busca de conforto, mas também pelo surgimento das Normas de Desempenho que tornam necessárias algumas adequações por parte das construtoras, onde se deve garantir um conforto térmico nas paredes, atingindo valores e temperaturas estipuladas na Norma, o que justifica a produção deste trabalho.

É importante conhecer os diferentes tipos de materiais que vêm sendo usados para vedação de paredes, estruturais ou não, para poder-se avaliar as características particulares de cada caso e escolher a melhor alternativa para solucionar as questões do ambiente interno das residências e edificações.

### **1.3. Limitações da pesquisa**

Este trabalho foi limitado a um estudo comparativo de isolamento térmico em três tipos de paredes diferentes, restringindo o estudo somente à análise térmica, com coletas de dados de temperatura interna e externa dos protótipos com um termo-higrômetro, pois não foi possível a locação dos dataloggers da Univates.

Procurou-se fazer a discussão de qual a estrutura que apresenta as melhores condições de conforto térmico, antes e depois da aplicação de materiais de revestimento. Não foram abordados aspectos de desempenho térmico das lajes, desempenho acústico, de resistência estrutural, de aberturas, esquadrias, vidros, coberturas, consumo de energia reduzido, ou custos de sistemas ou dos materiais. Foi desconsiderado o efeito do vento sobre os protótipos, sem análises de componentes como a laje e as aberturas, considerando que estas são iguais para todos os casos.

Devido à falta de espaço, ao tempo necessário para a confecção dos protótipos e à quantidade de medições, os três protótipos foram construídos na Linha Geraldo, subdistrito do interior do município de Estrela - RS, em uma área de terra vazia, livre de objetos, pessoas, árvores, edifícios e com ótima incidência solar para facilitar a coleta de dados. Todos foram feitos com os mesmos tamanhos e dimensões, e foi construída uma laje e um telhado em cima do protótipo com mesmo material, sendo que as paredes foram construídas com materiais diferentes, que foram analisadas neste trabalho.

### **1.4. Estrutura da pesquisa**

O capítulo 1 descreve o tema desenvolvido no trabalho, apresentando um objetivo geral e os específicos e a estrutura do trabalho.

Já o capítulo 2 desenvolve a revisão bibliográfica, abordando as características gerais de desempenho e conforto térmico, além dos tipos de materiais que são utilizados para este fim. Neste capítulo são apresentados os elementos pré-moldados, suas características e utilidades, além de uma revisão de alguns conceitos de alvenaria convencional de blocos.

A metodologia utilizada para o desenvolvimento desta pesquisa foi explicada no capítulo 3, descrevendo os materiais e métodos que foram utilizados para a coleta de dados.

No capítulo 4 foram expostos os resultados do estudo, tanto dos cálculos quanto das medições de temperatura obtidas através do termo-higrômetro. Aparece também a análise de gráficos e comparações de resultados.

Por fim, no capítulo 5 apresenta-se a conclusão do autor sobre o estudo fundamentado nas pesquisas bibliográficas e nos resultados da aplicação.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

Este referencial teórico apresenta assuntos ligados ao objetivo principal deste trabalho, como os fundamentos básicos de física aplicados à construção civil, referentes à transferência de calor e conforto térmico, a tipos de vedações verticais como alvenaria tradicional de blocos e painéis pré-moldados, relatando conceitos, definições e execução dos mesmos, bem como assuntos e soluções relacionados ao isolamento térmico da edificação, que neste caso utilizaram-se os sistemas de pintura e revestimentos argamassados como material isolante, procurando atender as especificações e determinações da NBR 15575 (ABNT, 2013).

### **2.1. Física aplicada à Construção Civil**

Apresentam-se a seguir alguns conteúdos que são fundamentais para o entendimento pleno na pesquisa, relacionados à Física aplicada na construção civil, enfatizando assuntos como fundamentos e tipos de transferência de calor, transferência de energia, propriedades térmicas e materiais isolantes usados na construção. É indispensável um conhecimento básico sobre os processos de transferência térmica, tendo em vista a busca incessante pelo máximo conforto térmico possível que possa ser atingido, melhorando o dia a dia, a saúde e a disposição das pessoas, bem como a otimização de custos com sistemas de refrigeração, pensando sempre em práticas sustentáveis.

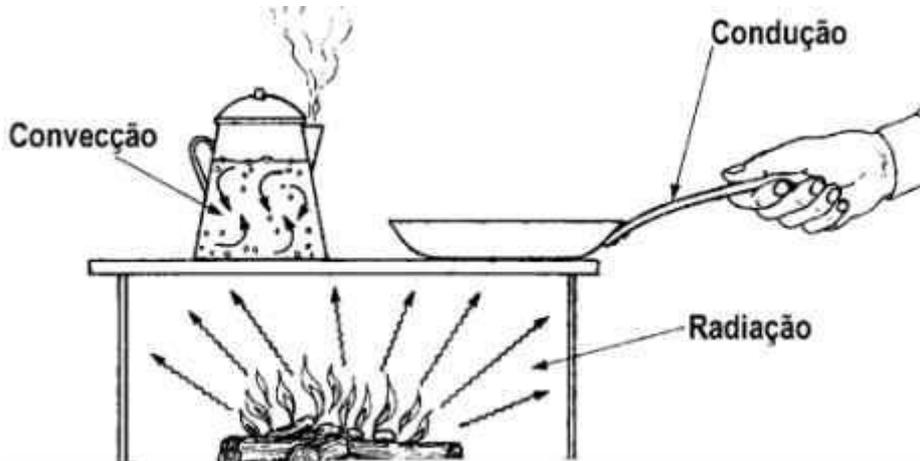
### 2.1.1. Transferência de Calor

De acordo com Costa (2003), sempre que existir diferença de temperatura entre duas regiões em um espaço esta tende a desaparecer, ocorrendo uma passagem de calor daquela com maior temperatura para a outra, cujo fenômeno é conhecido como transmissão de calor e pode ocorrer de três maneiras: condução, convecção e radiação.

Segundo Incropera *et al.* (2011, p.2), a transmissão de calor pode ser resumida da seguinte forma: “A transferência de calor (ou calor) é energia térmica em trânsito devido a uma diferença de temperaturas no espaço”.

Conforme os autores Costa (2003) e Incropera *et al.* (2011), para ocorrer a transferência de calor precisa necessariamente haver diferença de temperaturas em um meio ou entre dois ou mais meios. A Figura 1 mostra as três formas de transferência de calor, condução, convecção e radiação.

Figura 1 – Transmissão de calor por condução, convecção e radiação



Fonte: UFPR (2017).

#### 2.1.1.1. Condução

Condução é a passagem de calor de uma zona para outra de um mesmo corpo ou de corpos em contato sem deslocamentos materiais no sistema, devido ao movimento molecular (COSTA, 2003).

Costa (2003) defende também que a transferência de calor por condução obedece à lei de Fourier, dizendo que o fluxo térmico é diretamente proporcional à superfície que se verifica a passagem de calor e ao gradiente de temperatura.

Assim, para casos mais comuns na prática, para uma propagação de calor em apenas uma direção e permanente através de uma parede plana de faces paralelas, utiliza-se a equação a seguir:

$$Q = kS \frac{\Delta t}{l} \quad (\text{kcal/h}) \quad (1)$$

Onde:

K = condutividade térmica do material (kcal/m.°C)

S = área na qual se dá passagem de calor (m<sup>2</sup>)

$\Delta t$  = diferença de temperatura entre as faces da parede (°C)

l = espessura da parede (m)

### 2.1.1.2. Convecção

Para Costa (2003), convecção é a passagem de calor de uma zona a outra de um fluido devido ao efeito do movimento das partículas do mesmo, provocado pela diferença de pressão, que por sua vez é causada pela diferença de temperatura e consequente diferença de densidade da massa fluida que está sendo considerada.

Lamberts (2016) defende que a convecção ocorre quando os corpos estão em contato molecular e pelo menos um deles é um fluido. Primeiramente o calor se transmite por condução, e após a alteração sofrida pela temperatura o fluido modifica sua densidade provocando a convecção.

Ainda Costa (2003), afirma que a convecção é resultado da movimentação das partículas dos fluidos, enquanto a condução é resultado da movimentação dessas moléculas. Sendo assim, a transmissão de calor por convecção pura não existe, dependendo também da intervenção da condução para sua ocorrência. Pode ser calculada através da equação a seguir:

$$Q = \alpha_c S \Delta t \quad (\text{kcal/h}) \quad (2)$$

Onde:

S = área superficial do corpo em contato com o fluido (m<sup>2</sup>)

$\Delta t$  = diferença de temperatura (°C)

$\alpha_c$  = coeficiente de transferência de calor por convecção ( $\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{h}^\circ\text{C}}$ )

### 2.1.1.3. Radiação

Segundo Costa (2003), todos os corpos conduzem energia calorífica sob a forma de radiações parecidas com a luz, em quantidade que depende da sua natureza e temperatura. A radiação é, deste modo, a transmissão de calor entre dois corpos de temperaturas diferentes, imersos em um mesmo meio mais ou menos transparente a esta espécie de radiação.

De acordo com Frota e Schiffer (2007), radiação é a troca de calor entre dois corpos através da sua capacidade de emitir e de absorver energia térmica. Esse mecanismo de troca é consequência da natureza eletromagnética, que, ao ser absorvida, provoca efeitos térmicos, o que permite sua transmissão sem necessidade de meio para propagação, ocorrendo mesmo no vácuo.

Conforme Lamberts *et al.* (2016), a radiação ocorre devido a uma dupla transformação da energia, onde parte do calor do corpo com uma maior temperatura se converte em energia que chega até o corpo com menor temperatura, onde é absorvida numa proporção que depende das propriedades da superfície receptora. A emissividade está relacionada com fontes de baixa temperatura, e quando a superfície está exposta à radiação solar (fonte de alta temperatura – onda curta) as propriedades desta superfície são representadas pela absorvidade.

Conforme Costa (2003), podemos calcular o calor transmitido por radiação através de expressão a seguir, que é parecida com a utilizada para o calor transmitido por condução externa.

$$Q = \alpha_i S \Delta t \quad (\text{kcal/h}) \quad (3)$$

Onde:

S = área superficial do corpo exposto à radiação (m<sup>2</sup>)

$\Delta t$  = diferença de temperatura (°C)

$\alpha_c$  = coeficiente de transferência de calor por radiação ( $\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{h}^\circ\text{C}}$ )

### 2.1.2. Condutividade Térmica

Conforme a NBR 15220 (ABNT, 2005) a condutividade térmica é uma “Propriedade física de um material homogêneo e isotrópico, no qual se verifica um fluxo de calor constante, com densidade de 1 W/m<sup>2</sup>, quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme de 1 Kelvin por metro”. A Norma ainda indica à condutividade térmica a unidade W/(m.K) e o símbolo  $\lambda$ . Para Costa (2003), a condutividade térmica é indicada pelo símbolo  $k$ .

A condutividade térmica e demais propriedades de materiais utilizados na construção civil e de materiais isolantes térmicos estão dispostas na NBR 15220-2, Tabela B.3 do Anexo B (ABNT, 2005).

### 2.1.3. Carga Térmica

Para Costa (2003), carga térmica é a quantidade de calor que, por unidade de tempo, deve ser fornecida ou tirada do ar, mantendo as condições de conforto térmico. A carga térmica de aquecimento (inverno) é a quantidade de calor que determinado ambiente demanda para manter a temperatura dentro dos padrões de conforto térmico do mesmo. O autor também afirma que para o resfriamento (verão), a carga térmica é a quantidade de calor que deve ser fornecida ou retirada do ambiente a fim de que estes tenham condições de conforto térmico.

A carga térmica é a quantidade de calor sensível e latente, que deve ser removida de um ambiente com a finalidade de proporcionar aos ocupantes condições de conforto térmico. O bem-estar de uma pessoa no seu ambiente de trabalho ou em algum lugar público implica na produtividade e na satisfação do indivíduo, logo um correto cálculo de carga térmica é extremamente necessário (LOPES, 2013, p.1).

#### 2.1.4. Resistência Térmica

De acordo com a NBR 15220-1 (ABNT, 2005), a resistência total de um elemento é a soma das resistências térmicas das camadas de um elemento ou de um conjunto, compreendendo as resistências superficiais, interna e externa.

Para Costa (2003), a resistência refere-se à dificuldade de transmissão de calor em um determinado material, ou seja, quanto menor for a condutividade térmica e maior a espessura do material, maior será a resistência térmica.

Na Tabela 1 é possível comparar a condutividade térmica de alguns materiais, sendo que alguns deles são usados como isolantes na construção.

Tabela 1 – Condutividade Térmica dos materiais

<b>Material</b>	<b>Condutividade Térmica (W/(m.K))</b>
Argamassa	1,15
Tijolos	0,7
Fibrocimento	0,95
Concreto	1,75
Gesso	0,5
lã de rocha	0,045
lã de vidro	0,045
EPS	0,04
Madeira	0,29
Cobre	380
Poliéster	0,4
PVC	0,2
Vidro	1

Fonte: NBR 15220-2 (ABNT, 2005).

Para aplicar o estudo, foi elaborado o cálculo da resistência térmica conforme NBR 15220 (ABNT, 2005) que define que a resistência térmica de um elemento pode ser calculada pela relação entre sua espessura e condutividade térmica, conforme equação a seguir.

$$R = e/\lambda \quad (\text{m}^2.\text{K}/\text{W}) \quad (4)$$

Onde:

R = resistência térmica do elemento ( $\text{m}^2.\text{K}/\text{W}$ )

e = espessura da camada (m)

$\lambda$  = coeficiente de condutividade térmica do material ( $\text{W}/\text{m.K}$ )

### 2.1.5. Transmitância Térmica ou Coeficiente Global de Transmissão Térmica

Conforme Frota e Schiffer (2007), a transmitância térmica é definida como:

[...] trocas térmicas superficiais (por convecção e radiação) e trocas térmicas através do material (por condução). Portanto, engloba as trocas de calor referentes a um determinado material segundo a espessura da lâmina, o coeficiente de condutividade térmica, a posição horizontal ou vertical, e ainda, o sentido do fluxo (FROTA & SHIFFER, 2007, p.38).

Segundo Costa (2003), a transmitância térmica é a soma dos coeficientes de transmissão de calor externo e do coeficiente de condutibilidade térmica dos materiais, normalmente do tijolo e da argamassa.

Para este estudo, serão utilizados os procedimentos de cálculos da NBR 15220-2 (ABNT, 2005) que determina a transmitância térmica como o inverso da resistência térmica total, concebida pelo símbolo U.

$$U = \frac{1}{R_t} \quad (\text{W}/\text{m}^2.\text{K}) \quad (5)$$

Onde:

U = transmitância térmica

$R_t$  = resistência total do elemento

## 2.2. Conforto Térmico

Conforto térmico é a “satisfação psicofisiológica de um indivíduo com as condições térmicas do ambiente” (NBR 15220 ABNT, 2005).

Para Lamberts *et al.* (2016), o conforto térmico se refere à satisfação do homem em relação ao ambiente térmico no qual está inserido. Quando não há um balanço térmico estável, sente-se desconforto pela sensação de frio ou calor. No entanto, o conforto térmico é algo subjetivo, pois depende de fatores físicos, fisiológicos e psicológicos e varia para cada pessoa, dependendo do ambiente em que estão expostas.

Para o autor, é importante que se tenha um estudo de conforto térmico e ele está baseado em 3 fatores:

- A satisfação do ser humano em sentir-se termicamente confortável;
- A produtividade, tanto intelectual como manual;
- A conservação de energia, visto que as pessoas passam grande parte do tempo em ambientes climatizados artificialmente;

Para Frota e Schiffer (2007), a influência de um ambiente confortável do ponto de vista térmico sobre o rendimento no trabalho teve seu primeiro estudo oficial desenvolvido em 1916 pela Comissão Americana de Ventilação, visando os interesses de produção criados pela Revolução Industrial. Os estudos elaborados confirmaram os seguintes dados:

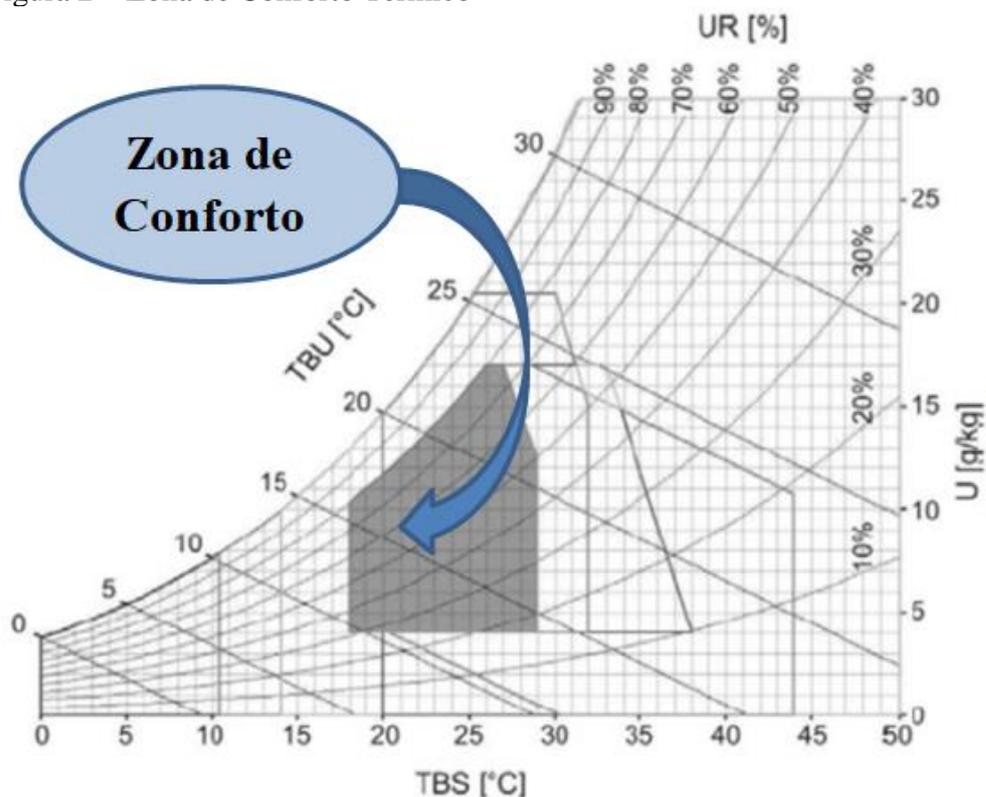
- Para tarefas manuais, o aumento da temperatura ambiente de 20°C para 24°C diminuiu o rendimento em 15%;
- A 30°C de temperatura ambiente, com umidade relativa 80%, o rendimento cai 28%.

Lamberts *et al.* (2016) destaca que há diversas variáveis de conforto térmico, como as variáveis humanas que dependem do metabolismo gerado por atividade física e da resistência térmica da vestimenta. As variáveis ambientais estão relacionadas com a temperatura do ar, a temperatura radiante média, a velocidade e a umidade relativa do ar. Além disso, cita que o sexo, idade, raça, peso e hábitos alimentares também podem interferir.

Já para Costa (2003), a percepção de conforto de um indivíduo em um ambiente é caracterizada pela temperatura e umidade, que definem a temperatura efetiva de um ambiente.

De acordo com Lamberts *et al.* (2016), para condições climáticas existe uma grande possibilidade das pessoas entenderem a sensação de conforto térmico. Observando a Figura 2, pode-se verificar que a sensação de conforto térmico pode ser alcançada para umidade relativa variando de 20 a 80% e temperatura entre 18 e 29°C.

Figura 2 – Zona de Conforto Térmico



Fonte: Lamberts *et al.* (2016).

Segundo Frota e Schiffer (2007), a grande distinção que o grau de umidade relativa do ar ocasiona nas condições climáticas é a amplitude térmica diária, ou seja, quanto mais seco o clima, mais marcantes e variadas serão suas temperaturas. O autor explica também que quanto maior a umidade do ar, maior será a quantidade de partículas de água no ar. Estas partículas funcionam como um obstáculo de radiação solar que atinge o solo durante o dia e à noite como barreira para o calor dissipado pelo solo.

Para Costa (2003), “a temperatura juntamente com a umidade são os responsáveis pelas trocas de calor com o exterior, efetuadas pelo corpo humano e determinam para o ambiente suas características de conforto térmico”.

## 2.3. Normas brasileiras de conforto térmico

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), o Brasil possui duas normas relacionadas ao desempenho térmico das edificações: a NBR 15575 (ABNT, 2013), com o título de Edificações Habitacionais: Desempenho, e a NBR 15220 (ABNT, 2005), com o título de Desempenho Térmico de Edificações.

### 2.3.1. NBR 15220 (ABNT, 2005)A

A ABNT NBR 15220 (ABNT, 2005), é dividida em 5 partes:

- Parte 1: Definições, símbolos e unidades;
- Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações;
- Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;
- Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida;
- Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico.

A NBR 15220 (ABNT, 2005) oferece indicações para os elementos do entorno de uma edificação, como a transmitância térmica mínima de coberturas e paredes externas para cada zona bioclimática.

Na parte 2 da NBR 15520 (ABNT, 2005), são apresentados os cálculos da transmitância térmica, do atraso térmico, da capacidade térmica e do fator solar de elementos e componentes de edificações.

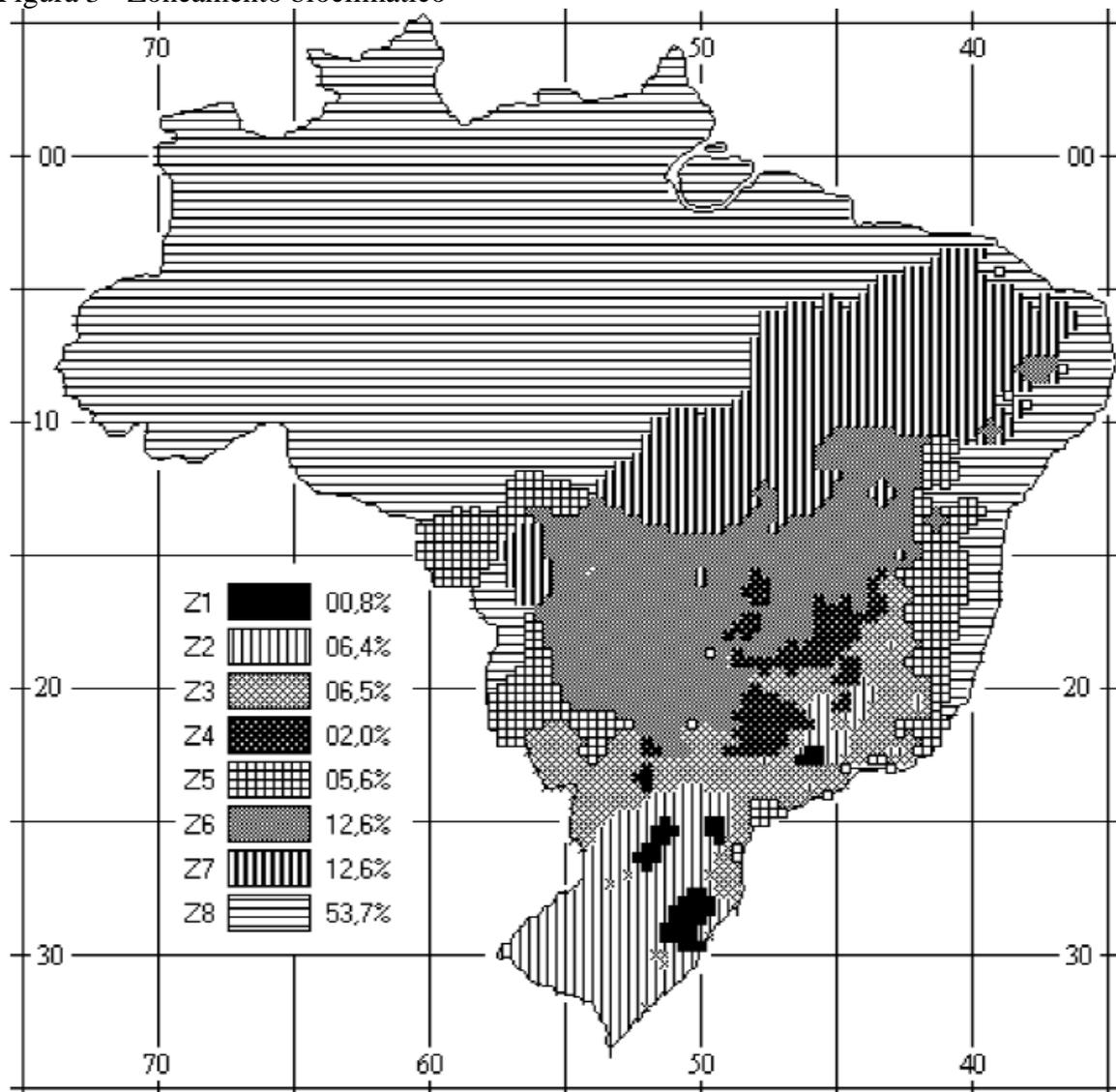
A parte 3 da NBR 15220 (ABNT, 2005), cita o zoneamento bioclimático brasileiro, onde ele representa oito diferentes zonas. Para cada uma destas zonas, há um conjunto de recomendações técnico-construtivas que otimizam o desempenho térmico das edificações.

Ainda segundo a NBR 15220 (ABNT, 2005), para criar as diretrizes construtivas e estratégias de condicionamento térmico, foram considerados os seguintes parâmetros:

- a) tamanho das aberturas para ventilação;
- b) proteção das aberturas;
- c) vedações externas (tipo de parede externa e tipo de cobertura);
- d) estratégias de condicionamento térmico passivo.

Os cálculos da resistência, capacidade e transmitância térmica de materiais e elementos construtivos e métodos de medição de condutividade térmica estão assinalados na Norma. Também são apresentadas cartas de zoneamento bioclimático, para avaliação do desempenho térmico conforme a região em que se localiza a edificação, descrita na Figura 3. Como podemos observar, nossa região fica caracterizada dentro da Zona Bioclimática 2.

Figura 3 - Zoneamento bioclimático



Fonte: NBR 15220-3, ABNT 2005.

### 2.3.2. NBR 15575 (ABNT, 2013)

A NBR 15575 (ABNT, 2013) é dividida em seis partes, e fala do desempenho geral de habitações residenciais de até 5 pavimentos. Ela menciona os critérios para avaliação do desempenho térmico de edificações e classifica-os quanto à qualidade do desempenho, podendo ser mínimo (M), intermediário (I) e superior (S) de acordo as características como transmitância térmica, absorvância e capacidade térmica e conforme a zona bioclimática.

O capítulo 11 da NBR 15575-1 (ABNT, 2013) chamado de Desempenho Térmico, expõe os procedimentos e critérios para avaliação da edificação. “A edificação habitacional deve reunir características que atendam às exigências de desempenho térmico, considerando-se a zona bioclimática definida na ABNT NBR 15220-3” (ABNT, 2013).

Para avaliar o desempenho térmico da edificação, a NBR 15575-1 (ABNT, 2013) apresenta dois procedimentos conforme está descrito na Tabela 2.

Tabela 2 – Procedimentos de avaliação de desempenho térmico de edificações

<b>Procedimento 1</b>	<b>Procedimento 2</b>
Simplificado (normativo): atendimento aos requisitos e critérios para os sistemas de vedação e coberturas, conforme ABNT NBR 15575-4 e ABNT NBR 15575-5. Para casos em que a avaliação de transmitância térmica e capacidade térmica resultem em desempenho térmico insatisfatório, o projetista deve avaliar o desempenho térmico da edificação como um todo pelo método da simulação computacional.	Medição (informativo): verificação do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos nesta ABNT NBR 15575-1, através da realização de medições em edificações ou protótipos construídos. Este método é informativo e não se sobrepõe aos procedimentos descritos no item anterior.

Fonte: NBR 15575-1, ABNT 2013, adaptado pelo autor.

A NBR 15575-4 (ABNT, 2013) é a parte particular da Norma dedicada ao desempenho térmico das vedações verticais externas, ou seja, das fachadas, objetivo deste estudo. Ela apresenta os requisitos e critérios para verificação dos níveis mínimos de desempenho térmico de vedações verticais externas e internas.

Na NBR 15575-4 (ABNT, 2013) são descritos os requisitos mínimos de acordo com o zoneamento bioclimático, e a Transmitância Térmica, conforme Tabela 3.

Tabela 3 - Transmitância Térmica máximas em paredes externas

<b>Transmitância Térmica U (W/m<sup>2</sup>.K)</b>		
<b>Zonas 1 e 2</b>	<b>Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8</b>	
U ≤ 2,5	$\alpha^1 \leq 0,6$	$\alpha^1 > 0,6$
	U ≤ 3,7	U ≤ 2,5
<sup>1</sup> $\alpha$ é absortância à radiação solar da superfície externa da parede.		

Fonte: NBR 15575-4, ABNT 2013.

Em relação à Capacidade Térmica a referida Norma apresenta a Tabela 4.

Tabela 4 - Capacidade Térmica de paredes externas

<b>Capacidade Térmica CT (kJ / m<sup>2</sup>.K)</b>	
Zona 8	Zonas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7
Sem exigência	≥ 130

Fonte: NBR 1575-4, ABNT 2013.

O cálculo que define a capacidade térmica da fachada também é feito conforme a NBR 15220-2 (ABNT, 2005) e deve atender ao valor mínimo indicado acima. Conforme a NBR 15575-1 (ABNT, 2013), caso a edificação não apresente nas paredes externas os requisitos mínimos, é indispensável a realização da simulação computacional que comprove os requisitos de temperaturas internas aceitáveis, em dias típicos de verão e inverno explícitos na NBR 15575-1(ABNT, 2013).

#### **a) Verão**

Para cumprir os requisitos mínimos no verão o edifício deve ter uma temperatura diária máxima interna igual ou menor do que a temperatura do ar externo em um dia típico de verão, válido em todas as zonas bioclimáticas brasileiras (NBR 15575-1), conforme Tabela 5.

Tabela 5 - Requisitos de desempenho no verão

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
M	$Ti \max \leq Te \max$	$Ti \max \leq Te \max$
I	$Ti \max \leq (Te \max - 2^{\circ}\text{C})$	$Ti \max \leq (Te \max - 1^{\circ}\text{C})$
S	$Ti \max \leq (Te \max - 4^{\circ}\text{C})$	$Ti \max \leq (Te \max - 2^{\circ}\text{C})$
		$Ti \min \leq (Te \max + 1^{\circ}\text{C})$

Ti max é o valor máximo diário da temperatura do ar interior da edificação, em graus Celsius;

Te 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 interior da edificação, em graus Celsius;

Te 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.

Fonte: NBR 15575-1, ABNT 2013

## b) Inverno

Para atender o desempenho térmico no inverno, a edificação deve atender as exigências mínimas conforme sua zona bioclimática, respeitando os requisitos da tabela 11.3 da NBR 15575-1, representada na Tabela 6.

Tabela 6 - Requisitos de desempenho de inverno

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas bioclimáticas 1 a 5	Zonas bioclimáticas 6, 7 e 8
M	$Ti \min \geq (Te \min + 3^{\circ}\text{C})$	Nestas zonas, este critério não precisa ser verificado.
I	$Ti \min \geq (Te \min + 5^{\circ}\text{C})$	
S	$Ti \min \geq (Te \min + 7^{\circ}\text{C})$	

Fonte: NBR 15575-1, ABNT 2013

## 2.4. Tipos de vedações verticais

As vedações verticais externas e internas servem para limitar os cômodos e ambientes de uma edificação no sentido vertical, e junto com as esquadrias criar condições habitáveis, protegendo do frio, do calor, da chuva e de outros agentes indesejáveis.

### **2.4.1. Alvenaria de vedação com blocos de concreto e blocos cerâmicos**

A alvenaria de vedação convencional caracteriza-se pela falta de planejamento, pelo desperdício de materiais e pelo improviso. Nela utilizam-se blocos de qualquer tipo sem controle de dimensões e até tijolos maciços.

Já a alvenaria de vedação com blocos de concreto, conforme Moraes (2011), caracteriza-se pelo uso de blocos de melhor qualidade, de projeto e planejamento da produção, treinamento da mão-de-obra, uso de blocos compensadores, evitando a quebra, redução do desperdício de materiais e melhoria nas condições de organização. De acordo com o autor, é recomendado o uso da argamassa de assentamento industrializada, por ser um produto mais uniforme e homogêneo.

Os blocos de concreto para alvenaria de vedação devem seguir a NBR 6136 (ABNT, 2007) – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria. Já nos casos do uso de blocos cerâmicos devem ser seguidos os procedimentos da NBR 15270 (ABNT, 2005) – componentes cerâmicos parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação.

Conforme a NBR 15270 (ABNT, 2005), a alvenaria de vedação utiliza-se de vários tipos de blocos com dimensões múltiplas que evitam o corte e o desperdício desses materiais. Os principais blocos encontrados são:

- Bloco principal: bloco mais usado na elevação de paredes, que pertence a uma família de blocos cujo comprimento é múltiplo de um módulo menos 1 cm (para a junta de argamassa);
- Bloco de amarração: blocos que permitem a amarração das paredes;
- Canaleta J e U: componentes em forma de J e U que permite as cintas de amarração, vergas e contravergas;
- Componentes complementares: blocos que integram as alvenarias, para fechar as modulações, como o compensador;

Para armazenar e estocar o material no canteiro de obras deve-se ter o cuidado de não dispor o mesmo em contato com o solo e com a umidade, garantindo a qualidade. Os projetos devem estar bem detalhados com passagens de dutos hidrossanitários e elétricos, evitando assim erros de execução. Deve estar detalhada também a locação de pilares, dimensões dos vãos, as elevações, posição de esquadrias, dentre outros elementos.

#### 2.4.2. Alvenaria de vedação com painéis de concreto pré-moldados

Conforme Debs e Ferreira (2013), a pré-fabricação exige um maior planejamento da construção pois o fornecimento de elementos construtivos é dividido entre diversas empresas. Isso demanda do projetista um maior conhecimento da montagem, de detalhes de encaixes e modulações, estimulando o desenvolvimento do projeto.

Para Franco (2013), a introdução de pré-moldados no canteiro de obras traz o conceito de construtibilidade, aumenta a industrialização e diminui a variabilidade dos sistemas, diminuindo a ocorrência de patologias. Podem ser destacadas as seguintes vantagens com o uso de pré-moldados:

- Aumento da industrialização, aumentando a produtividade de várias etapas;
- Diminuição do número de etapas de produção em canteiro, que serão feitas em usinas sobre melhores condições, tendo maior garantia e uniformidade;
- Diminuição da dependência da mão de obra;
- Exige-se o detalhamento de todos os sistemas, com a eliminação de improvisações no canteiro de obra;
- O uso de fôrmas de qualidade permite a produção de componentes com precisão dimensional, resultando na eliminação de camadas de regularização e ajuste para acabamentos;

Essas etapas de produção dos elementos e das estruturas pré-moldadas devem sempre seguir as normas técnicas, como diz o trecho abaixo:

A ABNT NBR 9062 estabelece as diretrizes para todos os documentos normativos específicos para os pré-moldados de concreto e se relaciona fortemente com as normas para estruturas convencionais, delimitando sua aplicabilidade e registrando as especificidades. Essa linearidade facilita o uso das normas e propicia o desenvolvimento de novos documentos, complementando as regras gerais da ABNT NBR 9062. (BATTAGIN, 2013, p. 119)

Segundo Von Kruger (2000), os painéis pré-moldados são produzidos a partir de fôrmas metálicas, podendo ser criados diversos modelos. A superfície externa dos painéis fica em contato com o fundo da fôrma metálica, garantindo a qualidade de acabamento do concreto dos painéis. Os mesmos podem ainda ter vários acabamentos, como alto-relevo, cerâmicas, pastilhas, pigmentos, pinturas. O autor afirma que ao se usar este tipo de painel, alguns cuidados devem ser tomados, como:

- No projeto deve constar: tamanho, configuração, seções, detalhes de juntas, conexões e cantos do edifício ou estrutura e acabamentos;
- O reforço da estrutura do painel deve ser considerado. Os painéis pré-moldados necessitam de vergalhões em aço ou tela soldada para resistir à tração. Para isso, opta-se por peças metálicas de seção reduzida, diminuindo-se o espaçamento entre barras. Pode ser usado protensão como reforço do concreto quando a espessura do painel for muito fina para o controle de rachaduras por retração;
- Os painéis pré-moldados devem resistir ao peso próprio e às cargas de vento, além de impactos de transporte e montagem. Outra carga adicional a ser considerada é o aumento dos esforços quando o painel possui a função de contraventamento;
- As deformações e movimentações da estrutura, provocadas por recalque de fundação e forças de vento podem afetar a integridade do painel. Para se evitar isto, deve-se levar em consideração tolerâncias de deformação;

#### **2.4.2.1. Tipos de painéis pré-moldados**

De acordo com a NBR 16475 (ABNT, 2017), os painéis de fechamento pré-moldados podem ser classificados quanto a sua seção transversal em painéis maciços, alveolares, nervurados, sanduíche, de parede dupla e reticulado misto.

##### **2.4.2.1.1. Painel de parede maciço**

Segundo a NBR 16475 (ABNT, 2017), esse tipo de painel é geralmente retangular, e as propriedades devem ser calculadas a partir da seção líquida descontando-se os ressaltos, como se pode ver na Figura 4.

Figura 4 – Painel maciço

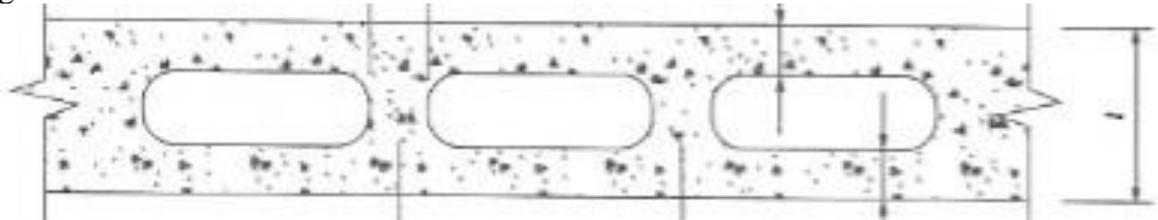


Fonte: NBR 16475, ABNT 2017.

#### 2.4.2.1.2. Painel de parede alveolar não estrutural

Segundo a NBR 16475 (ABNT, 2017), esse tipo de painel tem a seção alveolar com presença de alvéolos, e para os cálculos das propriedades deve-se descontar a largura máxima dos vazios, como na Figura 5.

Figura 5 – Painel alveolar

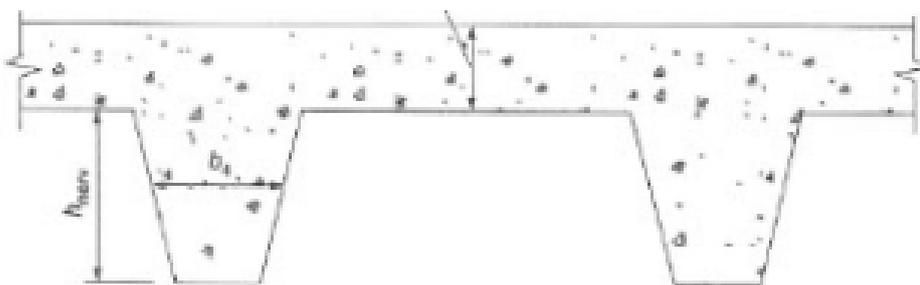


Fonte: NBR 16475, ABNT 2017.

#### 2.4.2.1.3. Painel de parede nervurado

De acordo com a NBR 16475 (ABNT, 2017), painéis nervurados apresentam nervuras que aumentam a resistência e a rigidez do elemento. Para fins de cálculo, deve-se considerar o trecho de seção maciça, conforme Figura 6.

Figura 6 – Painel nervurado



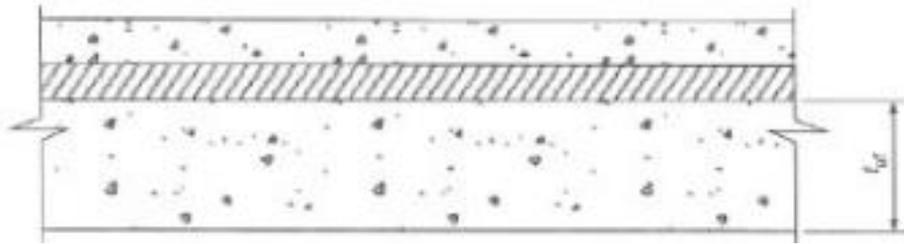
Fonte: NBR 16475, ABNT 2017.

#### 2.4.2.1.4. Painel de parede sanduíche sem ligação rígida

São painéis formados pela composição de dois elementos de concreto maciços preenchidos com material inerte entre eles. Para fins de cálculo, considera-se apenas a seção

estrutural formada pelo material de concreto, como mostra a Figura 7. (NBR 16475, ABNT, 2017).

Figura 7 – Pannel de parede sanduíche sem ligação rígida

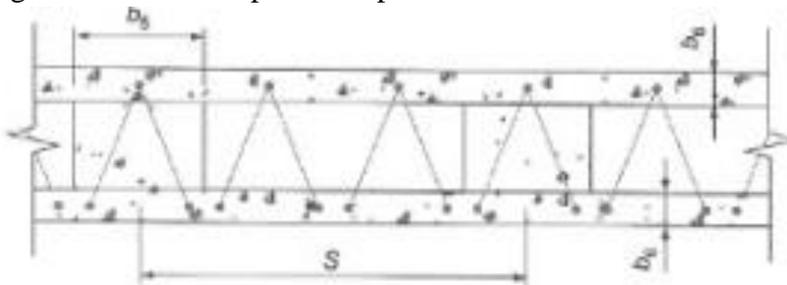


Fonte: NBR 16475, ABNT 2017.

#### 2.4.2.1.5. Pannel de parede dupla

De acordo com a NBR 16475 (ABNT, 2017), painéis de parede dupla são elementos formados por painéis maciços conectados por nervuras e/ou treliças, conforme Figura 8. Se o pannel for todo preenchido por concreto estrutural, deve atender as exigências do pannel maciço e se o preenchimento for parcial, comporta-se como um pannel alveolar. Caso a treliça tenha papel estrutural, deve ter tratamento para tal fim.

Figura 8 – Pannel de parede dupla

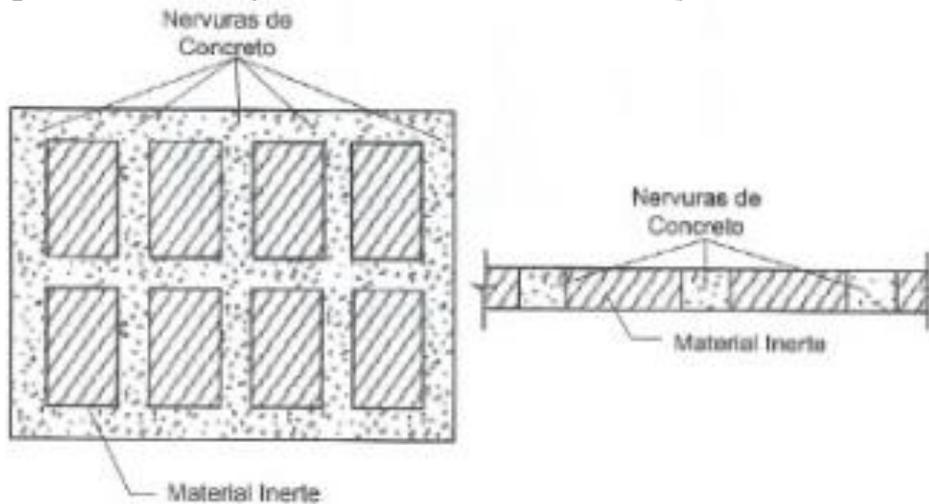


Fonte: NBR 16475, ABNT 2017.

#### 2.4.2.1.6. Pannel de parede reticulado misto, sem função estrutural

Conforme a NBR 16475 (ABNT, 2017), tratam-se de painéis em que a seção transversal é formada por nervuras de concreto armado e preenchida por material inerte, como segue na Figura 9, sendo dimensionados para suportar apenas a desfôrma, o manuseio, o transporte, a montagem e o vento.

Figura 9 – Pannel de parede reticulado misto, sem função estrutural



Fonte: NBR 16475, ABNT 2017.

## 2.5. Ligações

De acordo com a NBR 9062 (ABNT, 2006), ligação é um dispositivo usado para unir um conjunto de elementos, com a finalidade de transmitir os esforços em todas as suas fases de utilização, mantendo a durabilidade e a qualidade ao longo da vida útil da estrutura.

Para Van Acker (2002), o papel das ligações é interligar os elementos para compor um sistema único capaz de resistir a todas as forças atuantes. A ligação pode servir para conectar os elementos ou para transferir esforços.

As ligações entre os elementos pré-fabricados são de extrema importância. A correta especificação das ligações (projeto) e a correta execução (conforme projeto e materiais especificados) influem diretamente no comportamento da estrutura montada. Devem assegurar a rigidez e estabilidade global da estrutura (Associação Brasileira de Construção Industrializada de Concreto - ABCIC, 2015, p.70).

Segundo a NBR 16475 (ABNT, 2017), as ligações devem ser capazes de resistir a todos os tipos de esforços e deformações, podendo ser classificadas quanto à sua função em ligações de contraventamento, de gravidade e de alinhamento. Alguns mecanismos para essas transferências de esforços estão listados a seguir.

- Juntas horizontais com almofadas de apoio: materiais deformáveis que compensam irregularidades, podendo ter de 2 a 20 mm, como o neoprene, por exemplo.

- Ancoragem de barras e chumbadores: são barras que podem ser ancoradas por aderência, ganchos ou dobras;

A NBR 16475 (ABNT, 2017), a mesma norma ainda cita como métodos usados para as ligações as emendas de armaduras por transpasse, a adesão entre superfícies, as chaves de cisalhamento (faces dentadas), as ligações soldadas, os insertos metálicos e as ligações protendidas. Na Figura 10 pode-se ver uma ligação em pré-moldados.

Figura 10 – Ligações de pré-moldados



Fonte: ABCIC, 2015.

Em relação às juntas entre os painéis, conforme Van Acker (2002), as ligações entre painéis com qualquer elemento ou com outro painel devem ser muito bem executadas, garantindo impermeabilidade. Essas juntas devem ser preenchidas com um material selante, geralmente de silicone que é aplicado com pistola, que deve aderir nas duas faces e ser suficientemente flexível para absorver os movimentos.

## **2.6. Manuseio, armazenamento, transporte e controle de qualidade**

Conforme NBR 9062 (ABNT, 2006), deve-se fazer a movimentação de pré-moldados com máquinas e equipamentos apropriados em pontos de suspensão localizados nas peças de concreto, seguindo o projeto de içamento. Para a montagem, é necessário ter um planejamento, prevendo possíveis interferências, os acessos à obra e as sequências de montagem, sempre sendo acompanhado por um responsável técnico. O transporte deve ser realizado por veículos apropriados, respeitando limites de carga e comprimento.

A NBR 16475 (ABNT, 2017) afirma que o controle de qualidade deve ser feito em todas as etapas, da fase de produção até a montagem no canteiro de obras. Em relação ao

controle de aceitação de materiais e componentes dos painéis de parede, deve-se analisar o tipo de cimento, a trabalhabilidade e a resistência à compressão do concreto, o tipo e a qualidade dos agregados e aditivos, o diâmetro e tipo de armadura, entre outros. A mesma norma ainda prevê um controle de aceitação de componentes, indicando métodos e frequências de avaliação dos mesmos.

## 2.7. Isolamentos de paredes

Segundo Thomaz e Ishioka (2017), a escolha do sistema de isolamento térmico varia para cada situação. O ideal é buscar a melhor opção seguindo os requisitos a serem atendidos. Pode-se classificar o isolamento de paredes em três tipos: o isolamento pelo exterior, pelo interior e em parede dupla, usando diversos tipos de materiais. A aplicação do sistema de isolamento em parede dupla consiste na utilização de material isolante entre duas paredes. O material da parede pode ser de betão, tijolos e gesso acartonado e o isolamento pode ser feito com o uso de EPS (poliestireno expandido), também conhecido como isopor, XPS (poliestireno extrudido), lã de rocha, cortiça, placas de vidro celular, placas de fibra madeira, fibras naturais, painéis de materiais reciclados e outros.

Para fazer o isolamento pelo interior poderão ser usados os mesmos materiais do isolamento pelo exterior, que serão citados logo a seguir, porém são necessários maiores cuidados.

Para Chaiben (2014), *ETICS*<sup>1</sup> é um sistema formado por várias camadas de materiais que compõem um revestimento estanque para isolamento térmico e acústico. Essas camadas podem ser divididas em suporte, argamassa colante, isolamento térmico, camada de base e revestimento.

No isolamento pelo exterior, não é necessária uma cavidade entre as paredes, solução adequada para quando se necessitam paredes de menor espessura. O material isolante é aplicado diretamente na fachada do edifício e posteriormente revestido por uma camada de reboco. Atualmente é o método mais utilizado pois resolve a maior parte das questões de isolamento de forma eficiente e simples. Segundo o autor, os materiais mais utilizados são

---

<sup>1</sup> ETICS<sup>1</sup> é o nome comum do sistema, em diversas línguas, cuja tradução livre é *Sistema Composto de Isolamento Térmico pelo Exterior*.

EPS, XPS, cortiça, lã de rocha de alta densidade, placas de vidro celular, placas de fibras de amianto, placas de fibra madeira, placas de materiais reciclados, fibras naturais como o cânhamo, o algodão, o linho e outros. Para acabamento, pode ser aplicado reboco ou placas de pedras. (THOMAZ E ISHIOKA, 2017).

Segundo Cozza (2017), EPS é a sigla do poliestireno expandido, conhecido no Brasil como Isopor, e foi descoberto em 1949 pelos químicos Fritz Stastny e Karl Buchholz, quando trabalhavam em laboratórios da Alemanha.

Para Thomaz e Ishioka (2017), o EPS é um plástico celular e rígido, que pode se apresentar de várias formas e aplicações, é uma espuma de poliestireno moldada em forma de aglomerado de grânulos, utilizado em placas, sendo um excelente material de isolamento térmico. As principais vantagens do EPS são: leveza, resistência mecânica, baixa condutibilidade térmica, baixa absorção de água e insensível à umidade, fácil de manusear e colocar, resistente quimicamente, versátil e resistente ao envelhecimento.

### **2.7.1. Materiais isolantes**

Para Costa (2003), isolantes são materiais de baixo coeficiente de condutibilidade  $k$ . Esses materiais são normalmente porosos com elevada resistência térmica, devida à baixa condutibilidade de ar dos seus vazios. A finalidade do isolamento é evitar as trocas térmicas e manter a temperatura da parede a níveis adequados no calor e no frio. Segundo o autor, um bom isolante deve apresentar as seguintes qualidades:

- Baixa condutibilidade térmica;
- Resistir bem à temperatura em que é aplicado;
- Boa resistência mecânica;
- Ser inatacável por pragas;
- Ser incombustível;
- Não ser higroscópico e apresentar baixa porosidade à penetração do vapor de água;

Na Tabela 7 pode-se observar a equivalência de isolamento de diversos materiais comparados a um tijolo.

Tabela 7 – Equivalência de materiais isolantes

Uma espessura de 1 cm de isolante	Equivale a uma espessura de tijolo de:
Madeira de pinho	6 cm
Amianto	6 cm
Papelão corrugado	10 cm
Cortiça, lã de vidro	18 cm
Eucatex isolante	19 cm
Madeira de balsa	21 cm
Eucatex frigorífico	30 cm
Styropor	31 cm
Moltopren	42 cm

Fonte: Costa (2003)

De acordo com Thomaz e Ishioka (2017), o consumo de energia elétrica nas edificações corresponde a 45% do consumo do país. O objetivo é reduzir esse consumo em 50% para novas edificações e em até 30% para aquelas que originarem reformas. O isolamento térmico faz parte do conjunto de soluções exigidas e garante o conforto, que é um dos aspectos mais importantes de qualquer projeto arquitetônico.

### 2.7.2. Revestimentos de argamassa

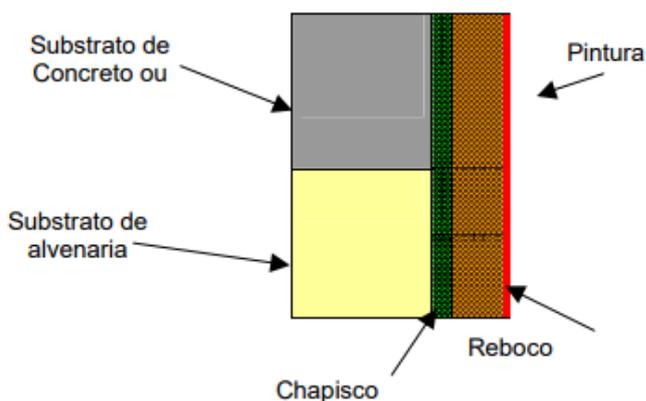
Segundo Santos (2008), os revestimentos de argamassa devem proteger os elementos das edificações da ação de agentes agressivos, regular a superfície dos elementos de vedação, servir de base para aplicação de outros revestimentos ou formar o acabamento final. Deve ter textura constante, ser livre de imperfeições, fissuras e manchas.

Para Carasek (2007), as principais funções de um revestimento são:

- Proteger a alvenaria e a estrutura contra o intemperismo nos revestimentos externos;
- Formar o sistema de vedação dos edifícios, colaborando com funções como isolamento térmico (~30%), isolamento acústico (~50%), estanqueidade à água (~70 a 100%), segurança ao fogo e resistência ao desgaste e abalos superficiais;
- Regularizar a superfície dos elementos de vedação e servir de base para acabamentos.

Santos (2008), mostra na Figura 11 a constituição das diversas camadas de um revestimento de uma parede, onde se tem como substrato uma camada de blocos de concreto ou de blocos cerâmicos.

Figura 11 – Estrutura de revestimento de uma superfície com pintura



Fonte: Santos (2008).

O chapisco, conforme Carasek (2007), é a camada de preparo da base com a intenção de uniformizar a superfície em relação à absorção e melhorar a aderência do revestimento. Já o emboço é uma camada de revestimento executada para cobrir e regularizar a base, proporcionando uma superfície que permita receber outra camada de reboco ou de revestimento. O reboco é enfim a camada que é utilizada para cobrimento do emboço, propiciando uma superfície que permita receber o revestimento ou que se constitui no acabamento final, tanto pintura como revestimento cerâmico.

### 2.7.3. Revestimento com pintura

Segundo Ikematsu (2007), a tinta é um material de construção civil utilizado em diversas situações devido as suas propriedades estéticas e protetoras. A modificação das suas propriedades é positiva, quando se compara a tinta refletiva com a tinta convencional. Geralmente as tintas convencionais utilizadas para melhoria do conforto térmico são de cor branca.

A intensidade da radiação solar emitida pelo sol varia de acordo com o intervalo de comprimento de onda. A refletância é uma propriedade física fundamental para se entender o

comportamento térmico dos materiais. Conforme a NBR 15220-1 (ABNT, 2005), que fala do desempenho térmico de edificações, “refletância é o quociente da taxa de radiação solar refletida por uma superfície, pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície”.

Conforme Dornelles *et al.* (2007), da radiação solar total que incide sobre um corpo opaco, uma parcela é refletida e outra é absorvida. A fração absorvida é transformada em calor e é proporcional a uma propriedade da superfície do corpo denominada absorvância ( $\alpha$ ). A parcela refletida é determinada pela refletância ( $\rho$ ) da superfície. De acordo com a autora, as cores que mais absorvem calor são de tons escuros, como o preto, que absorve 98% do calor, cinza-escuro (90%), verde-escuro (79%), azul-escuro (77%), amarelo-escuro (70%), marrom e vermelho-escuro (70%).

Ainda segundo Dornelles (2007), o tipo de acabamento da tinta também interfere na quantidade de calor absorvida: as tintas acrílicas com acabamento semi-brilho absorvem mais calor solar do que as acrílicas com acabamento fosco.

### **2.7.3.1. Tinta térmica**

Ainda não muito conhecida no Brasil, a tinta térmica está em fase de estudos e aplicações para testes, apesar de que em outros países já é largamente utilizada. A tinta térmica é feita a base de água e microsferas ocas de vidro importadas dos Estados Unidos. Essas esferas são células a vácuo, que não permitem a propagação de temperatura e som, tem a capacidade de refletirem os raios do sol, além de conferirem baixo coeficiente de condutividade térmica. Trata-se de uma tinta composta por elastômeros, não trinca, não envelhece, não descasca e não perde suas propriedades.

Além disso, revestir o telhado com a tinta térmica é uma boa alternativa para reduzir os impactos ambientais e o consumo energético com a refrigeração dos ambientes. Em São Paulo já há revendedores dessa tinta. Conforme Brito (2017), a tecnologia é da NASA e foi desenvolvida para revestir navios e aeronaves, porém o seu uso em telhados podem chegar a reduzir 60% do consumo de energia elétrica na refrigeração de ambientes.

#### 2.7.4. Revestimentos cerâmicos

Segundo a NBR 13816 (ABNT, 1997), Placas Cerâmicas para Revestimento são materiais compostos de argila e outras matérias-primas inorgânicas, geralmente utilizadas para revestir pisos e paredes, formadas por diversos processos de fabricação e apresentando qualidades de incombustão e resistência à luz solar.

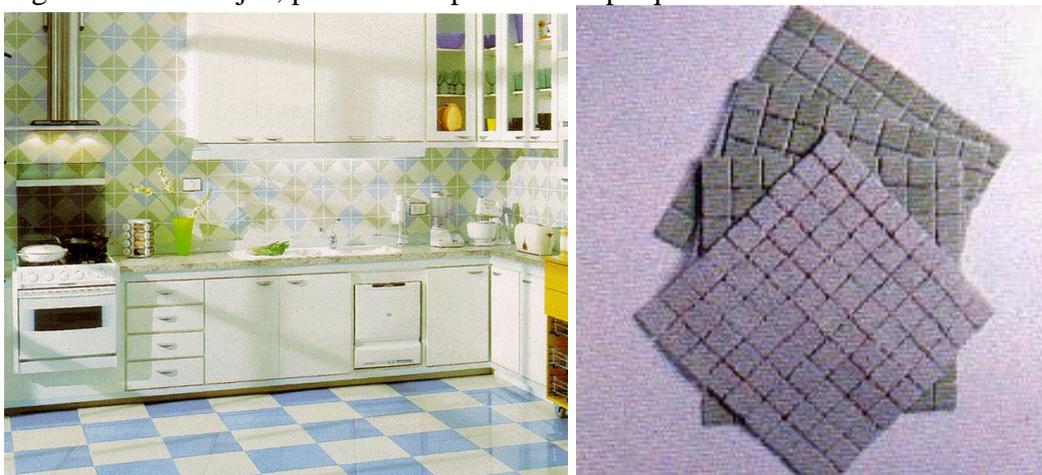
Para Santos (2012), escolher corretamente os materiais construtivos é uma etapa de grande importância, desde o projeto até a execução da obra. Para escolher um revestimento é necessária uma análise detalhada de três fatores para que a escolha seja correta. São eles:

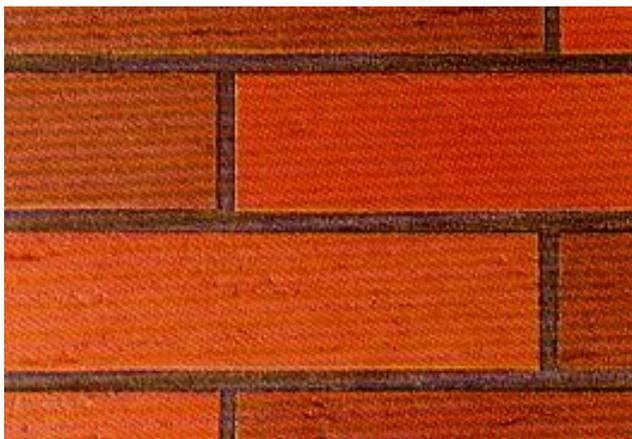
- O fator estético;
- O fator custo;
- O desempenho técnico necessário do revestimento;

Para Guedes (2017), os azulejos são classificados em três classes distintas: Classes A, B e C, dependendo da quantidade de imperfeições, visíveis ou não a olho nu.

As pastilhas de porcelana são fabricadas em porcelana e coladas em cartões de papelão, para facilitar a aplicação, podendo ser foscas ou esmaltadas. Já as plaquetas de laminado cerâmico (“litocerâmicas”) são peças que são fornecidas prontas para assentamento. Esses materiais podem ser vistos na Figura 12.

Figura 12 – Azulejos, pastilhas de porcelana e plaquetas de laminado cerâmico





Fonte: Guedes, 2017.

Todos esses materiais citados podem ser usados para revestir as paredes das edificações, dependendo do acabamento desejado, protegendo as fachadas das intempéries e proporcionando uma estética boa.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho visa um estudo comparativo de desempenho térmico entre tipos de vedações verticais em obras residenciais com a utilização de diferentes protótipos, com uma metodologia experimental, tendo a sua divisão em três partes: a caracterização dos materiais e montagem dos protótipos, medição e avaliação dos dados, análise dos cálculos e verificação das condições de conforto térmico.

Para a construção dos protótipos, que são apresentados abaixo, e sua medição, levou-se em conta requisitos da NBR 15575 (ABNT, 2013). O trabalho buscou analisar as questões térmicas, como resistência e transmitância térmica entre os diversos materiais constituintes dessas paredes ou vedações verticais, antes e após a aplicação de revestimentos (argamassa e pintura), verificando qual apresenta melhores condições de conforto térmico.

Devido à falta de espaço, ao tempo necessário para a confecção dos protótipos e à quantidade de medições, os três protótipos foram construídos na Linha Geraldo, no interior do município de Estrela - RS, em uma área de terra vazia, livre de objetos, pessoas, árvores, edifícios e com ótima incidência solar para facilitar a coleta de dados. Todos foram feitos com os mesmos tamanhos, e foi construída uma laje e um telhado em cima de cada protótipo com mesmo material, sendo que as paredes foram construídas com materiais diferentes, que foram analisadas neste trabalho. Na Figura 13 pode-se visualizar a planta de situação do local de construção dos protótipos, localidade próxima ao município de Teutônia e ao distrito de Costão, pertencente à Estrela. A Rodovia ERS 453, também conhecida como Rota do Sol, passa próximo ao ponto.

Figura 13 - Planta de Situação do local de construção dos protótipos



Fonte: Autor (2018).

Na Figura 14 pode-se observar a planta de localização do local de construção dos protótipos, notando-se o entorno, que é composto por uma área livre de qualquer interferência de incidência de sol.

Figura 14 - Planta de Localização do local de construção dos protótipos



Fonte: Autor (2018).

### 3.1. Caracterização dos materiais usados nos protótipos

Esses elementos têm dimensões externas de 1m x 1m x 1m, com mais 8 cm de espessura das lajes sobre os painéis, todos com a face que possui a abertura virada para o Norte, com caimento de 10 % na mesma direção, espaçados entre si de modo a não causar interferência na direção do vento nem sombreamento nos demais protótipos, conforme recomendações da NBR 15575 – 1. As estruturas possuem uma pequena porta, com dimensões de 20 cm x 20 cm, permitindo a entrada do sensor do aparelho de medição de temperatura, que foi vedada com um isopor, visando a perda mínima possível de calor.

Por se tratar de elementos reduzidos, sem sobrecarga e que não necessitam de função estrutural, não foram grauteados os pontos na alvenaria nem dimensionada uma laje com armadura, ela é igual nos três protótipos para se evitar interferência na análise de valores.

Para a construção dos protótipos, foram utilizados os materiais conforme Tabela 8.

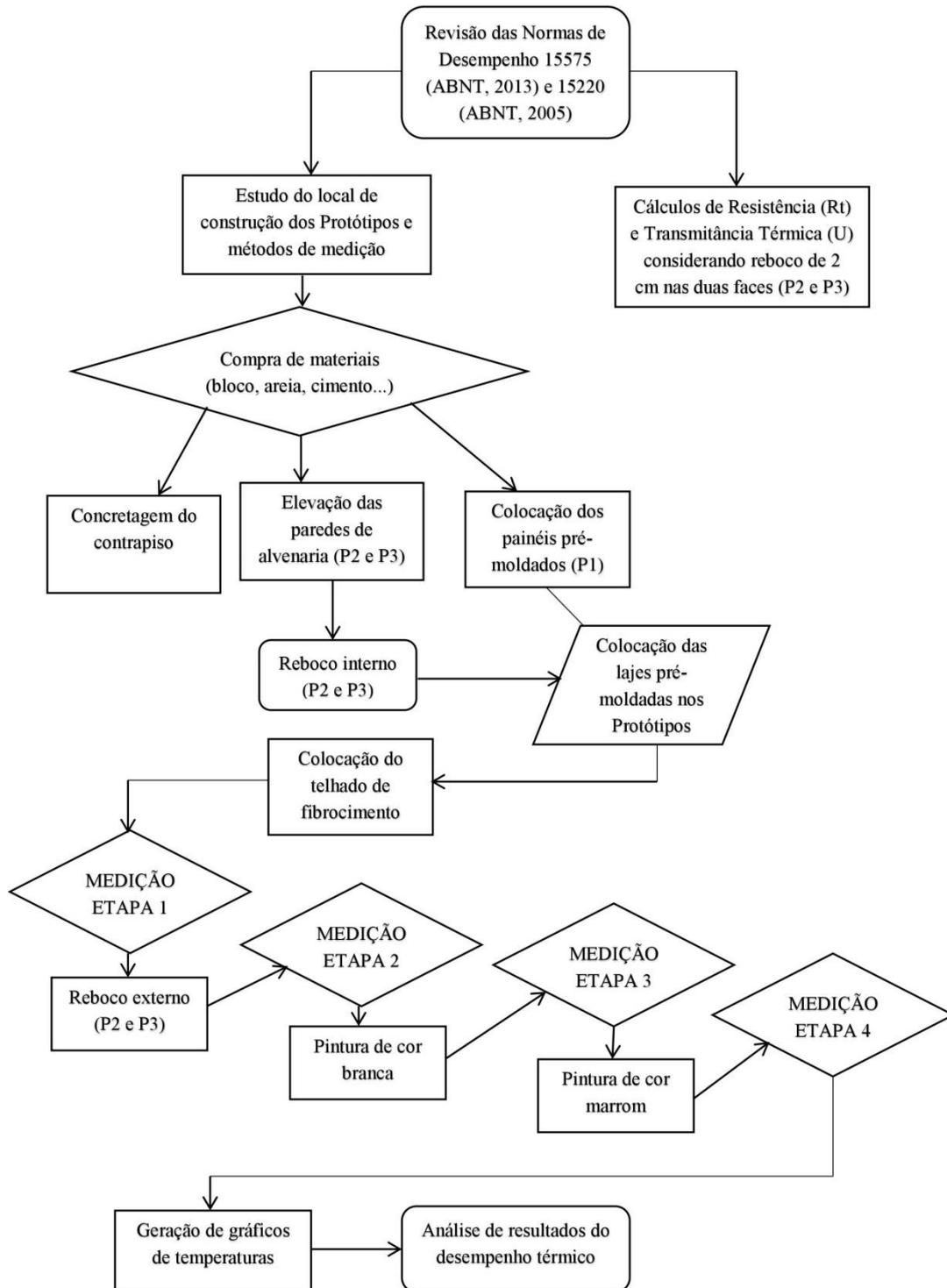
Tabela 8 – Materiais usados nos protótipos

ETAPA	MATERIAIS
Protótipo 1	Painéis pré-moldados de 10 cm de espessura e vedados com PU moldados e instalados pela empresa Moamar Artefatos;
Protótipo 2	Blocos de concreto vazados com 14 centímetros de espessura da Certel Artefatos de Cimento;
Protótipo 3	Blocos cerâmicos vazados com 14 centímetros de espessura da Cerâmica Bruxel;
Todos os protótipos	3 painéis pré-moldados de 8 cm de espessura para as lajes
	Brita 1, cimento CP IV e areia grossa para as vigas com inclinação para o telhado e o contrapiso no chão que é a base dos protótipos, com traço 1:3:3 (cimento, areia, brita);
	Areia fina, cimento CP IV e Cal Hidratada para assentamento e revestimento (chapisco e o emboço);
	Chapisco colante industrializado Quartzolit para chapisco interno;
	Selador acrílico para pintura do fundo da parede, antes da aplicação da tinta;
	Tinta acrílica de cores branca e marrom da marca Suvinil para pintura das paredes dos protótipos;
	Isopor de 20 x 20 cm para fechamento das aberturas, evitando perdas significativas de calor;
Telhas de fibrocimento de mm de espessura e sarrafos de madeira para o telhado com inclinação de 10%;	

Fonte: Autor (2017).

Na Figura 15, composta por um fluxograma, estão resumidas todas as etapas seguidas para a realização do trabalho, até a etapa final que é a análise de resultados.

Figura 15 – Fluxograma das etapas do trabalho



Na Figura 16 é possível ver o projeto do protótipo 1, de painéis pré-moldados.

Figura 16 – Protótipo 1



Fonte: Autor (2017).

Na Figura 17 é possível observar o projeto do protótipo 2, de blocos de concreto.

Figura 17 – Protótipo 2



Fonte: Autor (2017).

Na Figura 18 é possível ver o projeto do protótipo 3, composto de blocos cerâmicos.

Figura 18 – Protótipo 3



Fonte: Autor (2017).

### **3.2 Etapas de construção e montagem dos protótipos**

Para construir os protótipos, uma série de etapas teve que ser seguida. Primeiramente, escolheu-se um local livre de vegetação e sombreamento, foram feitas as demarcações dos locais dos protótipos e a distância entre eles para que não fizessem sombras nos demais, todos com o mesmo alinhamento solar e incidência direta do sol, foi ajustado o nível do terreno para fazer a fôrma para a concretagem do contrapiso, conforme Figura 19.

Figura 19 – Fôrma para a concretagem do contrapiso



Fonte: Autor (2017).

Em seguida, foi realizada a concretagem do contrapiso, conforme Figura 20. Para a cura do contrapiso, optou-se por molhar o concreto por 5 dias seguidos para que não ocorressem fissuras.

Figura 20 – Concretagem do contrapiso



Fonte: Autor (2017).

Com as bases do contrapiso concluídas, foi possível observar as elevações das paredes dos protótipos de blocos de concreto e de blocos cerâmicos usando uma modulação projetada para evitar cortes e desperdícios de materiais, conforme Figura 21.

Figura 21 – Elevação das paredes de alvenaria



Fonte: Autor (2017).

Depois de concluídas as paredes dos dois protótipos, concretou-se uma viga para proporcionar a inclinação de 10% no telhado de fibrocimento, aproveitando para deixar esperas de aço rosqueáveis para a fixação das lajes pré-moldadas, conforme Figura 22.

Figura 22 – Concretagem das vigas e colocação de esperas para fixação das lajes



Fonte: Autor (2017).

Como não seria possível realizar o revestimento de argamassa depois da colocação das lajes, optou-se por adiantar essa tarefa. Devido ao tamanho do protótipo internamente e a dificuldade de realizar o chapisco, utilizou-se um chapisco colante industrializado que proporcionou uma boa aderência para a próxima camada, o reboco, conforme Figura 23.

Figura 23 – Aplicação de chapisco industrializado



Fonte: Autor (2017).

Sobre o chapisco realizou-se a camada de reboco com espessura de 2 cm, conforme Figura 24, utilizando areia fina, cimento CP IV e Cal Hidratada.

Figura 24 – Camada de reboco de 2 cm de espessura



Fonte: Autor (2017).

Posteriormente a essas etapas, foi instalado pela Moamar o Protótipo 3, composto de painéis pré-moldados, juntamente com as lajes dos 3 protótipos, conforme Figura 25. Os painéis possuem espessura de 10 cm de espessura e foram presos uns nos outros através de soldas feitas em cantoneiras colocadas com cantos. As lajes colocadas posteriormente foram parafusadas.

Figura 25 – Protótipo de painéis pré-moldados e lajes pré-moldadas



Fonte: Autor (2018).

Para finalizar a fase de construção, colocou-se os sarrafos e as telhas de fibrocimento sobre as lajes, concluindo os 3 protótipos, conforme Figura 26.

Figura 26 – Conclusão dos 3 protótipos



Fonte: Autor (2018).

Com os protótipos concluídos, começou-se a fase de análise de medições, que foram feitas em várias etapas, pois posteriormente foi aplicado revestimento argamassado externo e pintura, intercalando com novas análises de medições.

### 3.3 Métodos avaliativos de desempenho térmico

Para fazer a comparação do Desempenho Térmico dos materiais constituintes de cada protótipo e dos seus respectivos revestimentos, foram coletados dados de temperaturas internas e externas dos três protótipos, possibilitando a geração de gráficos comparativos onde foram analisadas as diferenças. Os dados foram coletados através de um termo-higrômetro aferido, conforme Figura 27.

Figura 27 – Termo-higrômetro usado para a coleta de temperatura e umidade



Fonte: Autor (2018).

Este aparelho coleta dados de temperatura interna e externa, (máximas e mínimas) do dia, e a umidade relativa do ar interna em formato digital, facilitando a visualização de todos os dados em uma tela. Possui um cabo com uma ponta de aço inox de 2,8 metros para maior precisão nas coletas de dados. Este dispositivo é da marca Incoterm e apresenta as seguintes características:

- Faixa De Medição Interna: 0°C À 50°C (32°F À 122°F)
- Faixa De Medição Externa: -50° À 70°C (-58°F À 158°F)
- Resolução Interna / Externa: 0,1°C / °F
- Precisão: ± 1°C / °F
- Faixa De Medição Da Umidade: 15 À 95 Ur
- Resolução: 1 Ur
- Precisão: ±5 Ur
- Dimensões: 35 X 27mm

Os dias tomados para análise correspondem a dias típicos de projeto, nesse caso, de dias de verão, precedidos por um dia com características semelhantes. A NBR 15575-1 recomenda como regra geral, trabalhar com uma sequência de três dias. Para fazer a análise pode-se considerar os dados do terceiro dia ou fazer uma média deles.

Para cada coleta de dados iniciou-se com as medições de temperatura externa, onde o termo-higrômetro precisa de 5 minutos para realizar a correta coleta de dados, conforme manual do fabricante. Após a anotação dos dados em uma planilha, zerou-se o termo-higrômetro e com auxílio de uma haste colocou-se o cabo com a ponta do aparelho dentro do protótipo em uma posição interna central através de um pequeno orifício na porta lateral do protótipo, conforme Figura 28, cronometrando mais 5 minutos para coleta de dados do protótipo 1, e assim sucessivamente para os demais, sempre nessa ordem e respeitando o tempo de 5 minutos para a estabilização do aparelho.

Figura 28 – Coletas de dados com o termo-higrômetro



Fonte: Autor (2018).

Conforme Pinto (2011), para realizar as medições o ideal seria usar um aparelho igual ou similar ao *datalogger*<sup>2</sup>, pois ele armazena todos os dados, permitindo ao operador maior segurança e dispensando ele de estar junto no momento da coleta, melhorando a qualidade dos

---

<sup>2</sup> Um aparelho computadorizado que registra informações transmitidas por outros dispositivos, armazenando-o para download para um computador para análise.

dados, que podem ser medidos em intervalos de 1 minuto. Segundo a autora, foram respondidos formulários junto com as medições, que foram feitas em quatro momentos durante o dia, trabalhando-se com as médias das medições de todos os participantes nestes horários.

De acordo com o trabalho de Minella e Krüger (2016), foram realizadas medições das variáveis microclimáticas em dois dias de tempo bom, em situação de verão, por um período de 6 horas. Utilizaram-se micro estações meteorológicas HOBO da Onset, equipadas com sensores de temperatura e umidade, de direção e velocidade do vento e termômetros de globo.

Para este trabalho, como não foi possível a locação de aparelhos desse porte, como termômetro de globo ou datalogger, utilizou-se um termo-higrômetro e estipulou-se um número de dias e horários para a coletas de dados.

As medições foram realizadas em vários dias, com um mínimo de 3, todos com as mesmas condições climáticas apresentando sol e sem a ocorrência de chuva no dia anterior, sendo que sempre foram coletadas 4 medições por dia, às 09:00, 12:30, 16:00 e às 19:30, sempre nos mesmos horários para todos os 3 protótipos. As coletas seguiram um procedimento padrão em todos os dias e em todas as coletas.

Segue abaixo a Tabela 9, com as quatro etapas de medições e coletas de dados.

Tabela 9 – Etapas de medições e coletas de dados

<b>Etapa</b>	<b>Etapas de medições</b>
1	Após a aplicação do revestimento interno e antes do revestimento externo;
2	Após a aplicação do revestimento externo nos protótipos com blocos;
3	Após a aplicação do Selador e da tinta Branca;
4	Após a aplicação da tinta Marrom;

Fonte: Autor (2018).

Após a coleta de dados da primeira etapa, foi realizada a etapa de aplicação de revestimento de argamassa externa nos protótipos compostos por blocos (visto que em painéis pré-moldados isso não é usual) com chapisco e reboco, e novamente se fez as medições.

Seguem abaixo as Figuras 29 e 30, mostrando as fases de aplicação de chapisco e reboco.

Figuras 29 - Aplicação de chapisco nos protótipos de blocos



Fonte: Autor (2018).

Figura 30 – Aplicação de reboco para a 2ª etapa de medições



Fonte: Autor (2018).

Em todas as etapas foram respeitadas as mesmas condições, com a medição feita em diversos dias e sempre nos mesmos horários, sucessivamente após a aplicação de pintura de cor branca e de cor marrom, conforme Figuras 31 e 32.

Figuras 31 e 32 - Pinturas com tinta branca e marrom



Fonte: Autor (2018).

Para verificação do desempenho térmico dos protótipos, baseando-se nas normas brasileiras de desempenho térmico de edificações, foram seguidos os métodos apresentados na NBR 15575 (ABNT, 2013). O cálculo da Transmitância e Resistência Térmica foi desenvolvido de acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2005) parte 2, para comprovar o cumprimento dos requisitos mínimos do material do sistema de vedação, considerando os protótipos após a aplicação do revestimento de argamassa interna e externa.

Por meio dos resultados é possível ter conhecimento e melhorar o modelo que apresenta as melhores condições térmicas para futuras construções, oferecendo melhor conforto térmico para as residências, possibilitando também um menor consumo de energia elétrica. Além disso, é possível desenvolver novos materiais e aumentar ainda mais os níveis do desempenho dos isolantes.

## 4. ANÁLISES DE RESULTADOS

A fim de alcançar os objetivos e fazer a comparação do desempenho térmico dos diversos materiais que foram usados na construção e revestimento dos protótipos, fez-se diversos cálculos seguindo a NBR 15220-2/2005 e gerou-se vários gráficos a partir das medições realizadas nos protótipos.

### 4.1. Resultados dos cálculos através da NBR 15220-2/2005

Abaixo seguem os resultados dos cálculos através da NBR 15220-2/2005, dispostos na Tabela 10, com o memorial completo no Anexo A deste trabalho. Para os cálculos considerou-se a espessura dos blocos e painéis, com camada interna e externa de 2 cm de espessura nos Protótipos compostos por blocos (Protótipos 2 e 3). O nome dos protótipos 1, 2 e 3, são, respectivamente:

Protótipo 1 – Paredes de Painéis Pré-Moldados

Protótipo 2 – Paredes de Blocos de Concreto;

Protótipo 3 – Paredes de Blocos Cerâmicos

Tabela 10 - Resultados das análises térmicas dos protótipos

<b>CÁLCULOS</b>	<b>Protótipo 1</b>	<b>Protótipo 2</b>	<b>Protótipo 3</b>
Resistência Térmica Total ((m <sup>2</sup> .K)/W)	0,227	0,368	0,396
Transmitância Térmica Total (W/(m <sup>2</sup> .K))	4,403	2,718	2,526
Capacidade Térmica (kJ/(m <sup>2</sup> .K))	240,000*	94,711	127,510
Atraso Térmico (horas)	2,697*	2,162	2,921
Fator de Calor Solar (%)	11,447*	7,068	6,567

Fonte: Autor (2018).

Conforme a NBR 15220 (ABNT, 2005), a Resistência Térmica da parede é determinada através da soma das resistências das diversas camadas da parede, e corresponde à dificuldade da transmissão de calor. Quanto maior a resistência térmica, menor será o calor que irá atravessar a parede. A Transmitância Térmica é o inverso da resistência térmica total, trata-se do fluxo de calor que passa por unidade de área e por diferença de temperatura.

Já a Capacidade Térmica, conforme Costa (2003), é a quantidade de calor, por unidade de área, que precisa para aumentar uma unidade de temperatura de um componente. O atraso térmico corresponde ao tempo que a camada leva para equivaler as temperaturas externa e interna, quando estas tiverem diferenças.

A norma NBR 15575-5/2013 estabelece requisitos de transmitância e capacidade térmica para as zonas bioclimáticas em geral. Seguem na Tabela 11 as especificações para a Zona 2.

Tabela 11 – Requisitos da Zona Bioclimática 2

<b>Zona Bioclimática 2</b>	
Transmit. Térmica U (W/m <sup>2</sup> .K)	$U \leq 2,5$
Capac. Térmica CT (kJ / m <sup>2</sup> .K)	$CT \geq 130$

Fonte: Adaptado de NBR 15575-5/2013

Comparando os dados das Tabelas 10 e 11, em relação à Transmitância Térmica, pode-se perceber que apenas o Protótipo 3 se aproxima do valor estipulado pela Norma, que é até 2,5 W/(m<sup>2</sup>.K), enquanto que o protótipo 1 fica muito distante desse valor. Em relação à Capacidade Térmica, novamente o Protótipo 3 é o que mais se aproxima do valor estipulado que é  $\geq 130$  kJ / ( m<sup>2</sup>.K). Nesse item devemos desconsiderar o valor do Protótipo 1, pois as fórmulas utilizadas se apropriam para os casos de diversas camadas, como no caso dos Protótipos 2 e 3. Como pode-se perceber, o Protótipo 3 é o que possui o resultado mais satisfatório.

Conforme a norma NBR 15220-2/2005, o país é dividido em 8 zonas bioclimáticas e cada uma deve atender as suas recomendações de conforto térmico. Para cada zona são estabelecidas tipos de paredes e coberturas. Seguem as especificações a serem atendidas para a zona bioclimática 2, constituída de paredes leves, na Tabela 12.

Tabela 12 – Requisitos das Paredes Leves

<b>NBR 15220-2/2005 - Paredes Leves</b>	
Transmit. Térmica U (W/m <sup>2</sup> .K)	$U \leq 3,0$
Atraso Térmico ( $\phi$ ) hs	$\phi \leq 4,3$
F. Calor Solar (FCS) %	$FCS \leq 5,0$

Fonte: Adaptado de NBR 15220-2/2005

Comparando os valores das Tabelas 10 e 12, em relação à Transmitância Térmica, podemos observar que os Protótipos 2 e 3 apresentam resultados satisfatórios, com um melhor desempenho do Protótipo 3. Em relação ao atraso térmico e ao Fator de Calor Solar, onde desconsideramos os valores do Protótipo 1, encontramos valores aceitáveis no atraso térmico nos Protótipos 2 e 3, e no FCS o Protótipo 3 é o que mais se aproxima do valor requisitados. Pode-se ver que em todos os aspectos observados o Protótipo 3 sempre apresenta valores melhores, podendo-se afirmar que é o que possui um melhor desempenho térmico em função do material.

#### **4.2. Resultados das medições de Temperatura**

Para alcançar os objetivos do trabalho, foram realizadas medições de Temperatura nos protótipos e no ambiente externo, para posteriormente gerar gráficos e fazer a comparação dos valores, analisando o conforto térmico entre eles, em 4 etapas diferentes. Seguem elas: ETAPA 1 (antes do revestimento externo), ETAPA 2 (após a aplicação do revestimento externo nos protótipos com blocos), ETAPA 3 (após a aplicação de tinta branca) e ETAPA 4 (após a aplicação de tinta marrom). A planilha de medições está inserida no Anexo B do trabalho.

### 4.2.1. Etapa 1

Na primeira etapa foram analisadas as medições de temperatura feitas durante 5 dias, conforme consta no Anexo B, antes da aplicação do revestimento externo, ou seja, o reboco. Para não ocorrerem discrepâncias nos resultados, em cada horário medido descartou-se o dia com temperatura mais alta e o dia com a temperatura mais baixa, e fez-se uma média da temperatura dos demais dias, que obtiveram temperaturas parecidas. Essa média de temperaturas está exposta na Tabela 13.

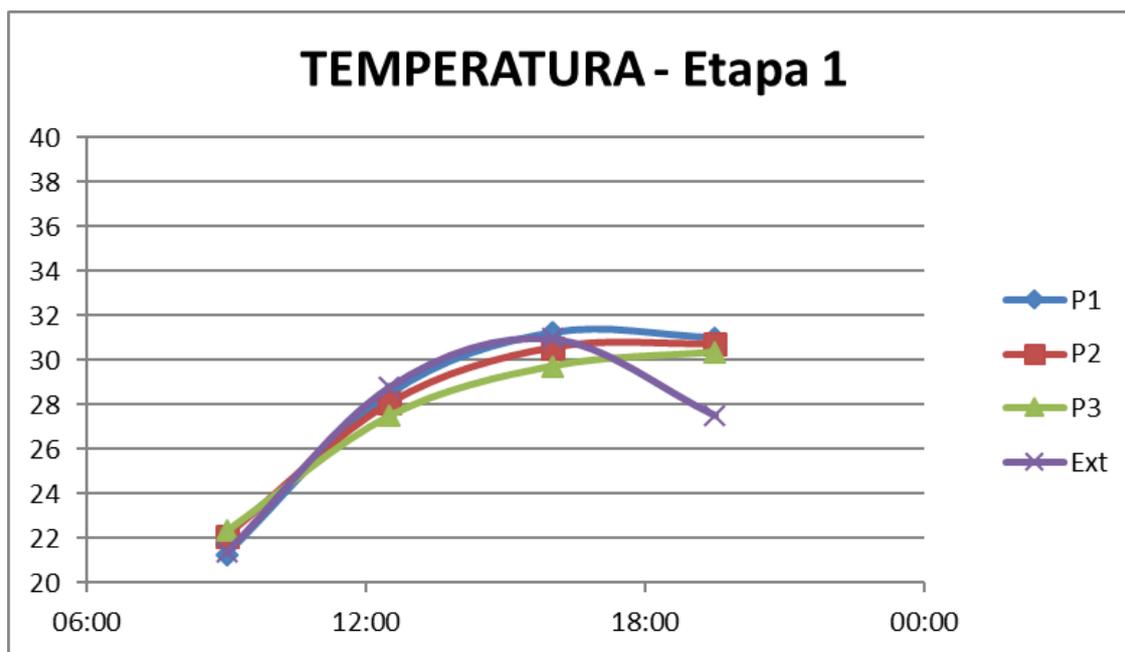
Tabela 13 – Média das medições de temperatura da Etapa 1

ETAPA 1				
Temp	P1	P2	P3	Ext
09:00	21,267	22,100	22,333	21,367
12:30	28,467	28,067	27,500	28,800
16:00	31,233	30,567	29,733	30,967
19:30	31,000	30,733	30,367	27,533

Fonte: Autor (2018).

Com estes dados foi gerado o Gráfico 1, que mostra a temperatura externa e a temperatura interna dos 3 protótipos em cada um dos 4 horários medidos.

Gráfico 1 – Temperaturas medidas na Etapa 1



Fonte: Autor (2018).

Com este gráfico, observa-se que existe uma pequena diferença entre os 3 protótipos, com temperatura crescente do Protótipo 3 para o Protótipo 1, concluindo-se que o Protótipo de blocos cerâmicos é o que apresenta menor temperatura ao longo do dia. No entanto, pela manhã, na primeira medição, o mesmo protótipo apresenta uma temperatura um pouco maior que os demais, o que aconteceu em todos os dias de medições. Com isso, podemos ver que o material cerâmico leva mais tempo para tanto para esquentar como para resfriar, o que se deve ao fato de possuir uma condutividade térmica menor que o concreto, conforme visto nos cálculos ( $\lambda$  concreto= 1,75 e  $\lambda$  cerâmica= 0,9 W /m.K).

Outra observação que pode ser feita é de que pela manhã, às 09:00 horas, a temperatura externa é próxima à da interna nos protótipos, sendo que nos Protótipos 2 e 3 ela é um pouco mais alta em relação à externa, o que é comum em construções quando se tem uma temperatura mais baixa. Já no horário do meio dia, às 12:30 horas, podemos observar uma diferença significativa entre as temperaturas internas com a externa, sendo esta bem maior em relação aos protótipos.

Às 16:30 horas a temperatura externa fica intermediária com a dos protótipos, maior que a do Protótipo 1, mas menor que os demais. No final do dia, às 19:30 horas, ocorre a maior diferença entre a temperatura externa e a interna medida nos protótipos, enquanto que a temperatura externa teve queda considerável, a temperatura interna está estabilizando, começando a baixar de forma devagar no Protótipo 1, e nos outros dois ela ainda está aumentando em relação à medição da tarde.

Isso mostra exatamente o comportamento das temperaturas ao longo do dia, que tende a aumentar consideravelmente ao longo do dia e baixar rapidamente ao anoitecer, diferentemente do que acontece dentro de uma construção ou residência, onde o papel das paredes é impedir que todo o calor passe para o ambiente interno. A temperatura nos protótipos demora mais para subir, mas permanece aumentando por mais tempo no final do dia, atingindo picos menores que externamente, com exceção do Protótipo 1, que por ser composto apenas por uma chapa de concreto, sem ventilação, acaba sendo mais quente que os demais.

Podemos observar no gráfico que o pico de temperatura interna e externa não ocorrem no mesmo horário, enquanto que a maior temperatura externa é registrada entre às 15 e 16 horas, a maior temperatura interna é atingida somente entre às 17 e 18 horas, justamente pela proteção das paredes que retarda essa passagem de calor.

## 4.2.2. Etapa 2

Na segunda etapa foram avaliadas as medições de temperatura feitas durante 5 dias, conforme o Anexo B, depois da aplicação do revestimento externo, ou seja, os 2 cm da camada de reboco. Da mesma maneira que na primeira etapa, em cada horário medido descartou-se o dia com temperatura mais alta e mais baixa, fazendo-se uma média dos demais dias, cujas temperaturas eram parecidas. Essa média de temperaturas está na Tabela 14.

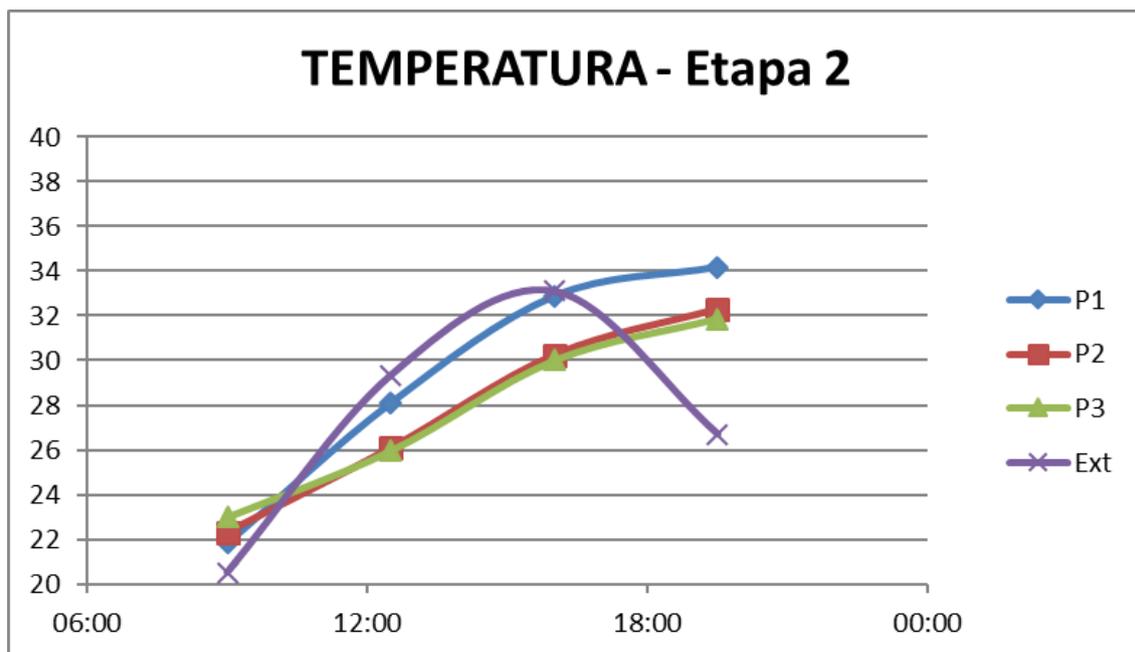
Tabela 14 – Média das medições de temperatura da Etapa 2

ETAPA 2				
Temp	P1	P2	P3	Ext
09:00	21,833	22,300	23,000	20,500
12:30	28,100	26,067	25,967	29,333
16:00	32,867	30,233	30,000	33,100
19:30	34,167	32,300	31,867	26,700

Fonte: Autor (2018).

Com estes valores gerou-se o Gráfico 2, que apresenta a temperatura externa e a temperatura interna dos 3 protótipos em cada um dos 4 horários medidos.

Gráfico 2 – Temperaturas medidas na Etapa 2



Fonte: Autor (2018).

Com a visualização do gráfico, podem-se observar vários aspectos e se fazer comparações com a primeira etapa. Como foi aplicado o reboco apenas nos Protótipos 2 e 3, pois o painel não necessita desse acabamento, pode-se constatar que a temperatura continua crescente do Protótipo 3 para o 1, mas dessa vez com uma diferença maior de temperatura do primeiro em relação aos outros, pois está se comparando dois protótipos com 18 cm de espessura (14 cm do bloco mais duas camadas de 2 cm de reboco + camada de ar) com um protótipo com apenas 10 cm de camada única de concreto.

Em relação às demais comparações, o gráfico segue o mesmo comportamento em relação à primeira etapa, com aumento rápido de temperatura externa e posteriormente queda da mesma forma, assim como o comportamento interno, que demora mais para esquentar, assim como para resfriar.

### 4.2.3. Etapa 3

Na terceira etapa foram avaliadas as medições de temperatura feitas por apenas 3 dias, conforme o Anexo B, depois da aplicação da pintura de cor branca, visto que o objetivo era somente fazer uma comparação sobre a eficiência do uso de cores diferentes. Segue na Tabela 15 a média dos 3 dias de medições.

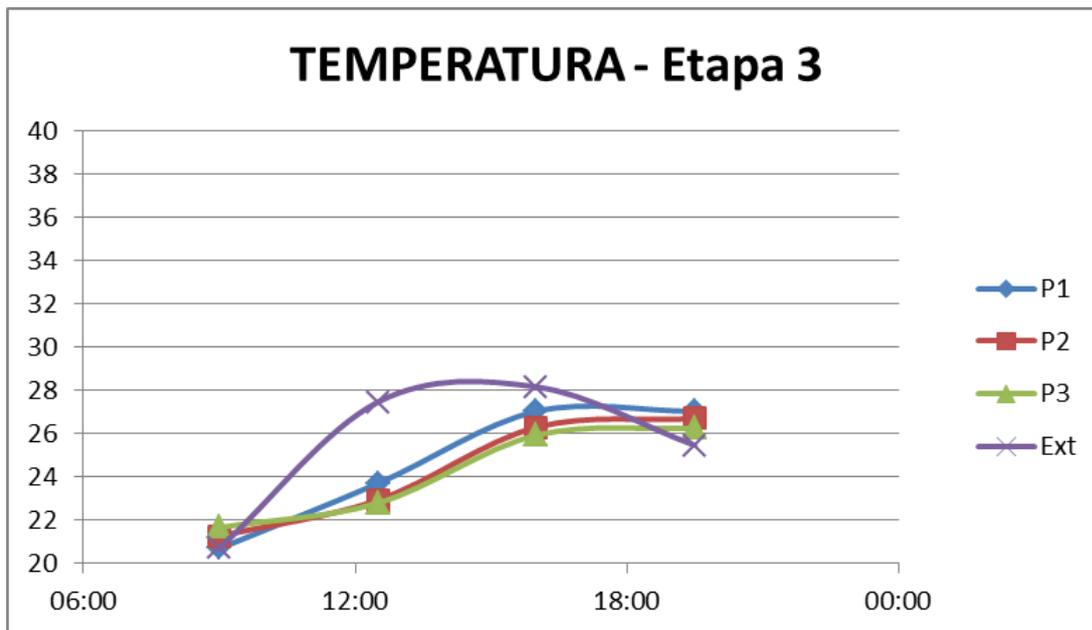
Tabela 15 – Média das medições de temperatura da Etapa 3

ETAPA 3				
Temp	P1	P2	P3	Ext
09:00	20,700	21,267	21,667	20,700
12:30	23,700	22,933	22,800	27,467
16:00	27,033	26,300	25,933	28,167
19:30	27,033	26,700	26,267	25,467

Fonte: Autor (2018).

Com estes dados foi gerado o Gráfico 3, que mostra a temperatura externa e a temperatura interna dos 3 protótipos em cada um dos 4 horários medidos.

Gráfico 3 – Temperaturas medidas na Etapa 3



Fonte: Autor (2018).

Com este gráfico, observa-se uma diferença maior entre as temperaturas internas com a externa, comparado aos Gráficos 1 e 2, antes da aplicação da tinta branca. A temperatura interna não ultrapassa a externa nos períodos intermediários, nos horários das 12:30 horas e das 16:00 horas, apenas pela manhã e no período vespertino, às 19:30 horas, com menor intensidade do que nas etapas anteriores.

Além de se ter uma redução muito significativa da diferença de temperatura durante o dia, ao anoitecer essa diferença é maior ainda. Nas etapas anteriores tinha-se diferença de 3 a 4° C da interna para a externa, chegando até 6° C de diferença, enquanto que após a pintura de cor branca essa diferença caiu para até 1,5° C, em que a interna ainda é maior que a externa.

#### 4.2.4. Etapa 4

Na quarta etapa foram verificadas as medições de temperatura feitas por apenas 3 dias, conforme o Anexo B, depois da aplicação da pintura de cor marrom, com o objetivo de comparar a eficiência com os demais revestimentos usados. Segue na Tabela 16 a média dos 3 dias de medições.

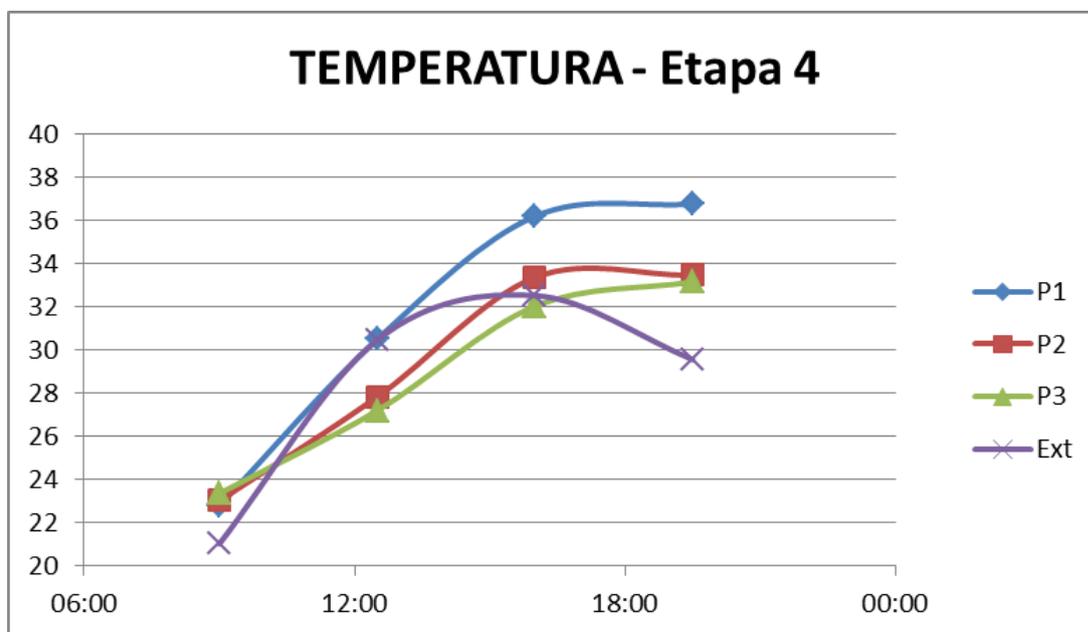
Tabela 16 – Média das medições de temperatura da Etapa 4

ETAPA 4				
Temp	P1	P2	P3	Ext
09:00	22,800	23,033	23,367	21,033
12:30	30,500	27,833	27,200	30,467
16:00	36,200	33,367	32,033	32,533
19:30	36,767	33,467	33,167	29,567

Fonte: Autor (2018).

Com estes valores foi criado o Gráfico 4, que mostra a temperatura externa e a temperatura interna dos 3 protótipos em cada um dos 4 horários medidos.

Gráfico 4 – Temperaturas medidas na Etapa 4



Fonte: Autor (2018).

Com a análise do gráfico, podem-se observar vários aspectos em relação à etapa anterior. Após a pintura das paredes com a tinta marrom, a temperatura interna voltou novamente a apresentar valores e diferenças maiores em relação à externa. Como nas outras etapas, a temperatura externa aumenta mais rapidamente, porém agora tem-se um registro de temperatura interna maior que a externa já na segunda medição, às 12:30 horas, e diferenças enormes no final da tarde, em que a temperatura interna chega a superar a externa em aproximadamente 7° C no Protótipo 1, que foi o mais atingido pela cor escura e teve seu comportamento muito alterado.

Comparando-se um protótipo com o outro, observa-se o mesmo comportamento dos outros gráficos, onde o melhor resultado encontrado sempre é o do Protótipo 3, de blocos cerâmicos. Os painéis pré-moldados vêm sendo muito usados e o mercado vem estimulando o seu uso devido aos diversos ganhos e vantagens que eles trazem, por isso deve-se ter o cuidado de escolher um material que atinja também os fatores mínimos de desempenho térmico, visto que isso não é levado em conta nem informado pelo fornecedor na hora da aquisição dos produtos, e como visto nos gráficos, um simples painel proporciona um conforto inferior comparado com um bloco com camada de ar e rebocado.

### 4.3. Outras análises

A fim de aproveitar os protótipos construídos, optou-se por fazer algumas análises adicionais, que não são necessárias para alcançar os objetivos do trabalho, apenas para complementá-lo e enriquecê-lo. Foram feitas medições também da Umidade Relativa do Ar em todas as etapas, além de testes com uma tinta térmica, adquirida através de um fornecedor da mesma, cujas medições estão no Anexo C. Na Figura 33 podemos ver os protótipos pintados com a tinta térmica.

Figura 33 – Protótipos pintados com a tinta térmica



Fonte: Autor (2018).

### 4.3.1. Análises de Umidade Relativa do Ar

As medições de Umidade estão em conjunto com as temperaturas, no Anexo A, e os gráficos gerados a partir de cada etapa de medição estão no Anexo D. Para fazer algumas análises, optou-se por pegar os dados de umidade medidos na Etapa 1, sendo que nas demais etapas o comportamento foi similar, apenas com mais variações de valores. A Tabela 17 mostra os valores da média de Umidade Relativa do Ar em porcentagem da Etapa 1.

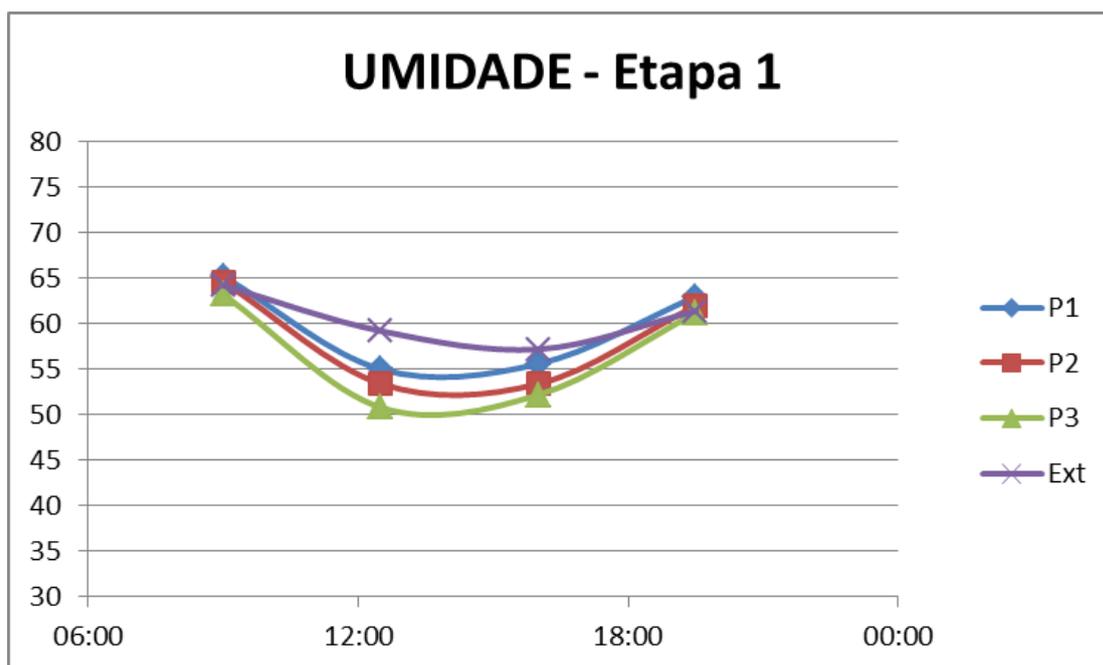
Tabela 17 - Média das medições de umidade da Etapa 1

ETAPA 1				
umid	P1	P2	P3	Ext
09:00	65,2	64,6	63,2	64,2
12:30	55	53,4	50,8	59,2
16:00	55,6	53,4	52,2	57,2
19:30	63	62	61,2	61,4

Fonte: Autor (2018).

Com estes valores foi criado o Gráfico 5, que mostra a umidade externa e a umidade interna dos 3 protótipos em cada um dos 4 horários medidos.

Gráfico 5 – Umidades medidas na Etapa 1



Fonte: Autor (2018).

Com este gráfico, é possível observar a diferença de umidade para cada protótipo. Estes valores não são extremamente precisos nem devem ser considerados para uma situação real, apenas para se fazer uma comparação, verificando-se qual o material que melhor atende, pois nos protótipos não haviam aberturas, que são determinantes para a ventilação e para o fator umidade. De maneira geral, todos os protótipos apresentam umidade inferior à externa, principalmente nos períodos das 12:30 horas e das 16 horas. O Protótipo 3 sempre possui a menor umidade, que é crescente do Protótipo 3 para o 1.

Já no período da manhã e da noite, o valor da umidade externa é intermediária com os valores internos dos protótipos, sendo maior que o Protótipo 3 e menor que os demais. Além disso, nesses horários temos os valores mais altos de umidade, que são os períodos com menos incidência de sol e calor. Nos períodos medianos, onde a temperatura é mais alta, a umidade é a mais baixa.

#### 4.3.2. Análises da aplicação da tinta térmica

Para complementar o trabalho e aproveitar os protótipos, optou-se por acrescentar a Etapa 5 e testar o uso da tinta térmica. Como não havia tempo para diversos dias de medições, usou-se 3 dias e fez-se a média das temperaturas, que estão expostas na Tabela 18.

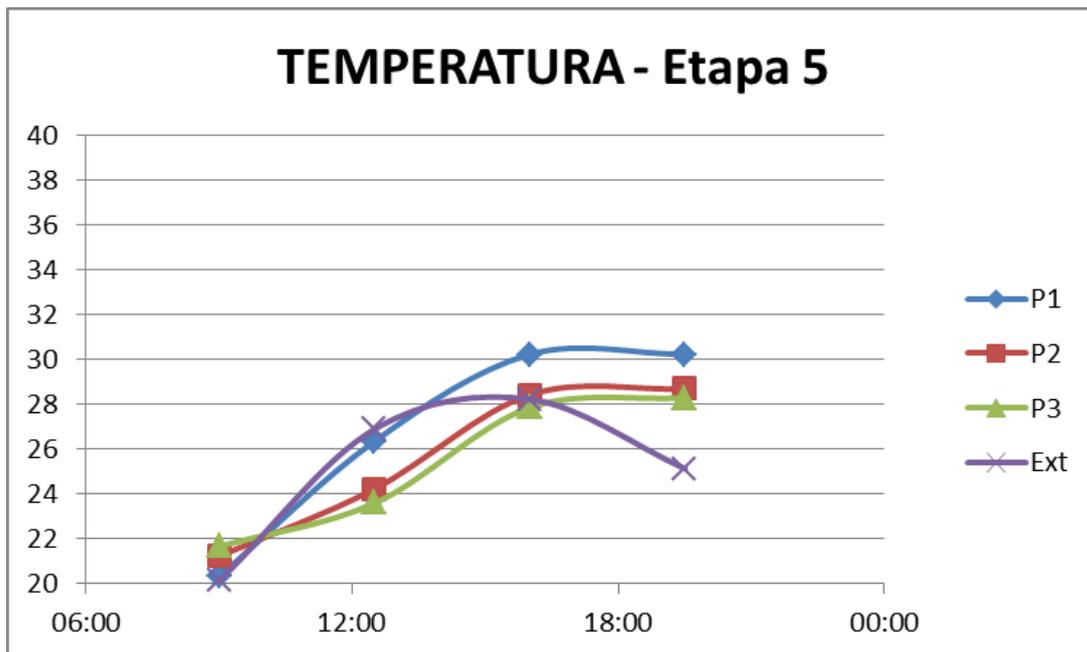
Tabela 18 - Média das medições de temperatura na Etapa 5

ETAPA 5				
Temp	P1	P2	P3	Ext
09:00	20,333	21,233	21,667	20,133
12:30	26,367	24,233	23,600	26,900
16:00	30,233	28,433	27,867	28,233
19:30	30,233	28,700	28,300	25,133

Fonte: Autor (2018).

Com estes valores foi criado o Gráfico 6, que mostra a temperatura externa e a temperatura interna dos 3 protótipos em cada um dos 4 horários medidos.

Gráfico 6 – Temperaturas medidas na Etapa 5



Fonte: Autor (2018).

Com este gráfico, observa-se que novamente houve uma melhora de eficiência em relação à etapa anterior, porém não o que se esperava em relação à essa tinta, que é uma promessa do mercado. Pode-se observar que pela manhã todos os protótipos apresentam temperatura maior que a externa, às 12:30 horas a externa é a maior de todas, enquanto que às 16:30 horas os Protótipos 1 e 2 já passam a temperatura externa. À noite todos apresentam uma temperatura mais alta que a externa, com diferença de aproximadamente 3°C para o Protótipo 3 e de 5°C para o Protótipo 1.

## 5. CONCLUSÕES

Os materiais usados neste trabalho, como os painéis pré-moldados, os blocos de concreto e blocos cerâmicos, são frequentes nas construções do nosso dia a dia, e por isso optou-se por analisá-los e fazer uma comparação térmica entre eles, além de analisar a melhora após a aplicação de diversos revestimentos, visto que existem normas técnicas que trazem certas exigências, como a NBR 15220 (ABNT, 2005) e a NBR 15575 (ABNT, 2013).

Com os cálculos das resistências e transmitâncias térmicas, pôde-se observar a diferença dos materiais, sendo que o protótipo de blocos cerâmicos foi o que melhor atendeu as normas. Após a realização das medições, confirmou-se essa questão: em todas as etapas o protótipo de blocos cerâmicos obteve resultados mais satisfatórios, com temperaturas e umidades mais baixas, enquanto que o protótipo de blocos de concreto permaneceu na faixa intermediária, e o protótipo de painéis pré-moldados com temperaturas e umidades mais altas, o que deve ser levado em consideração, visto que muitas obras são realizadas sem se preocupar com esse fator.

A utilização de processos construtivos industrializados, como os pré-moldados, que reduzem a mão de obra e o tempo de execução, tem ganhado cada vez mais destaque no mercado brasileiro, não só pelo custo, como também pela maior qualidade dos elementos e do acabamento, porém muitos não levam em conta o fator de desempenho térmico, acústico e estanque desses materiais e não exigem isso dos fabricantes. Para cada obra e tipo de construção deve ser analisado o que precisa ser atendido, buscando espessuras e acréscimo de materiais especiais que melhorem essas características.

Além da temperatura ser mais baixa no protótipo de blocos cerâmicos, pela manhã sempre teve temperaturas maiores, mostrando que sua condutividade térmica é mais baixa, levando assim mais tempo para permitir a passagem de calor. A umidade também se

apresentou menor, comprovando que a cerâmica absorve menos água do que o concreto, observando assim que é uma boa solução para melhorar o conforto das residências.

A tinta térmica, por sua vez, melhorou a condição da etapa anterior, porém não teve o resultado esperado, provavelmente por se tratar de uma tinta de cor muito escura, e que deveria ser melhor analisada. É uma sugestão para um próximo trabalho, de analisar mais essa tinta, dividindo em várias etapas, pintando as paredes externas, internas e o telhado.

A procura por conforto térmico é cada vez maior, visto que a preocupação ambiental e o gasto com energia elétrica são fatores importantes não só na hora de se construir, mas também na manutenção das construções. Deve-se pensar na melhor maneira de isolar o ambiente e dos melhores materiais e revestimentos a serem usados na obra, levando em conta vários fatores, como o custo, durabilidade, estética, conforto térmico e acústico.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13816 - **Placas Cerâmicas para Revestimento**. Rio de Janeiro, 1997.

\_\_\_\_\_NBR 15220 - **Desempenho Térmico de Edificações** – Parte 1. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_NBR 15220 - **Desempenho Térmico de Edificações** – Parte 2. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_NBR 15220 – **Desempenho Térmico de Edificações** – Parte 3. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_NBR 15270 - **Componentes cerâmicos** - Parte 1. Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação, 2005.

\_\_\_\_\_NBR 15575 - **Desempenho Térmico de Edificações** – Parte 1. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_NBR 15575 – **Desempenho Térmico de Edificações** – Parte 4. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_NBR 16475 - **Painéis de parede de concreto pré-moldado** – Requisitos e Procedimentos. Rio de Janeiro, 2017.

\_\_\_\_\_NBR 6136: **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria** – Requisitos. Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_NBR 9062: **Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado**. Rio de Janeiro, 2006.

ABCIC. **Pré-fabricados de concreto**. 2015. Curso básico de construção, São Paulo. Disponível em: <<http://site.abcic.org.br/index.php/cursos>>. Acesso em: 19 de agosto de 2017.

BATTAGIN, Inês. **Normas de pré-fabricados de concreto em destaque**. 2013. IBRACON, 72ª ed. Disponível em: <[http://ibracon.org.br/Site\\_revista/Concreto\\_Construcoes/revista-interna\\_69.php](http://ibracon.org.br/Site_revista/Concreto_Construcoes/revista-interna_69.php)>. Acesso em: 08 de agosto de 2017.

BRASIL. **Transmissão de calor por condução, convecção e radiação**. Departamento de Física UFPR. 2017. Disponível em: <<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2>>. Acesso em: 19 de dezembro de 2017.

BRITO, Vanessa. **Isolamento Térmico**. 2017. SEBRAE. Disponível em: <<http://sustentabilidade.sebrae.com.br/sites/Sustentabilidade/Para%E2%80%93sua%E2%80%93>

mpresa/Casos%E2%80%93sucesso/WC-Isolamento-T%C3%A9rmico >. Acesso em: 01 de março de 2018.

CARASEK, Helena. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo, IBRACON, 2007.

CHAIBEN, Cátia A. **Sistema de isolamento térmico de fachadas pelo exterior (ETICS): Avaliação preliminar de viabilidade para sua aplicação no Brasil**. 2014. Especialização em Construções Sustentáveis - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba. Disponível em: <<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/>>. Acesso em: 12 de agosto de 2017.

COSTA, Ennio C. **Física aplicada à construção: conforto térmico**. 4º ed. São Paulo, 2003.

COZZA, Eric. **Manual de utilização EPS na construção civil**. Associação Brasileira de Poliestireno Expandido – ABRAPEX. Disponível em: <<http://www.inconcreto.com.br/wp-folders/new/NBR%20EPS.pdf>>. Acesso em: 11 de agosto de 2017.

de MORAES, Eduardo et al. **Alvenaria de vedação com blocos de concreto**. 2011. Cartilha da Comunidade da Construção de Recife/PE. Disponível em: <<http://www.comunidade-da-construcao.com.br/upload/ativos/245/anexo/anexo04cart.pdf>>. Acesso em: 10 de agosto de 2017.

DEBS, Luciana; FERREIRA, Sérgio. **Potencial da utilização de aplicativos BIM para projetos com elementos pré-fabricados**. 2013. IBRACON, 72ª ed. Disponível em: <[http://ibracon.org.br/Site\\_revista/Concreto\\_Construcoes/revista-interna\\_69.php](http://ibracon.org.br/Site_revista/Concreto_Construcoes/revista-interna_69.php)>. Acesso em: 08 de agosto de 2017.

DORNELLES, Kelen, et al. **Influência das tintas imobiliárias sobre o desempenho térmico e energético de edificações**. 2007. Unicamp, SP. Disponível em: <[http://www.agencia.fapesp.br/arquivos/artigo\\_dornelles\\_roriz.pdf](http://www.agencia.fapesp.br/arquivos/artigo_dornelles_roriz.pdf)>. Acesso em: 09 de setembro de 2017.

FRANCO, Luiz. **O uso de pré-moldados em alvenaria estrutural**. 2013. IBRACON, 72ª ed. Disponível em: <[http://ibracon.org.br/Site\\_revista/Concreto\\_Construcoes/revistainterna\\_69.php](http://ibracon.org.br/Site_revista/Concreto_Construcoes/revistainterna_69.php)>. Acesso em: 08 de agosto de 2017.

FROTA, Anésia B.; SCHIFFER, Sueli R. **Manual do conforto térmico**. 8ª ed. São Paulo, 2007.

GUEDES, Milber. **Revestimento de tetos e paredes**. Companhia Estadual de Habitação e Obras Públicas. Editora PINI. Disponível em: <<http://187.17.2.135/orse/esp/ES00124.pdf>>. Acesso em: 09 de agosto de 2017.

IKEMATSU, Paula. **Estudo da refletância e sua influência no comportamento térmico de tintas refletivas e convencionais de cores correspondentes**. 2007. Dissertação de mestrado (Construção civil e urbana) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Disponível em: <[http://www.pcc.usp.br/files/text/thesis/2007\\_12\\_Paula\\_Ikematsu\\_KAI.pdf](http://www.pcc.usp.br/files/text/thesis/2007_12_Paula_Ikematsu_KAI.pdf)>. Acesso em: 01 de setembro de 2017.

INCROPERA, Frank P., et al. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. Rio de Janeiro, 2011.

LAMBERTS, Roberto et al. **Desempenho Térmico de Edificações. Laboratório de Eficiência Energética de Edificações**. Florianópolis - UFSC, 2016. Disponível em: <[http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ApostilaECV5161\\_v2016.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ApostilaECV5161_v2016.pdf)>. Acesso em: 03/08/2017.

LAMBERTS, Roberto et al. **Eficiência energética na arquitetura**. 2014. [3.ed.] Rio de Janeiro.

LOPES, Cícero. **Análise comparativa de carga térmica entre dois métodos de cálculo para um auditório**. 2013. Projeto de Graduação da Universidade Federal do Rio de Janeiro – RJ. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10007830.pdf>>. Acesso em: 11 de agosto 2017.

MINELLA, Flavia; KRÜGER, Eduardo. **Proposição do índice "fração vegetada" e sua relação com alterações na temperatura do ar e no conforto térmico no período diurno e em situação de verão para Curitiba**. 2016. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Curitiba. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1678-86212017000100353&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212017000100353&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em: 20 de dezembro de 2017.

PINTO, Norma. **Condições e parâmetros para a determinação de conforto térmico em ambientes industriais do ramo metal mecânico**. 2011. Dissertação de mestrado em Engenharia de Produção. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa. Disponível em: <<http://www.pg.utfpr.edu.br/dirppg/ppgep/dissertacoes/arquivos/184/Dissertacao.pdf>>. Acesso em: 19 de dezembro de 2017.

SANTOS, Daniel. **Revestimentos em fachadas: texturas x cerâmicas**. 2012. Dissertação (Especialização em Construção Civil). Escola de Engenharia – UFMG. Belo Horizonte. Disponível em: <<http://pos.demc.ufmg.br/novocecc/trabalhos/pg2/92.pdf>>. Acesso em: 10 de agosto de 2017.

SANTOS, Heraldo. **Ensaio de aderência das argamassas de revestimento**. 2008. Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia da UFMG. Belo Horizonte. Disponível em: <<http://pos.demc.ufmg.br/novocecc/trabalhos/pg1/Monografia%20Heraldo%20Barbosa.pdf>>. Acesso em: 08 de setembro de 2017.

THOMAZ, Bianca; ISHIOKA, Leandro. **Materiais de Construção: Isolamento Térmico**. Laboratório de Construção da Universidade do Porto. Disponível em: <[http://ciamh.up.pt/arma/wp-content/uploads/2014/08/G19\\_isolamento-termico.pdf](http://ciamh.up.pt/arma/wp-content/uploads/2014/08/G19_isolamento-termico.pdf)>. Acesso em 05 de agosto de 2017.

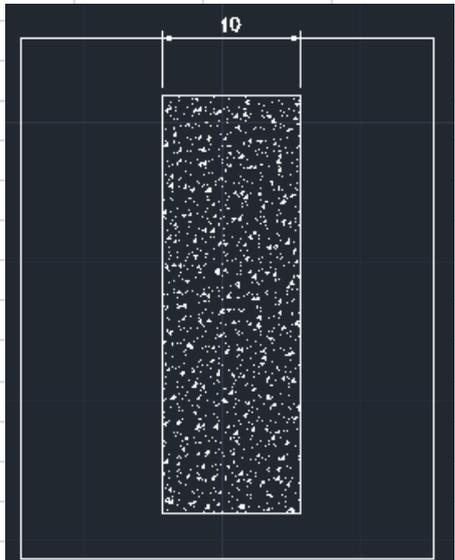
VAN ACKER, Arnold. **Manual de Sistemas Pré-Fabricados de Concreto**. São Paulo: ABCIC, Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto, 2002. Disponível em: <[http://apoioididatico.iau.usp.br/projeto3/2013/manual\\_prefabricados.pdf](http://apoioididatico.iau.usp.br/projeto3/2013/manual_prefabricados.pdf)>. Acesso em: 12 de agosto de 2017.

VON KRÜGER, P. G. **Análise de painéis de vedação nas edificações em estruturas metálicas**. 186 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2000.

## ANEXOS

Anexo A - Cálculos da NBR 15220-2/2005

<b>CÁLCULOS DE RESISTÊNCIA E TRANSMITÂNCIA TÉRMICA CONFORME NBR 15220-2</b>	
<b>PAREDE DE PAINÉIS PRÉ-MOLDADOS</b>	
Parede 100 x 100 cm	
Espessura do painel: 10 cm	
$\alpha =$	0,65
$R_{si} =$	0,13
$R_{se} =$	0,04
$\rho$ concreto =	2400 Kg/m <sup>3</sup>
$\lambda$ concreto =	1,75 W/(m.K)
$c$ concreto =	1 Kj/(Kg.K)
<b>Resistência Térmica</b>	
Área =	0,1 m <sup>2</sup>
$R =$	0,057143 (m <sup>2</sup> .K)/W
$R_t =$	0,057143 (m <sup>2</sup> .K)/W
<b>Resistência Térmica Total</b>	
$RT =$	0,227143 (m <sup>2</sup> .K)/W
<b>Transmitância Térmica</b>	
$U =$	4,402516 W/(m <sup>2</sup> .K)
<b>Capacidade térmica da parede</b>	
$CT =$	240 kJ/(m <sup>2</sup> .K)
<b>Atraso térmico</b>	
$\varphi =$	2,697388 hrs
<b>Fator solar</b>	
$F_{so} =$	11,44654 %



$$R = e/\lambda$$

$$R_t = \frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b}}$$

$$RT = R_{si} + R_t + R_{se}$$

$$U = \frac{1}{R_t} \quad Cta = \sum e_i * c_i * \rho_i$$

$$CT = \frac{Aa}{\frac{Aa}{Cta}} \quad \varphi = 1,382 * e * \sqrt{\frac{p * c}{3,6 * \lambda}}$$

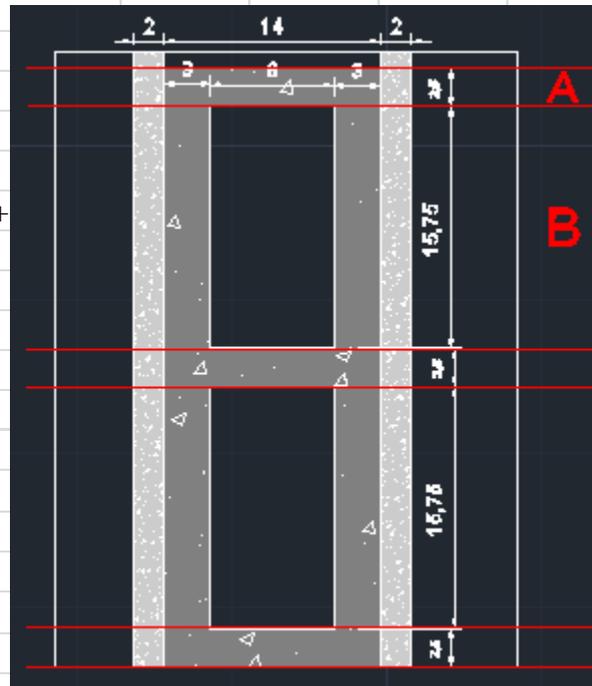
$$FSO = 4 * U * \alpha$$

## CÁLCULOS DE RESISTÊNCIA E TRANSMITÂNCIA TÉRMICA CONFORME NBR 15220-2

### PAREDE DE BLOCOS DE CONCRETO

Protótipo de 100 x 100 cm  
 Espessura do bloco: 14 cm  
 Espessura do reboco: 2 cm em cada lado  
 Camada A: concreto (14 cm) + reboco (4 cm)  
 Camada B: concreto (6 cm) + reboco (4 cm) +  
 camada de ar (8 cm)

$\alpha =$	0,65
$R_{si} =$	0,13 (m <sup>2</sup> .K)/W
$R_{se} =$	0,04 (m <sup>2</sup> .K)/W
$R_{ar} =$	0,17 (m <sup>2</sup> .K)/W
$p$ concreto =	2400 Kg/m <sup>3</sup>
$\lambda$ concreto =	1,75 W/(m.K)
$c$ concreto =	1 Kj/(Kg.K)
$p$ reboco =	2000 Kg/m <sup>3</sup>
$\lambda$ reboco =	1,15 W/(m.K)
$c$ reboco =	1 Kj/(Kg.K)



#### Resistência Térmica

Área a =	0,00475 m <sup>2</sup>
$R_a =$	0,114783 (m <sup>2</sup> .K)/W

Área b =	0,029925 m <sup>2</sup>
$R_b =$	0,239068 (m <sup>2</sup> .K)/W
$R_t =$	0,197867 (m <sup>2</sup> .K)/W

#### Resistência Térmica Total

$R_T =$	0,367867 (m <sup>2</sup> .K)/W
---------	--------------------------------

$$R = \frac{e}{\lambda} + R_{ar}$$

$$R_t = \frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b}}$$

#### Transmitância Térmica

$U =$	2,718376 W/(m <sup>2</sup> .K)
-------	--------------------------------

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se}$$

#### Capacidade térmica da parede

$C_{ta} =$	416 kJ/(m <sup>2</sup> .K)
$C_{tb} =$	80 kJ/(m <sup>2</sup> .K)
$CT =$	94,71103 kJ/(m <sup>2</sup> .K)

$$U = \frac{1}{R_t}$$

$$C_{ta} = \sum e_i \cdot c_i \cdot \rho_i$$

#### Atraso térmico

$B_o =$	54,71103
$B_1 =$	62,49002
$\varphi =$	2,161653 hrs

$$CT = \frac{A_a}{\frac{A_a}{C_{ta}}}$$

$$B_o = CT - C_{text}$$

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_o}{R_t}$$

#### Fator solar

$F_{so} =$	7,067778 %
------------	------------

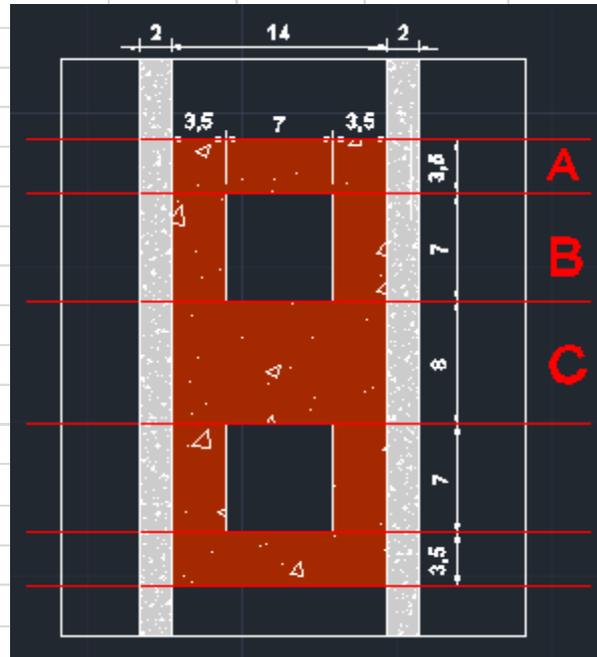
$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1}$$

$$F_{so} = 4 \cdot U \cdot \alpha$$

## CÁLCULOS DE RESISTÊNCIA E TRANSMITÂNCIA TÉRMICA CONFORME NBR 15220-2

### PAREDE DE BLOCOS CERÂMICOS

Protótipo de 100 x 100 cm  
 Espessura do bloco: 14 cm  
 Espessura do reboco: 2 cm em cada lado  
 Camada A/C: cerâmica (14 cm) + reb (4 cm)  
 Camada B: cerâmica (7 cm) + reboco (4 cm)  
 + camada de ar (7 cm)



$\alpha$ =	0,65
$R_{si}$ =	0,13 (m <sup>2</sup> .K)/W
$R_{se}$ =	0,04 (m <sup>2</sup> .K)/W
$R_{ar}$ =	0,17 (m <sup>2</sup> .K)/W
$\rho$ cerâmica=	1600 Kg/m <sup>3</sup>
$\lambda$ cerâmica=	0,9 W/(m.K)
$c$ cerâmica=	0,92 Kj/(Kg.K)
$\rho$ reboco=	2000 Kg/m <sup>3</sup>
$\lambda$ reboco=	1,15 W/(m.K)
$c$ reboco=	1 Kj/(Kg.K)

#### Resistência Térmica

Área a=	0,00665 m <sup>2</sup>	Área b=	0,0133 m <sup>2</sup>	Área c=	0,0152 m <sup>2</sup>
$R_a$ =	0,1903382 (m <sup>2</sup> .K)/W	$R_b$ =	0,28256 (m <sup>2</sup> .K)/W	$R_c$ =	0,1903382 (m <sup>2</sup> .K)/W
				$R_t$ =	0,2259376 (m <sup>2</sup> .K)/W

#### Resistência Térmica Total

$$RT = 0,3959376 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

$$R = \frac{e}{\lambda} + R_{ar}$$

$$R_t = \frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b}}$$

#### Transmitância Térmica

$$U = 2,5256507 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$$

$$RT = R_{si} + R_t + R_{se}$$

$$U = \frac{1}{R_t}$$

$$C_{ta} = \sum e_i \cdot c_i \cdot \rho_i$$

#### Capacidade térmica da parede

$C_{ta}$ =	286,08 kJ/(m <sup>2</sup> .K)
$C_{tb}$ =	80 kJ/(m <sup>2</sup> .K)
$C_{tc}$ =	286,08 kJ/(m <sup>2</sup> .K)
$CT$ =	127,51014 kJ/(m <sup>2</sup> .K)

#### Atraso térmico

$B_o$ =	87,510144
$B_1$ =	87,534322
$\varphi$ =	2,9213641 hrs

$$CT = \frac{A_a}{\frac{A_a}{C_{ta}}}$$

$$B_o = CT - C_{text}$$

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_o}{R_t}$$

#### Fator solar

$F_{so}$ =	6,5666917 %
------------	-------------

$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1}$$

$$F_{so} = 4 \cdot U \cdot \alpha$$

Anexo B – medições dos protótipos (ETAPA 1)

PROT.	DATA	HORA	TEMP (INT)	UMID (INT)	TEMP (EXT)	UMID (EXT)	CLIMA
1	27/jan	09:00	22,4	44	28,1	46	SOL
2			23,3	43			
3			24,8	42			
1	27/jan	12:30	28,2	52	31	60	SOL
2			27,4	51			
3			26,2	46			
1	27/jan	16:00	31,9	66	30,1	67	NUBLADO
2			30,6	59			
3			29,3	55			
1	27/jan	19:30	30,3	70	27,4	70	NUBLADO
2			30,3	70			
3			29,7	68			
1	30/jan	09:00	22	75	22,6	75	SOL
2			22,4	75			
3			22,5	74			
1	30/jan	12:30	30,4	65	27,8	66	SOL
2			30,2	65			
3			30	63			
1	30/jan	16:00	32,3	56	31,1	58	SOL
2			32,2	55			
3			32	55			
1	30/jan	19:30	30,8	64	28,5	62	SOL
2			30,7	62			
3			29,8	61			
1	31/jan	09:00	21	68	20,9	67	SOL
2			21,8	67			
3			22,1	67			
1	31/jan	12:30	27,3	54	29	57	SOL
2			27,1	52			
3			26,3	48			
1	31/jan	16:00	29,9	56	30	56	SOL
2			29,8	56			
3			28,7	55			
1	31/jan	19:30	30,8	63	27,1	63	SOL
2			30,1	63			
3			29,9	62			
1	01/fev	09:00	20,5	67	19,9	66	SOL
2			21,8	67			
3			22	64			
1	01/fev	12:30	27,7	47	29,6	52	SOL
2			26,9	44			
3			26,2	43			
1	01/fev	16:00	31,6	56	32,1	56	SOL
2			31,2	53			
3			30	53			
1	01/fev	19:30	31,8	65	28,1	60	SOL
2			31,2	64			
3			31,2	64			
1	02/fev	09:00	20,8	72	20,6	67	SOL
2			22,1	71			
3			22,4	69			
1	02/fev	12:30	25,1	57	27,1	61	SOL
2			24,4	55			
3			23,4	54			
1	02/fev	16:00	29,5	44	31,7	49	SOL
2			28,9	44			
3			27,9	43			
1	02/fev	19:30	30,9	53	27,1	52	SOL
2			30,7	51			
3			30,2	51			

ETAPA 2

1	04/fev	09:00	18,9	69	16,8	64	SOL
2			19,1	68			
3			19,9	68			
1	04/fev	12:30	26,7	52	27,6	62	SOL
2			23,5	42			
3			22,5	41			
1	04/fev	16:00	32,3	49	29,1	51	SOL
2			26,7	41			
3			26,5	40			
1	04/fev	19:30	32,5	56	27,2	56	SOL
2			29,3	53			
3			28,7	53			
1	05/fev	09:00	20,6	69	19,7	65	SOL
2			21,1	68			
3			21,7	67			
1	05/fev	12:30	27,6	49	28,8	52	SOL
2			25,3	47			
3			25	46			
1	05/fev	16:00	32,6	50	32,6	54	SOL
2			30	45			
3			29,5	42			
1	05/fev	19:30	32,8	51	27,9	51	SOL
2			31,5	50			
3			31,1	49			
1	06/fev	09:00	22,1	66	21	62	SOL
2			21,9	65			
3			22,4	65			
1	06/fev	12:30	28,1	50	29,1	50	SOL
2			26,2	42			
3			26,2	37			
1	06/fev	16:00	33	44	32,9	38	SOL
2			30,6	40			
3			30,6	41			
1	06/fev	19:30	34,6	51	29,3	54	SOL
2			33,4	51			
3			32,7	50			
1	07/fev	09:00	22,8	76	20,8	80	SOL
2			23,9	71			
3			24,9	70			
1	07/fev	12:30	28,6	50	30,1	61	SOL
2			26,7	41			
3			26,7	36			
1	07/fev	16:00	33	45	33,8	47	SOL
2			30,1	44			
3			29,9	44			
1	07/fev	19:30	35,1	48	22,9	48	SOL
2			32	47			
3			31,8	46			
1	08/fev	09:00	23,3	71	22,1	73	SOL
2			23,8	68			
3			25,2	67			
1	08/fev	12:30	31,4	41	34,7	48	SOL
2			29	40			
3			28,3	36			
1	08/fev	16:00	35,3	33	34,6	39	SOL
2			32,3	32			
3			31,6	27			
1	08/fev	19:30	37,3	41	33,6	39	SOL
2			33,7	41			
3			33,6	41			

ETAPA 3

1	09/fev	09:00	25,5	62	25,8	64	SOL
2			26,5	60			
3			26,8	57			
1	09/fev	12:30	30,6	47	34,5	52	SOL
2			29,3	45			
3			29,2	43			
1	09/fev	16:00	32,7	46	32,2	58	SOL
2			31,6	45			
3			31,4	42			
1	09/fev	19:30	31,3	62	26,6	57	SOL
2			31	61			
3			30,2	61			
1	12/fev	09:00	19,2	69	19,1	69	NUBLADO
2			19,6	69			
3			19,9	67			
1	12/fev	12:30	20,7	49	24,2	67	SOL
2			19,9	47			
3			19,7	47			
1	12/fev	16:00	24,3	37	26,2	47	SOL
2			23,8	36			
3			23,2	33			
1	12/fev	19:30	24,6	64	24,5	63	SOL
2			24,2	62			
3			23,8	62			
1	13/fev	09:00	17,4	68	17,2	67	NUBLADO
2			17,7	67			
3			18,3	66			
1	13/fev	12:30	19,8	47	23,7	66	SOL
2			19,6	40			
3			19,5	42			
1	13/fev	16:00	24,1	38	26,1	42	SOL
2			23,5	34			
3			23,2	32			
1	13/fev	19:30	25,2	47	25,3	51	SOL
2			24,9	47			
3			24,8	47			

ETAPA 4

1	16/fev	09:00	21,1	71	19,6	74	SOL
2			21,5	69			
3			22,2	68			
1	16/fev	12:30	30	57	29,6	59	SOL
2			26,3	55			
3			25,7	52			
1	16/fev	16:00	34,5	54	30,8	58	SOL
2			31,4	52			
3			30,1	51			
1	16/fev	19:30	36,1	62	29,1	65	SOL
2			31,9	61			
3			31,3	61			
1	17/fev	09:00	21,3	73	18,4	77	NUBLADO
2			21,4	72			
3			21,7	71			
1	17/fev	12:30	30,5	50	29,4	60	SOL
2			26,7	47			
3			26	43			
1	17/fev	16:00	36,3	48	32,5	49	SOL
2			32,8	45			
3			31,6	44			
1	17/fev	19:30	37,2	51	30,4	52	SOL
2			33,7	51			
3			33,6	50			
1	18/fev	09:00	26	52	25,1	59	SOL
2			26,2	52			
3			26,2	50			
1	18/fev	12:30	31	51	32,4	38	SOL
2			30,5	45			
3			29,9	45			
1	18/fev	16:00	37,8	40	34,3	45	SOL
2			35,9	32			
3			34,4	32			
1	18/fev	19:30	37	48	29,2	49	SOL
2			34,8	46			
3			34,6	46			

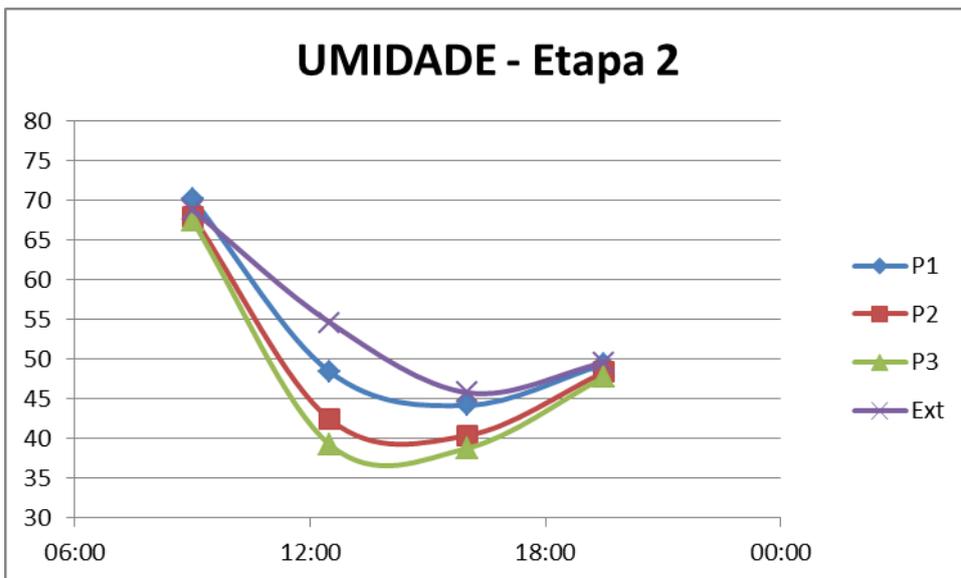
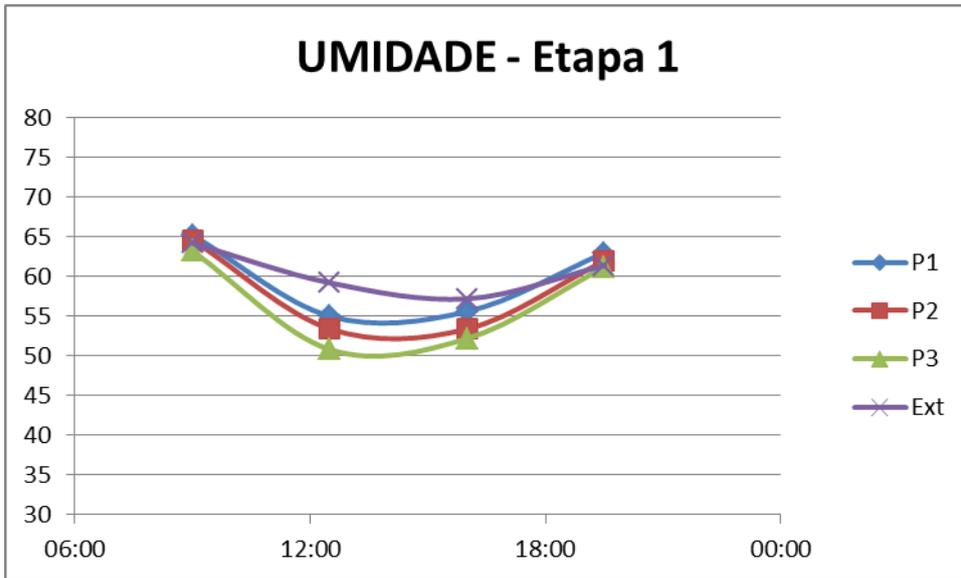
ETAPA 5 – Tinta térmica

1	22/fev	09:00	19,5	80	19,7	79	SOL
2			20,7	79			
3			21,2	78			
1	22/fev	12:30	24,7	50	25,8	62	SOL
2			22,3	47			
3			22,1	45			
1	22/fev	16:00	28	50	27	54	SOL
2			26,9	49			
3			26,5	47			
1	22/fev	19:30	28,3	70	22,6	62	SOL
2			27,2	70			
3			27	68			
1	23/fev	09:00	20,8	70	19,5	71	SOL
2			21,4	68			
3			21,8	66			
1	23/fev	12:30	26,9	59	26,4	63	SOL
2			24,7	54			
3			24,3	55			
1	23/fev	16:00	30,1	56	28	59	SOL
2			28	49			
3			27,6	46			
1	23/fev	19:30	30,4	58	25,8	58	SOL
2			28,5	57			
3			27,8	57			
1	24/fev	09:00	20,7	72	21,2	69	SOL
2			21,6	68			
3			22	66			
1	24/fev	12:30	27,5	52	28,5	56	SOL
2			25,7	44			
3			24,4	44			
1	24/fev	16:00	32,6	56	29,7	37	SOL
2			30,4	54			
3			29,5	49			
1	24/fev	19:30	32	65	27	62	SOL
2			30,4	62			
3			30,1	61			

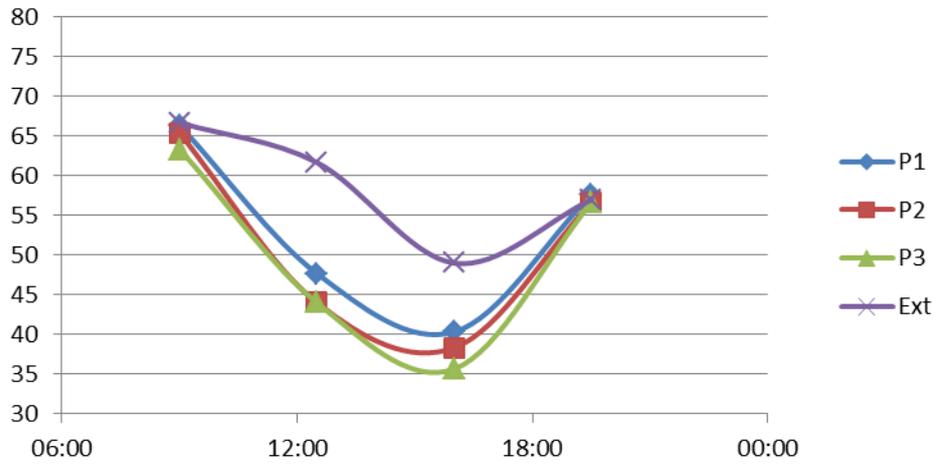
Anexo C

ETAPA 1				
umid	P1	P2	P3	Ext
09:00	65,2	64,6	63,2	64,2
12:30	55	53,4	50,8	59,2
16:00	55,6	53,4	52,2	57,2
19:30	63	62	61,2	61,4
ETAPA 2				
umid	P1	P2	P3	Ext
09:00	70,2	68	67,4	68,8
12:30	48,4	42,4	39,2	54,6
16:00	44,2	40,4	38,8	45,8
19:30	49,4	48,4	47,8	49,6
ETAPA 3				
umid	P1	P2	P3	Ext
09:00	66,33333	65,33333	63,33333	66,66667
12:30	47,66667	44	44	61,66667
16:00	40,33333	38,33333	35,66667	49
19:30	57,66667	56,66667	56,66667	57
ETAPA 4				
umid	P1	P2	P3	Ext
09:00	65,33333	64,33333	63	70
12:30	52,66667	49	46,66667	52,33333
16:00	47,33333	43	42,33333	50,66667
19:30	53,66667	52,66667	52,33333	55,33333
ETAPA 5				
temp	P1	P2	P3	Ext
09:00	20,33333	21,23333	21,66667	20,133333
12:30	26,36667	24,23333	23,6	26,9
16:00	30,23333	28,43333	27,86667	28,23333333
19:30	30,23333	28,7	28,3	25,133333

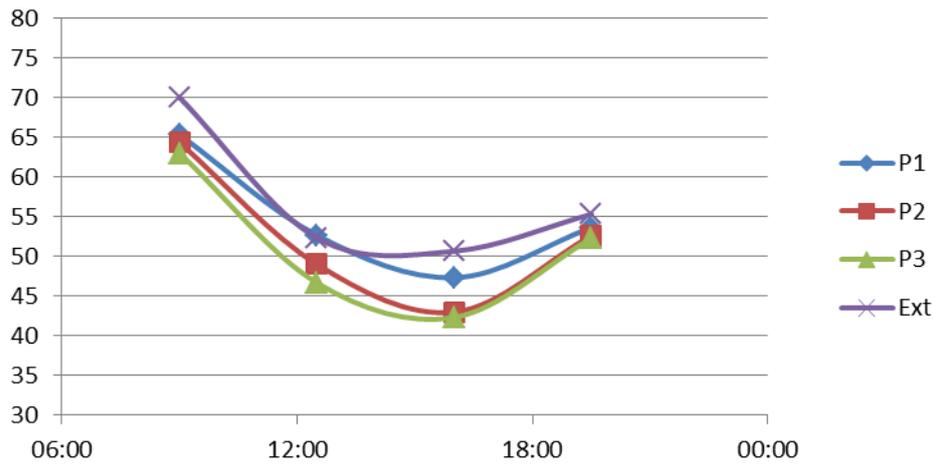
Anexo D



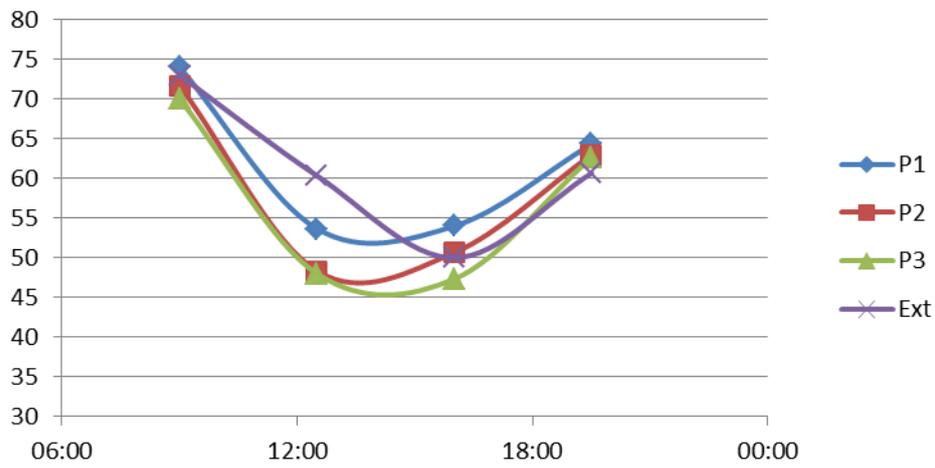
### UMIDADE - Etapa 3



### UMIDADE - Etapa 4



### UMIDADE - Etapa 5





**UNIVATES**

R. Avelino Tallini, 171 | Bairro Universitário | Lajeado | RS | Brasil  
CEP 95900.000 | Cx. Postal 155 | Fone: (51) 3714.7000  
[www.univates.br](http://www.univates.br) | 0800 7 07 08 09