

Fábio Nideck Monnerat

**A análise da influência da cor no desempenho térmico de  
envoltórias para o RTQ-C: estudo de caso do edifício Origem**

Belo Horizonte  
Escola de Arquitetura da UFMG  
2011

Fábio Nideck Monnerat

**A análise da influência da cor no desempenho térmico de envoltórias para o RTQ-C: estudo de caso do edifício Origem**

Monografia apresentada ao curso de Especialização em Sistemas Tecnológicos e Sustentabilidade Aplicados ao Ambiente Construído da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Sistemas Tecnológicos e Sustentabilidade Aplicados ao Ambiente Construído.

Orientadora: Iraci Miranda Pereira

Aos meus pais, por sempre estarem  
presentes.

A minha esposa, pelo carinho e paciência.

Ao meu filho, pela alegria contagiante.

“Corretamente usada, a cor pode expressar o caráter de um edifício e o espírito que pretende transmitir.”

**Stenn Eiler Rasmussen**

## RESUMO

Esse trabalho analisa a influência das cores utilizadas nas fachadas de um edifício comercial, localizado na cidade de Itabira-MG, na classificação do requisito de envoltória pelo método do RTQ-C. O pré-requisito avaliado é Cores e absorvância de superfícies, cujo desempenho na atenuação do ganho de calor é comparado com relação ao sistema de fachada utilizado na edificação. Primeiramente, calculou-se a transmitância térmica e os valores de absorvância da fachada do edifício segundo o RTQ-C. Posteriormente, utilizando o programa de simulação energética PowerDomus, foi modelada uma zona térmica do edifício, base para a comparação entre dois diferentes casos. O primeiro caso considerou o uso de dois diferentes sistemas de fachada, comparando o desempenho baixa absorvância e transmitância padrão com o de alta absorvância e transmitância baixa. O segundo caso compara o uso de diferentes valores de absorvância da fachada com baixa transmitância. Por fim são apresentadas as considerações feitas com base nos resultados obtidos nos cálculos e nas simulações.

**Palavras-chaves:** cores, envoltória, transmitância térmica, absorvância.

## ABSTRACT

This work examines the influence of colors used on the facades of a commercial building, located in the city of Itabira (MG, Brazil), in the classification of the envelope requirement by the method of RTQ-C. The prerequisite evaluated is colors and absorptance of surfaces, whose performance in the attenuation of heat gain is compared with the system used in the building facade. First, the thermal transmittance and absorptance values of the facade of the building are calculated, according to the RTQ-C. After that, using the simulation program PowerDomus energy, one thermal zone of building was modeled, which is the base for comparison between two different cases. The first case considered using two different facade systems, comparing the performance of standard transmittance and low absorptance with high transmittance and low absorptance. The second case compares the use of different values of absorptance with low transmittance facade. Finally, we present the considerations based on results obtained in calculations and simulations.

**Key-words:** *colors, envelope building, thermal transmittance, absorptance.*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Hotel Camino Real México, Legorreta .....	10
Figura 2 - Características da cor .....	11
Figura 3 - Modelo da ENCE .....	15
Figura 4 - Prédio Origem, fachada noroeste .....	18
Figura 5 - Vista claraboia.....	19
Figura 6 - Vista jardim interno .....	19
Figura 7 - Vista do vazio interno.....	19
Figura 8 - Vista pavimentos.....	19
Figura 9 - Esquema ventilação.....	20
Figura 10 - Fachada Sul.....	20
Figura 11 - Fachada nordeste .....	21
Figura 12 - Fachada noroeste .....	21
Figura 13 - Detalhe entrada.....	21
Figura 14 - Detalhe fachada .....	21
Figura 15 - Planta térreo .....	22
Figura 16 - Planta 2º pavimento .....	23
Figura 17 - Planta 3º pavimento .....	24
Figura 18 - Planta 4º pavimento .....	25
Figura 19 - Esquema envoltória utilizada .....	27
Figura 20 - Amostra de cores utilizadas, Painel Miniwave .....	30
Figura 21 - Interface programa PowerDomus Full 2008(Beta) .....	31
Figura 22 - Esquema da envoltória padrão e suas propriedades térmicas .....	33
Figura 23 - Zona térmica utilizada na simulação .....	33
Figura 24 - Janelas com brises móveis .....	34
Figura 25 - Desenho técnico Janelas .....	34

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Pré-requisitos específicos da Envoltória .....	17
Tabela 2 - Propriedades dos materiais utilizados na envoltória .....	28
Tabela 3 - Valores de Coeficiente de Absorção da Radiação Solar ( $\alpha$ ). .....	30
Tabela 4 - Valores absorvância definidos para os materiais utilizados .....	31
Tabela 5 - Valores de transmitância e absorvância para zonas térmicas simuladas .....	35

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Solstício de inverno, comparação entre as Zonas Origem e Padrão .....	36
Gráfico 2 - Solstício de verão, comparação entre as Zonas Origem e Padrão	37
Gráfico 3 - Solstício de inverno, comparação entre as Zonas Clara e Escura .	38
Gráfico 4 - Solstício de verão, comparação entre as Zonas Clara e Escura ....	38

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
1.1 A Cor na Arquitetura .....	10
1.2 A cor.....	11
1.3 Cor, absorvância e eficiência energética na arquitetura .....	12
1.4 Objetivo.....	13
1.5 Estrutura do trabalho.....	13
<b>2 REGULAMENTO TÉCNICO DA QUALIDADE DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS COMERCIAIS, DE SERVIÇOS E PÚBLICOS (RTQ-C).....</b>	<b>15</b>
2.1 Envoltória pelo RTQ-C .....	16
<b>3 ESTUDO DO CASO: ENVOLTÓRIA DO PRÉDIO ORIGEM.....</b>	<b>18</b>
3.1 Clima Itabira – MG .....	26
<b>4 METODOLOGIA .....</b>	<b>27</b>
4.1 Descrição e análise da Envoltória do edifício segundo o RTQ-C.....	27
4.1.1 Transmitância Térmica .....	28
4.1.1.1 Cálculo.....	28
4.1.2 Absorvância dos Materiais.....	29
4.1.2.1 Cálculo.....	30
4.2 Programa de Simulação Computacional utilizado – PowerDomus .....	31
4.3 Descrição e propriedades térmicas da envoltória padrão .....	32
4.4 Descrição dos parâmetros adotados nas simulações .....	33
<b>5 RESULTADOS.....</b>	<b>36</b>
5.1 Simulação Zona Origem X Zona Padrão .....	36
5.2 Simulação Zona Escura X Zona Clara.....	37
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>40</b>
<b>7 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>42</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 A Cor na Arquitetura

A cor sempre esteve presente na arquitetura. Relacionada com a forma, a dimensão, a textura, a luz, a sombra e o meio, a cor é um dos elementos da linguagem arquitetônica responsável pela materialização do ambiente construído.

Segundo Rasmussen (1988), a cor na arquitetura surgiu de forma espontânea com o uso dos materiais coletados na natureza pelo homem e utilizado na construção e decoração de seus abrigos, resultando em uma estrutura com as próprias cores da natureza, parte integrante da paisagem. Com o passar do tempo o homem aprendeu como fazer novos materiais mais duradouros do que os oferecidos pela natureza e assim novas cores apareceram. A partir deste momento em que a cor começou a ser controlada pelo homem, novos padrões arquitetônicos foram criados.



Figura 1 - Hotel Camino Real México, Legorreta

Fonte: <http://legorretalegorreta.com>, acesso em 15/11/2011.

Em arquitetura a cor tem diversos usos. Pode ser usada para destacar as características de um edifício, para aumentar ou diminuir a sensação de suas dimensões, para definir um espaço ou simplesmente embelezar.

Com maestria, grandes arquitetos se destacam pelo uso das cores em suas obras. Os mexicanos Luis Barragán e Ricardo Legorreta (FIGURA 1) são exemplos do uso das cores vivas e intensas.

## 1.2 A cor

“A *cor* não tem existência material: é apenas sensação produzida por certas organizações nervosas sob a ação da luz – mais precisamente, é a sensação provocada pela ação da luz sobre o órgão da visão.” (PEDROSA, 2009).

Para a reprodução das cores três fatores são essenciais: uma fonte de luz, um objeto iluminado e um observador. Desta forma, quando uma luz é emitida pela fonte luminosa atinge o objeto, parte desta luz é absorvida pelo mesmo e outra refletida. A luz refletida penetra no olho do observador, formando uma imagem do objeto na parte do olho que é sensível à luz, que é composto pelas células visuais. Neste momento são originados impulsos nervosos que são propagados para o cérebro, causando uma reação fisiológica e psíquica no observador.

Formado por elementos físico, fisiológico e psicológicos o fenômeno da percepção da cor é bastante complexo. Três características ou atributos principais distinguem-se: o matiz, a luminosidade (ou valor) e a saturação (ou croma), ver figura 2.



Figura 2 - Características da cor

Fonte: <http://aulas.pro.br>, acesso em 15/11/2011.

O **matiz** é o estado puro da cor. Através dele que distinguimos o que se denomina “amarelo” daquilo que se denomina “vermelho”, por exemplo.

A **saturação** representa a pureza ou intensidade de uma cor. É o que distingue, por exemplo, o que se denomina “azul” do que se denomina “azul-acinzentado”.

A **luminosidade** é o termo que se usa para descrever que tão claro ou escuro parece uma cor, e se refere à quantidade de luz recebida pelo olho. Esta relacionada à variação entre o que se denomina “verde” daquilo que se denomina “verde-claro”.

### **1.3 Cor, absorvância e eficiência energética na arquitetura**

Além de cumprir seu caráter como um dos elementos da composição arquitetônica, a cor influencia o comportamento térmico dos edifícios e conseqüentemente sua eficiência energética.

Segundo Lamberts (1997), “a eficiência energética pode ser entendida como a obtenção de um serviço com baixo dispêndio de energia.” Nos edifícios, a eficiência relaciona-se diretamente com a utilização racional da energia e ao conforto dos usuários.

Em um prédio as trocas de calor e luz entre os meios exterior e interior têm como essência a sua envoltória. Seu comportamento térmico depende de diversas variáveis e da interação destas com o ambiente construído. Dentre as variáveis, a radiação solar é responsável por grande parcela do ganho térmico das edificações e atua nas condições de conforto de forma instantânea.

A transmissão de calor pela envoltória acontece quando há uma diferença de temperatura entre suas superfícies interior e exterior. Considerando apenas os fechamentos opacos, esse fenômeno é dividido em três fases: troca de calor com meio exterior (1ª fase), condução através do fechamento (2ª fase) e troca de calor com meio interior (3ª fase). Na primeira fase a superfície externa da envoltória recebe calor por meio de convecção e radiação. A radiação incidente tem uma parcela refletida e outra absorvida, cujo resultado depende respectivamente da refletividade e da absorvância do material utilizado na superfície. Analisando a absorvância dos materiais de construção conclui-se que estes são seletivos a radiação solar e a principal determinante desta característica é sua cor superficial (LAMBERTS, 1997).

Segundo Dornelles (2008), a absorvância representa a quantidade de energia radiante absorvida do total que incide sobre um determinado material ou substância, e depende de sua composição química. A absorvância será função da absorvância do material e é definida como a quantidade de energia

radiante que atinge uma superfície e que é absorvida por ela. Frequentemente a absorptância é relacionada às cores das superfícies dos materiais, consagrando a idéia de que quanto mais escuras as cores, maior seu valor. Porém a absorptância solar das superfícies opacas não é influenciada apenas pela cor. Características físicas como a absorptividade do material, a rugosidade da superfície, a ondulação da superfície e sua manutenção, formam um conjunto de fatores que também a influencia diretamente.

A norma NBR15520: 2005 define absorptância à radiação solar como o quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície, pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície.

A eficiência energética de um edifício depende de vários fatores: do clima; da forma da edificação; das áreas envidraçadas; das cargas internas; das propriedades dos materiais utilizados na construção, além do tipo e da eficiência dos sistemas de condicionamento de ar existentes. (MELO 2007).

Neste trabalho, dois tipos de fachadas são analisados. Através de simulações utilizando um programa computacional é verificada a influência da cor e da transmitância térmica na variação da temperatura interna da edificação estudo de caso.

#### **1.4 Objetivo**

Esse trabalho tem o objetivo de analisar a influência das cores utilizadas nas fachadas na classificação do requisito de envoltória pelo método do RTQ-C segundo o pré-requisito Cores e absorptância de superfícies em comparação ao sistema de fachada de baixa transmitância térmica utilizado na edificação na atenuação do ganho de calor pela absorptância, dentro dos parâmetros do RTQ-C.

#### **1.5 Estrutura do trabalho**

O primeiro capítulo apresenta uma breve introdução sobre a cor, seu uso na arquitetura e sua influência na eficiência energética das edificações, além do objetivo. No capítulo seguinte é feita uma breve descrição do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) e sua aplicação à envoltória dos edifícios.

O terceiro capítulo descreve o edifício estudo de caso e os dados climáticos da cidade onde está localizado. Após, no capítulo 4 é apresentada a metodologia adotada. São também apresentadas às duas tipologias de envoltórias utilizadas na análise, o cálculo da transmitância térmica e da absorvância solar dos materiais, a apresentação do programa de simulação computacional PowerDomus, além dos parâmetros utilizados nas simulações.

O Quinto capítulo apresenta os resultados referentes à análise da influência do uso da cor nas envoltórias analisadas, tendo como parâmetro de comparação as temperaturas internas simuladas.

Finalmente, o capítulo 6 trata das considerações finais, destacando os resultados obtidos.

## 2 REGULAMENTO TÉCNICO DA QUALIDADE DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS COMERCIAIS, DE SERVIÇOS E PÚBLICOS (RTQ-C)

A partir de 2001, com a promulgação da Lei Federal nº10925, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, iniciou-se um processo de desenvolvimento para regulamentar e elaborar procedimentos para avaliação da eficiência energética das edificações construídas no Brasil visando ao uso racional da energia elétrica.

Em 2003, foi lançado pela Eletrobrás/Procel o Programa Procel Edifica: Plano de Ação para Eficiência Energética em Edificações. Em 2005 com a criação da Comissão Técnica (CT Edificações), responsável pela discussão e definição do processo de obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), mostrada na figura 3, o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro) foi incluído no processo.



Figura 3 - Modelo da ENCE

Fonte: <http://www.faculdefatenp.com.br>, Acesso em: 16/10/2011.

A ENCE é obtida através de avaliação dos requisitos contidos no Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) que é publicado pelo Inmetro. O RTQ-C apresenta os critérios para classificação completa do nível de eficiência energética do edifício através de classificações da envoltória, do sistema de iluminação e do sistema de condicionamento de ar. A etiqueta pode ser fornecida para todo o edifício ou para parte deste, ou seja, ela é parcial quando referente à envoltória ou combinando a envoltória com um dos outros dois sistemas, de iluminação ou condicionamento de ar. Todos os sistemas, individualmente, são classificados em níveis de eficiência que variam de A (mais eficiente) a E (menos eficiente).

O RTQ-C é aplicável a edificações com área útil mínima de 500,00m<sup>2</sup> ou atendidas por alta tensão, incluindo edifícios com condicionamento de ar, parcialmente condicionados e não condicionados. Para definição da eficiência pode utilizar o método prescritivo ou de simulação. As exigências devem ser avaliadas junto a um laboratório de inspeção designado ou acreditado pelo Inmetro. Essa avaliação é composta pela etapa de projeto e de inspeção do edifício.

Atualmente a etiquetagem é de adesão voluntária e a data para tornar-se obrigatória ainda será definida.

## **2.1 Envoltória pelo RTQ-C**

O consumo de energia em edificações está relacionado principalmente aos ganhos e perdas de calor pela envoltória. Soma-se a estes ganhos as demais fontes internas geradoras de calor (pessoas, uso de equipamentos e iluminação natural e artificial), que resulta na necessidade do uso de sistemas de condicionamento de ar.

Segundo definição do RTQ-C, a envoltória são todos os planos que separam o ambiente interno do ambiente externo. Para a classificação no regulamento o seu nível de eficiência energética deve ser estabelecido para a edificação completa, diferente dos demais sistemas – iluminação e condicionamento do ar.

Além dos requisitos gerais do RTQ-C, para a classificação do nível de eficiência da envoltória deverão ser atendidos pré-requisitos específicos: transmitância térmica, cores e absorvância de superfícies e iluminação zenital, que variam de valores de acordo com o nível de classificação (TABELA 1). Não atendendo a nenhum desses pré-requisitos, o nível máximo a ser alcançado no requisito envoltória é nível E.

Tabela 1 - Pré-requisitos específicos da Envoltória

<b>PRÉ REQUISITO</b>	<b>NÍVEL DE EFICIÊNCIA</b>					
<b>CORES E ABSORTÂNCIA</b>	<b>A</b>		<b>B</b>		<b>C e D</b>	
<b>COBERTURAS</b>						
ZONA BIO 2 À 8	$\alpha < 0,50$		$\alpha < 0,50$		-	
<b>PAREDES</b>						
ZONA BIO 2 À 8	$\alpha < 0,50$		-		-	

<b>PRÉ REQUISITO</b>	<b>NÍVEL DE EFICIÊNCIA</b>					
<b>TRANSMITÂNCIA TÉRMICA</b>	<b>A</b>		<b>B</b>		<b>C e D</b>	
<b>COBERTURA</b>	Condicionamen to artificial	Não condicionados	Condicionamen to artificial	Não condicionados	Condicionamen to artificial	Não condicionados
ZONA BIO 1 E 2	$\leq 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$	$\leq 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$	$\leq 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$	$\leq 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$	$\leq 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$	
ZONA BIO 3 À 8	$\leq 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$	$\leq 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$	$\leq 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$	$\leq 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$		
<b>PAREDES EXTERNAS</b>						
ZONA BIO 1 E 2	$\leq 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$		$\leq 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$		$\leq 3,7 \text{ W/m}^2\text{K}$	
ZONA BIO 3 À 6	$\leq 3,7 \text{ W/m}^2\text{K}$		$\leq 3,7 \text{ W/m}^2\text{K}$			
ZONA BIO 7 E 8	PARA PAREDES COM CAPACIDADE TÉRMICA		PARA PAREDES COM CAPACIDADE TÉRMICA		PARA PAREDES COM CAPACIDADE TÉRMICA	
	$< 80 \text{ KJ/m}^2\text{K}$	$> 80 \text{ KJ/m}^2\text{K}$	$< 80 \text{ KJ/m}^2\text{K}$	$> 80 \text{ KJ/m}^2\text{K}$	$< 80 \text{ KJ/m}^2\text{K}$	$> 80 \text{ KJ/m}^2\text{K}$
	$\leq 2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$	$\leq 3,7 \text{ W/m}^2\text{K}$	$\leq 2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$	$\leq 3,7 \text{ W/m}^2\text{K}$	$\leq 2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$	$\leq 3,7 \text{ W/m}^2\text{K}$

Fonte: Elaborada pelo Autor, baseada em dados do RTQ-C – 2010.

### 3 ESTUDO DO CASO: ENVOLTÓRIA DO PRÉDIO ORIGEM

O Prédio Origem faz parte do Campus Itabira da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) localizado na cidade de Itabira-MG e foi inaugurado em abril de 2011. O projeto é de autoria do arquiteto Fábio Nideck Monnerat e data de 2009.

Este prédio foi escolhido como estudo de caso, primeiramente por atender às exigências básicas referentes ao tipo de uso, de área útil e tensão de abastecimento para a classificação de um edifício pelo RTQ-C. Segundo, pelo uso predominante de cores médias e escuras em suas fachadas. Finalmente, por utilizar um sistema de fechamento externo ainda pouco utilizado no país.



Figura 4 - Prédio Origem, fachada noroeste

Fonte: AUTOR.

Projetado para abrigar a Incubadora de empresas do Campus o prédio foi implantado na parte mais alta do terreno com vista privilegiada de todo entorno.

Nas fachadas o uso da cor identifica e destaca o prédio na paisagem. As cores, matizes de azul e vermelho são as utilizadas no logo da UNIFEI e contrastam com o cenário verde, na época das chuvas e em tons de areia, no período da seca, (FIGURA 4).



Figura 5 - Vista claraboia

Fonte: AUTOR



Figura 6 - Vista jardim interno

Fonte: AUTOR.

A grande cobertura com 1.450,00m<sup>2</sup> em telha termoacústicas na cor branca, coleta toda água pluvial para reuso. Seus grandes beirais protegem as fachadas. Sua claraboia recheia o interior do prédio com luz natural que em conjunto com a ventilação natural, o belo jardim interno e o espelho d'água possibilitam o conforto do grande vazio interno, (FIGURAS 5 e 6).



Figura 7 - Vista do vazio interno

Fonte: AUTOR.



Figura 8 - Vista pavimentos

Fonte: AUTOR.

O vazio interno, mostrado nas figuras 7 e 8, é um dos principais elementos na composição do prédio. Além de ser o articulador do espaço, a planta em formato triangular, ver figuras 15, 16, 17 e 18, se desenvolve ao longo do seu perímetro, possibilita várias perspectivas ao usuário e tem fundamental papel no conforto térmico da edificação, (FIGURA 9).

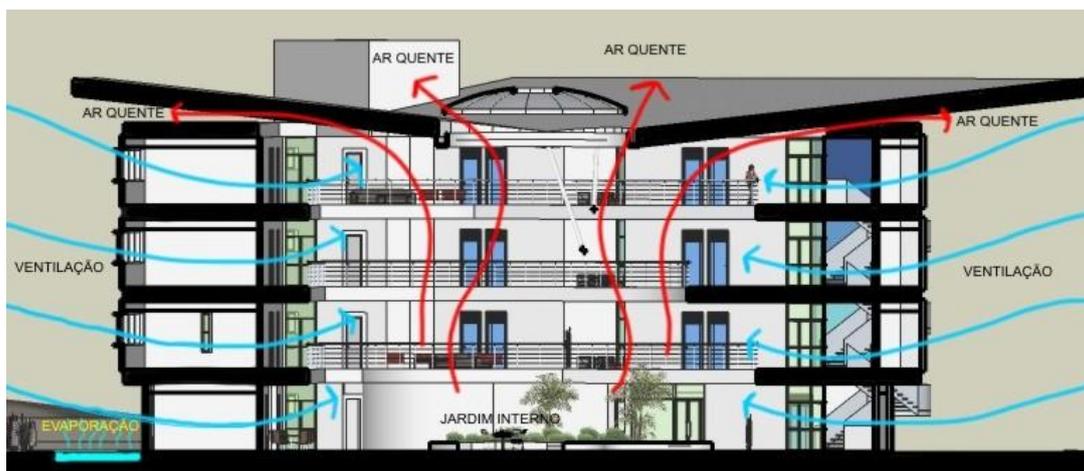


Figura 9 - Esquema ventilação

Fonte: AUTOR.

Quanto aos aspectos construtivos, destaca-se o uso do aço, desde a estrutura principal à cobertura. Lajes em *steel deck*, paredes em painel de gesso acartonado (*sistema Drywall*). Na fachada uso de painéis metálicos como revestimento, (FIGURA 10). A cobertura com 1.450,00m<sup>2</sup> é em telhas termoacústicas pré-pintadas na cor branca.



Figura 10 - Fachada Sul

Fonte: AUTOR.

O projeto tomou partido de várias soluções sustentáveis para economizar energia e água, tanto na sua construção, quanto em seu funcionamento, tais como:

- reaproveitamento da água da chuva nas descargas;

- válvulas de descargas com duplo acionamento e torneiras de pressão com acionamento manual e fechamento automático e arejador;
- grandes janelas para melhor iluminação natural dos ambientes e beirais para sombreamento da fachada. Nas fachadas nordeste e noroeste, uso de brises móveis no corpo das janelas para controle da insolação, (FIGURAS 11 e 12);



Figura 11 - Fachada nordeste

Fonte: AUTOR.



Figura 12 - Fachada noroeste

Fonte: AUTOR.

- ventilação cruzada nos ambientes para diminuir o uso do condicionamento mecânico e efeito chaminé, proporcionado pelo vazio interno e aberturas na cobertura;
- espelhos d'água externamente e internamente;
- utilização da estrutura metálica e cobertura em telhas termoacústicas na cor branca.



Figura 13 - Detalhe entrada

Fonte: AUTOR.



Figura 14 - Detalhe fachada

Fonte: AUTOR.

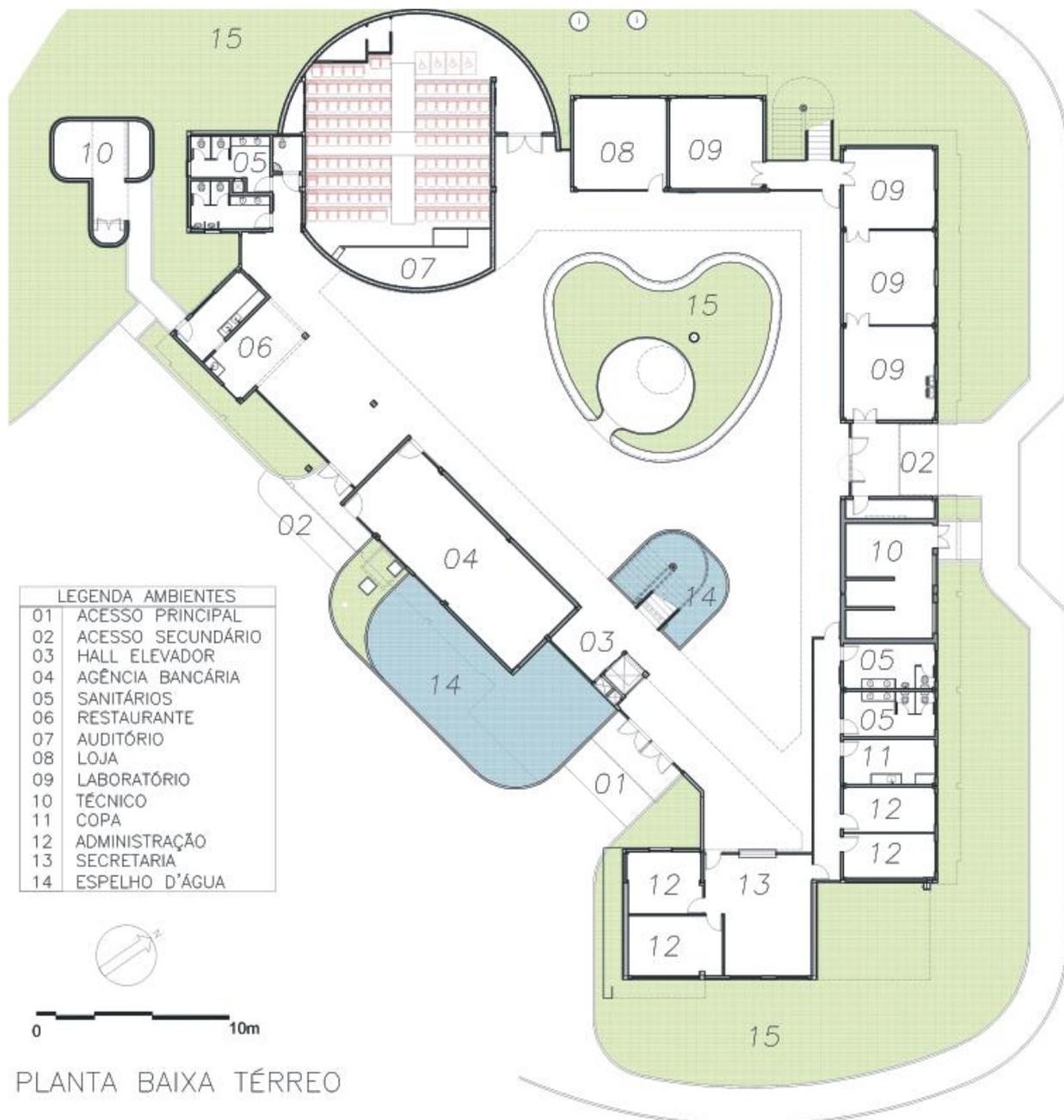
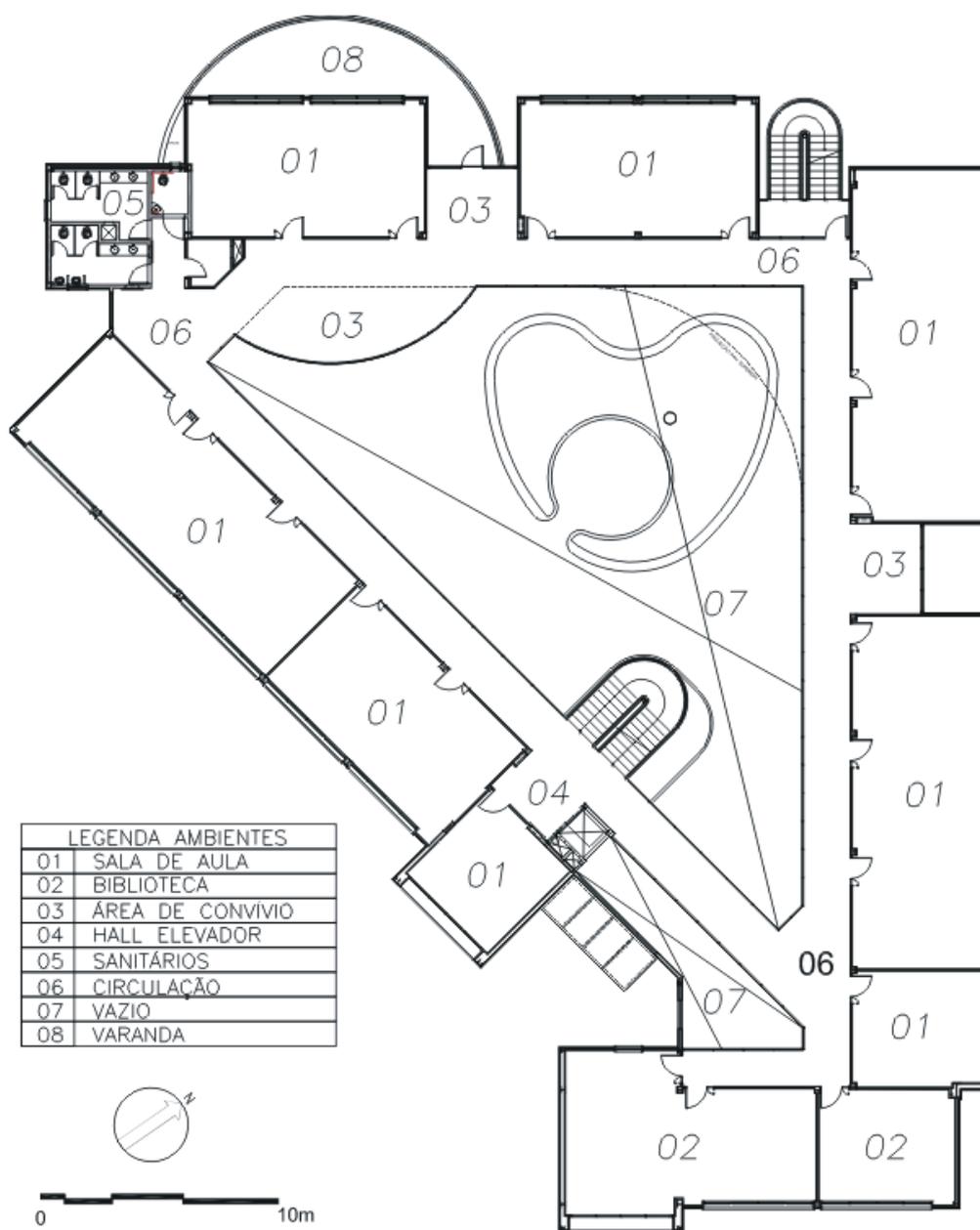


Figura 15 - Planta térreo

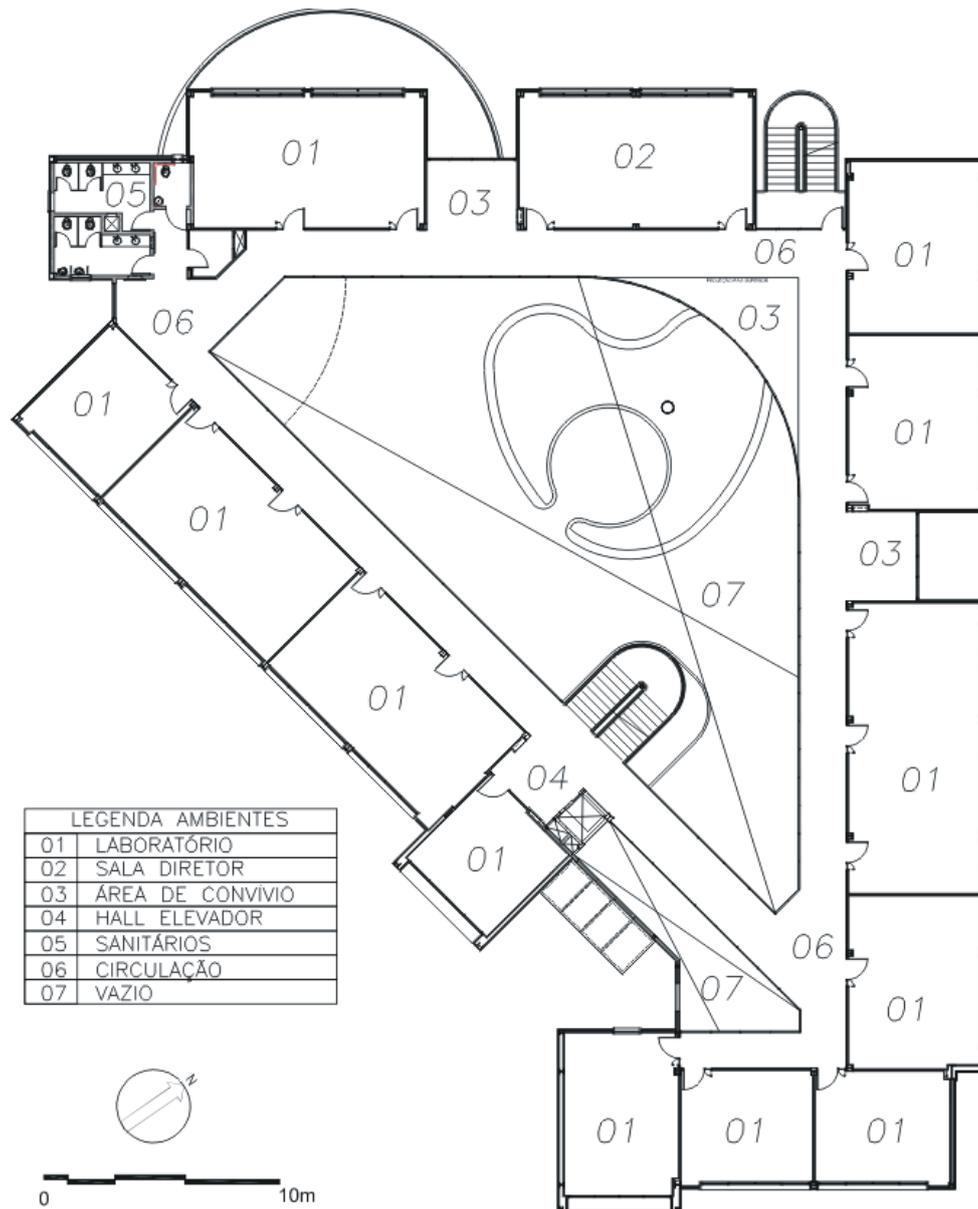
Fonte: AUTOR.



PIANTA BAIXA 2º PAVIMENTO

Figura 16 - Planta 2º pavimento

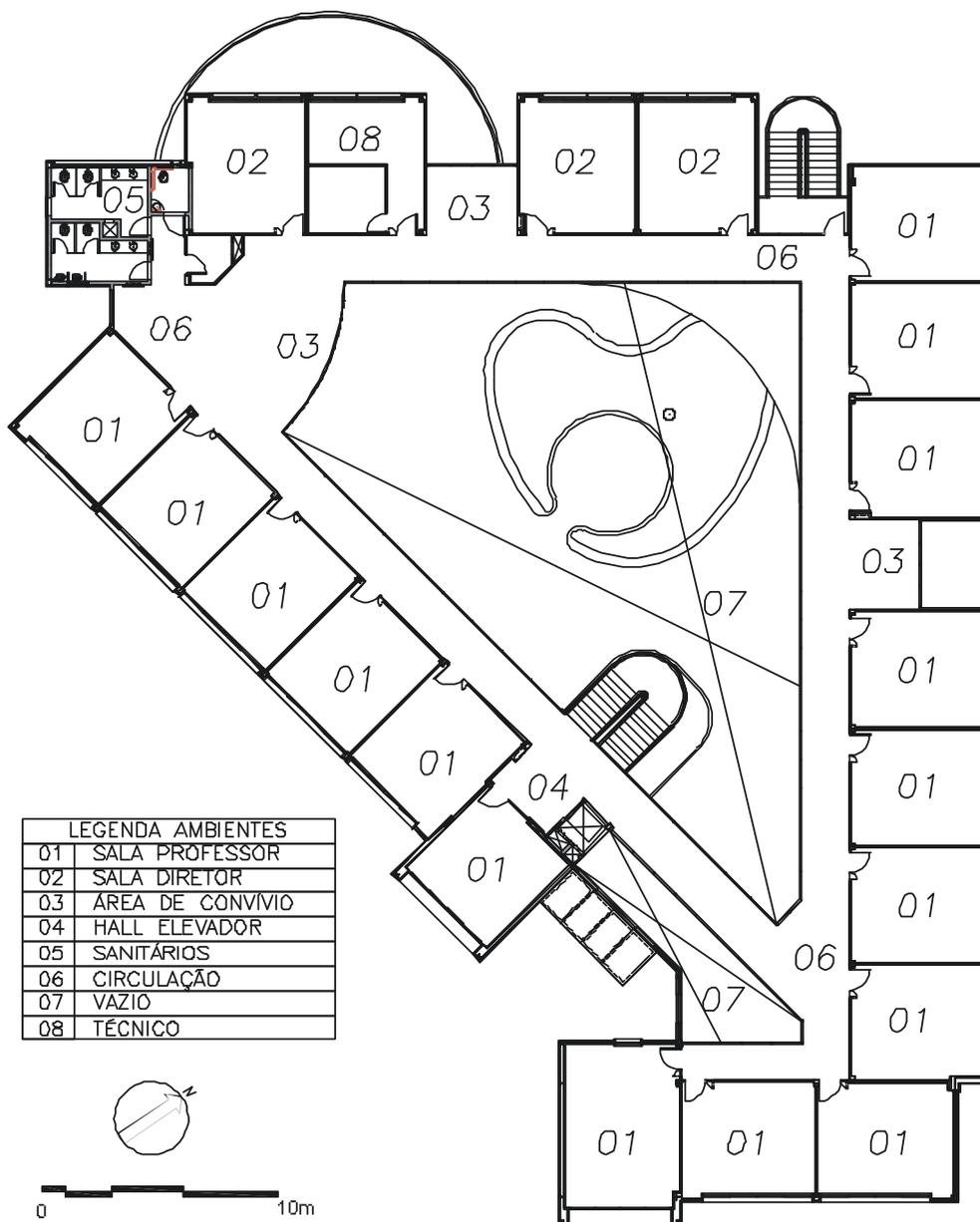
Fonte: AUTOR.



PLANTA BAIXA 3º PAVIMENTO

Figura 17 - Planta 3º pavimento

Fonte: AUTOR.



PLANTA BAIXA 4º PAVIMENTO

Figura 18 - Planta 4º pavimento

Fonte: AUTOR.

### **3.1 Clima Itabira – MG**

A cidade de Itabira está localizada na região central do Estado de Minas Gerais. Seu clima predominante é o tropical de altitude, com média de temperatura de 20,3°C. Caracterize-se pela grande amplitude anual com média das máximas de 25,4°C e a média das mínimas de 15°C. A pluviosidade mantém médias acentuadas no verão, com ênfase nos meses de novembro a fevereiro, e médias pluviométricas muito baixas no inverno, no período que vai de maio a setembro. O vento dominante é Leste-Oeste.

De acordo com a NBR 15220-3 Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social, a cidade de Itabira está classificada na zona três.

## 4 METODOLOGIA

A pesquisa esta dividida em duas partes. Primeiramente a análise da envoltória do edifício, estudo de caso, segundo os pré-requisitos Transmitância térmica e Cores e absorvância do RTQ-C. Posteriormente, utilizando o programa de simulação energética PowerDomus, a simulação de uma zona térmica característica do edifício com uso dos dados reais da envoltória em duas situações. Na primeira, em comparação com esta mesma zona térmica, porém utilizando como envoltória uma parede padrão segundo a NBR 15220-2 Na segunda, em comparação com esta mesma zona utilizando um valor mínimo de absorvância referente à cor branca para sua fachada.

Essas simulações pretendem comparar a variável de temperatura, com o objetivo de avaliar a influência da cor em envoltórias com maior isolamento térmico tendo como parâmetro dados de temperatura de uma envoltória comumente utilizada em edificações brasileiras.

### 4.1 Descrição e análise da Envoltória do edifício segundo o RTQ-C

O Prédio Origem utiliza quatro sistemas de fachada, porém neste estudo, será analisado apenas o sistema predominante de paredes que contém materiais de revestimento em cores médias ou escuras (vermelho e azul).

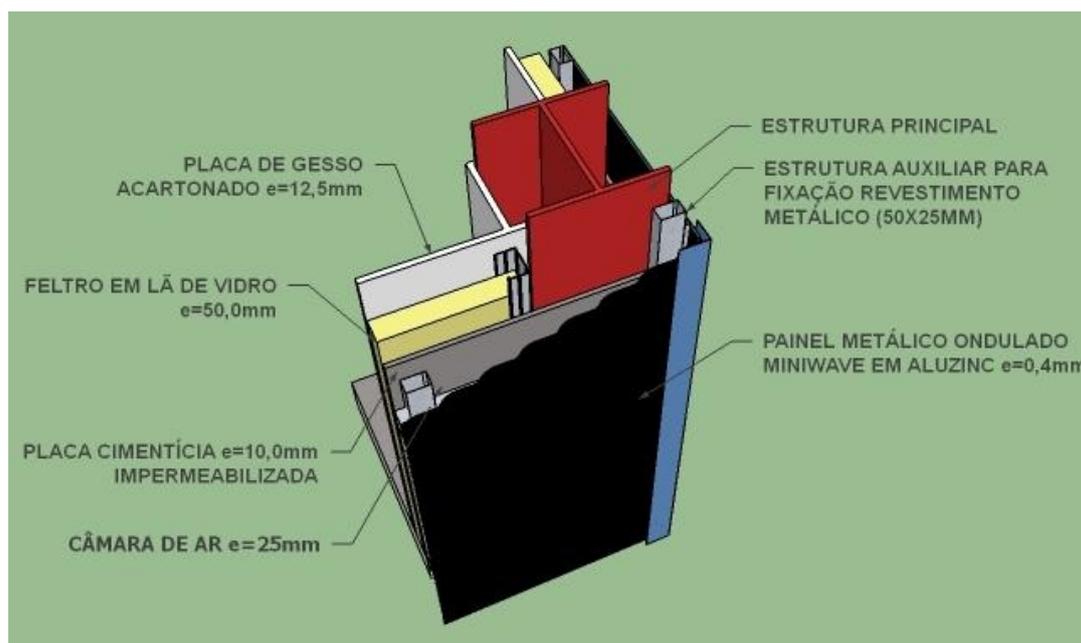


Figura 19 - Esquema envoltória utilizada

Fonte: AUTOR.

O sistema de fachada utilizado no Prédio Origem é composto, a partir do exterior, de revestimento em painéis metálicos ondulados coloridos, câmara de ar, placa cimentícia e placa de gesso acartonado, estruturadas por perfis leves de aço galvanizado (steel frame), com preenchimento do vazio da estrutura por lã de vidro (FIGURA 19).

#### 4.1.1 Transmitância Térmica

Segundo o RTQ-C(2010), a transmitância térmica é definida como:

“Transmissão de calor em unidade de tempo e através de uma área unitária de um elemento ou componente construtivo, neste caso, de componentes opacos das fachadas (paredes externas) ou coberturas, incluindo as resistências superficiais interna e externa, induzida pela diferença de temperatura entre dois ambientes.”

A parede externa do Prédio Origem com a utilização de materiais de baixa condutividade térmica e de uma “segunda pele”, caracterizada pelo revestimento externo metálico e a formação de uma câmara de ar, busca a diminuição da transmitância térmica.

##### 4.1.1.1 Cálculo

O cálculo da transmitância térmica esta de acordo com o método de cálculo da NBR 15220 - Parte 2, conforme determina o RTQ-C.

Tabela 2 - Propriedades dos materiais utilizados na envoltória

MATERIAL	ESPESSURA (m)	CONDUTIVIDADE (W/m.K)	FABRICANTE
Painel metálico ondulado - Miniwave	0,0004	55	Hunter Douglas
Câmara de ar	0,025	-	-
Placa cimentícia - Eterplac	0,01	0,48	Eternit
Lã de vidro - Wallfelt	0,05	0,042	Isover
Placa de gesso acartonado	0,125	0,35	Placo

Fonte: Elaborada pelo Autor, conforme dados dos fabricantes.

Segundo a NBR 15220-2 a transmitância térmica de componentes é o inverso da resistência térmica total. A resistência térmica do material é conhecida pela razão da sua espessura pela sua condutividade térmica.

### a) Resistência térmica das paredes externas do prédio Origem

Considerando uma câmara de ar com espessura de 2,5cm e resistência térmica de 0,16 (m<sup>2</sup>.K)/W, conforme determina a NBR 15220-2, os valores da tabela 2, a resistência térmica da parede pode ser calculada conforme a equação abaixo:

$$R_t = \frac{e \text{ painel met}}{\lambda \text{ painel met}} + R_{ar} + \frac{e \text{ placa cim}}{\lambda \text{ placa cim}} + \frac{e \text{ lâ}}{\lambda \text{ lâ}} + \frac{e \text{ placa gesso}}{\lambda \text{ placa gesso}}$$

$$R_t = \frac{0,0004}{55} + 0,16 + \frac{0,01}{0,48} + \frac{0,05}{0,042} + \frac{0,0125}{0,35} = 1,40(m^2 \cdot K)/W$$

### b) Resistência térmica total

Considerando resistências térmicas superficiais, externa ( $R_{se}$ ) de 0,04(m<sup>2</sup>.K)/W e interna ( $R_{si}$ ) de 0,13(m<sup>2</sup>.K)/W, conforme determina a NBR 15220-2, a resistência térmica total ( $RT$ ) pode ser calculada conforme a equação abaixo:

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

$$RT = 0,13 + 1,40 + 0,04 = 1,57(m^2 \cdot K)/W$$

### c) Transmitância térmica da parede

A Transmitância térmica do componente, de ambiente a ambiente, é o inverso da resistência térmica total, conforme equação abaixo:

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

$$U = \frac{1}{1,57} = 0,64 W/(m^2 \cdot K)$$

#### 4.1.2 Absortância dos Materiais

Conforme o RTQ-C, a cor é utilizada como indicação da absortância quando não há possibilidade de medição: cores mais claras têm absortâncias mais baixas, cores mais escuras têm absortâncias mais altas.

Para a obtenção dos valores de absorção dos materiais utilizados, na falta de dados do fabricante e na impossibilidade de testes laboratoriais, foram utilizados dados da NBR 15220-2. Incompletos, foram utilizados dados retirados de Frota (2003, p.193), mostrados na tabela 3.

Tabela 3 - Valores de Coeficiente de Absorção da Radiação Solar ( $\alpha$ ).

COR	( $\alpha$ )
Branca	0,2-0,3
Amarela, laranja, vermelha-clara	0,3-0,5
vermelha-escura, verde-clara, azul-clara	0,5-0,7
Marrom-clara, verde-escura, azul-escura	0,7-0,9
Marrom-escura, preta	0,9-1,0

Fonte: FROTA, 2003.

#### 4.1.2.1 Cálculo

Tendo como base a tabela 3, as cores utilizadas, figura 20, foram divididas em claras, médias e escuras.

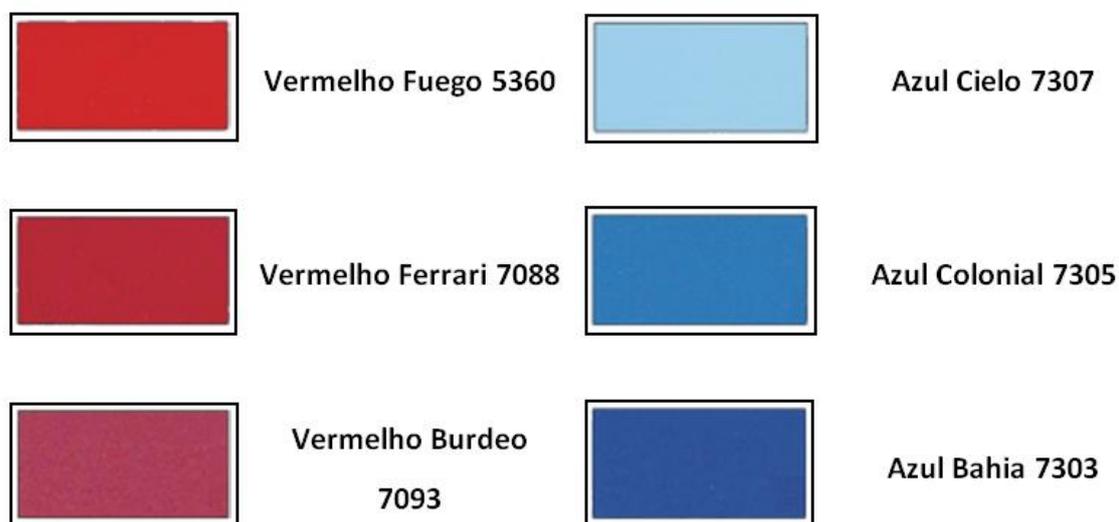


Figura 20 - Amostra de cores utilizadas, Painel Miniwave

Fonte: <http://www2.hunterdouglas.com.br>. Acesso em 27/10/2011.

Os valores das cores claras e escuras estão definidos na tabela. Os valores das cores médias foram definidos através de uma média aritmética simples entre os valores das cores claras e escuras (TABELA 4).

Tabela 4 - Valores absorvância definidos para os materiais utilizados

PAINEL METÁLICO MINIWAVE - HUNTER DOUGLAS	
COR UTILIZADA - CÓDIGO	( $\alpha$ )
Vermelho claro - Fuego 5360	0,5
Vermelho médio - Ferrari 7088	0,6
Vermelho escuro - Burdeo 7083	0,7
Azul claro - Azul Cielo 7307	0,7
Azul médio - Azul Colonial 7305	0,8
Azul escuro - Azul Bahia 7303	0,9

Fonte: Elaborada pelo Autor, a partir de FROTA, 2003.

## 4.2 Programa de Simulação Computacional utilizado – PowerDomus

Desenvolvido pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC-PR) o programa PowerDomus, figura 21, é o primeiro software nacional de simulação higrótérmica e energética de edificações. De interface interativa, busca diminuir as dificuldades encontradas no uso dos programas de simulação.

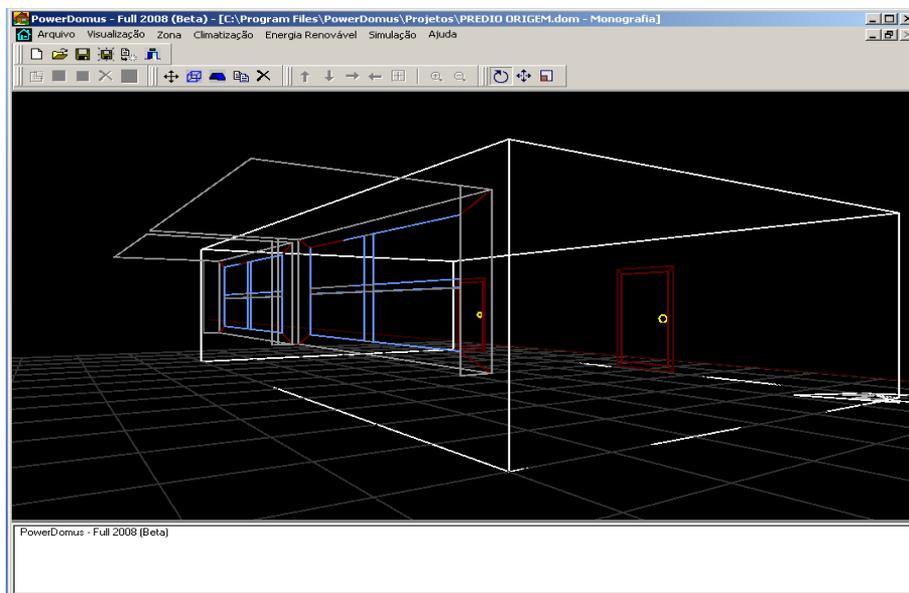


Figura 21 - Interface programa PowerDomus Full 2008(Beta)

Modelado para simular e analisar parâmetros como conforto térmico e consumo de energia em edificações, fornece perfis de temperatura e umidade nas paredes para qualquer intervalo de tempo, além de apresentar valores de temperatura e umidade relativa para cada zona de uma ou mais edificações,

considerando não apenas o transporte de calor, mas também, de vapor e de líquido através do envoltório da edificação.

O PowerDomus oferece diversos benefícios e podem ser destacados os seguintes:

- Análise de diferentes estratégias para redução de consumo de energia em edificações.
- Suporte técnico a profissionais de planejamento energético no projeto, construção e avaliação de programas de conservação de energia.
- Criação de projetos de edificações energeticamente eficientes.
- Análise de acoplamento com sistemas de climatização, possibilitando uma avaliação global de cada uso final de energia em edificações.
- Aperfeiçoamento de projetos de sistemas de climatização com o uso de simulação horária e análise de alternativas em regime transiente.
- Inclusão de arquivos de saída para análise de custos a partir da estrutura tarifária estabelecida pela Agência Nacional Energia Elétrica (ANEEL).

### **4.3 Descrição e propriedades térmicas da envoltória padrão**

A envoltória padrão selecionada atende aos pré-requisitos de transmitância térmica (zonas bioclimáticas 3 a 6) e cores e absortância (zonas bioclimáticas 2 a 8) do RTQ-C para a obtenção da classificação nível A.

A tipologia da envoltória padrão é formada por uma parede de fechamento com 14,0cm de espessura total, composta de bloco cerâmico de seis furos, dimensões de 9,0 x 14,0 x 24,0 cm, assentada com argamassa de 1,5 cm de espessura, revestida internamente e externamente com argamassa de 2,5cm de espessura e pintura acrílica na cor azul médio ( $\alpha=0,80$ ). Essa tipologia de parede consta na NBR 15220-2:2005 como sendo uma das mais utilizadas na construção de edificações (FIGURA 22).

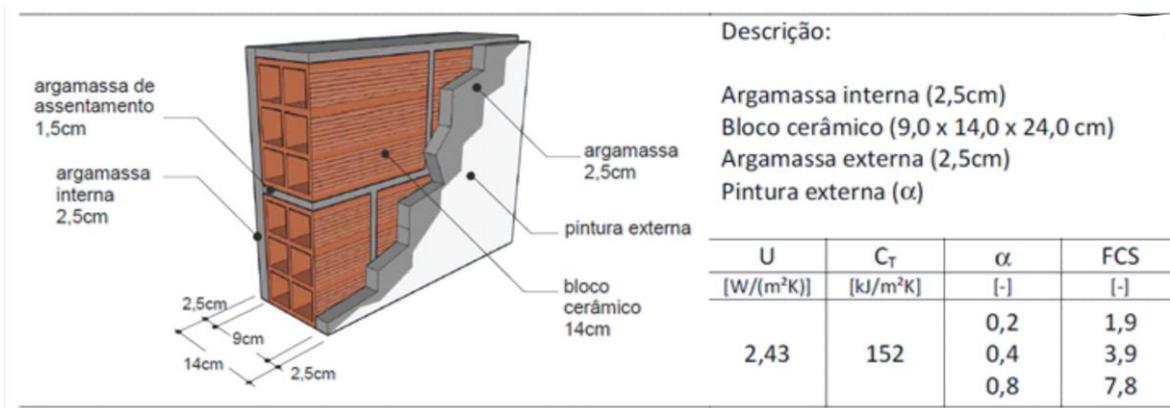


Figura 22 - Esquema da envoltória padrão e suas propriedades térmicas

Fonte: Catálogo de propriedades térmicas de paredes e coberturas(V.5), Labee (UFSC), 2011.

#### 4.4 Descrição dos parâmetros adotados nas simulações

Na versão utilizada do programa, denominada PowerDomus Full 2008 (Beta), os valores de dimensionamento da zona térmica não podem ser superiores a 10 metros. Dessa forma, a zona térmica utilizada foi limitada a uma área compatível com o programa e os dados de absorvâncias simplificados conforme a Tabela 04.

A zona térmica utilizada na simulação foi escolhida por ter as condições de orientação e insolação consideradas menos favoráveis para o clima local (FIGURA 23).

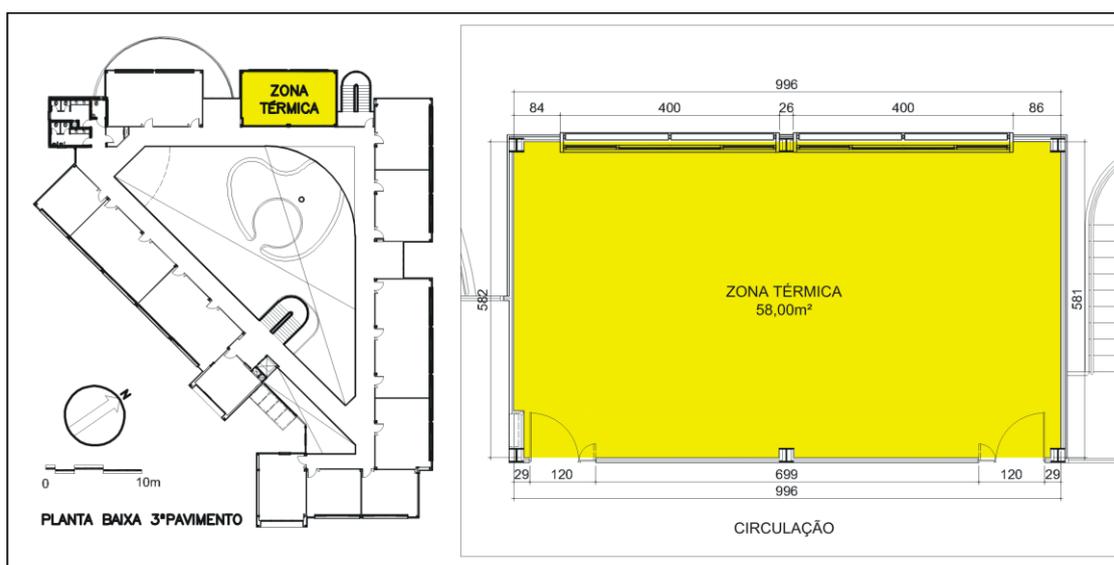


Figura 23 - Zona térmica utilizada na simulação

Fonte: AUTOR.

Após análise da edificação, foi gerado o modelo geométrico da zona térmica com as dimensões e as características do ambiente, como os materiais construtivos das paredes, já detalhados anteriormente na Figura 19, e das janelas com os brises móveis orientadas para o noroeste (FIGURAS 24 e 25). Nas simulações a parede da zona térmica divisa com a circulação, o piso e a laje foram configurados como limites adiabáticos, ou seja, possuem alto isolamento térmico, evitando a troca de calor com o meio externo.



Figura 24 - Janelas com brises móveis

Fonte: AUTOR.

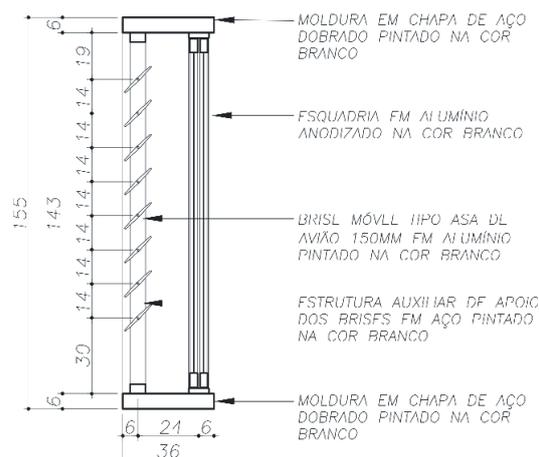


Figura 25 - Desenho técnico Janelas

Fonte: AUTOR.

Foram executadas duas comparações. Na primeira, foram simulados dois modelos desta zona térmica. O primeiro utilizando o sistema de fachada do prédio Origem, denominada **Zona Origem** e o segundo utilizando a envoltória com a parede padrão descrita no item 5.3, denominada **Zona Padrão**. Na segunda, foi simulado um modelo da zona térmica com o sistema de fachada do prédio Origem utilizando o valor máximo de absorção referente a cor azul escuro, denominada **Zona Escura**, em comparação a mesma zona, porém utilizando valor mínimo de absorção para a cor branca, denominada **Zona Clara**.

Não foram considerados nos cálculos das zonas térmicas os valores dos ganhos internos (equipamentos, iluminação, geração de vapor e pessoas) e o uso de sistemas de climatização e ventilação mecânica.

As simulações foram executadas para os meses de janeiro e dezembro, e foram analisadas somente as datas de 22/06 e 22/12, solstício de inverno e

verão respectivamente. Foi utilizado um passo de tempo de 1 hora nas simulações. As condições climáticas aplicadas são referentes a cidade de Belo Horizonte- MG, devido sua proximidade com a cidade de Itabira-MG, local da edificação e por esta não possuir dados climáticos formatados para uso no programa. O arquivo climático é disponibilizado pelo programa. Para a comparação entre as zonas térmicas somente a variável de temperatura interna foi monitorada.

Os valores de absorvância e transmitância térmica dos materiais utilizados na simulação das zonas térmicas foram definidos tendo como base os valores calculados anteriormente no capítulo 5, ver Tabela 5.

Tabela 5 - Valores de transmitância e absorvância para zonas térmicas simuladas

<b>ZONAS TÉRMICAS SIMULADAS</b>	<b>TRANSMITÂNCIA TÉRMICA (W/m<sup>2</sup>k)</b>	<b>ABSORVÂNCIA (<math>\alpha</math>)</b>
<b>ORIGEM</b>	0,71	0,8
<b>PADRÃO</b>	2,43	0,8
<b>CLARA</b>	0,64	0,2
<b>ESCURA</b>	0,64	0,9

Fonte: Elaborada pelo Autor.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 Simulação Zona Origem X Zona Padrão

Os resultados estão representados nos Gráficos 1 e 2, onde a linha de cor vermelha representa a evolução da temperatura externa, a linha verde a evolução da temperatura interna na Zona Origem e a linha de cor roxa representa a evolução da temperatura interna na Zona Padrão, todas durante o período de um dia.

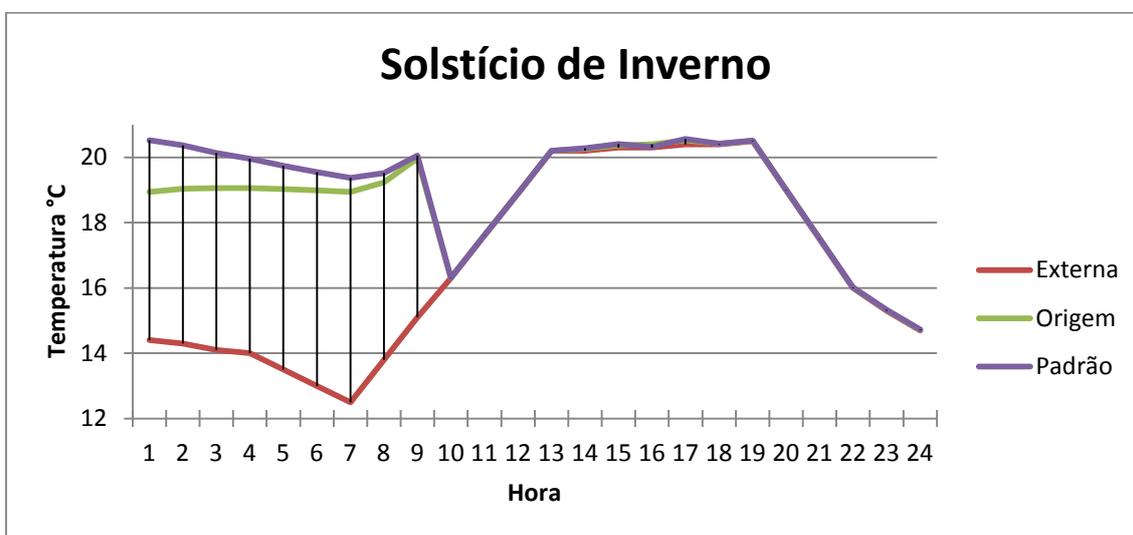


Gráfico 1 - Solstício de inverno, comparação entre as Zonas Origem e Padrão<sup>1</sup>

Analisando o Gráfico 1, referente ao solstício de inverno, observamos que a temperatura interna na Zona Origem é menor em torno de 1°C, entre 1h e 9h, que a simulada na Zona Padrão. Após este horário as duas temperaturas se equiparam à externa, anteriormente mais baixa.

<sup>1</sup> As temperaturas iniciais e finais deveriam ser próximas. A diferença de mais de 5,5°C deve-se a uma anomalia no funcionamento do programa utilizado na simulação, assim como a queda de temperatura ocorrida entre 9h e 11h.

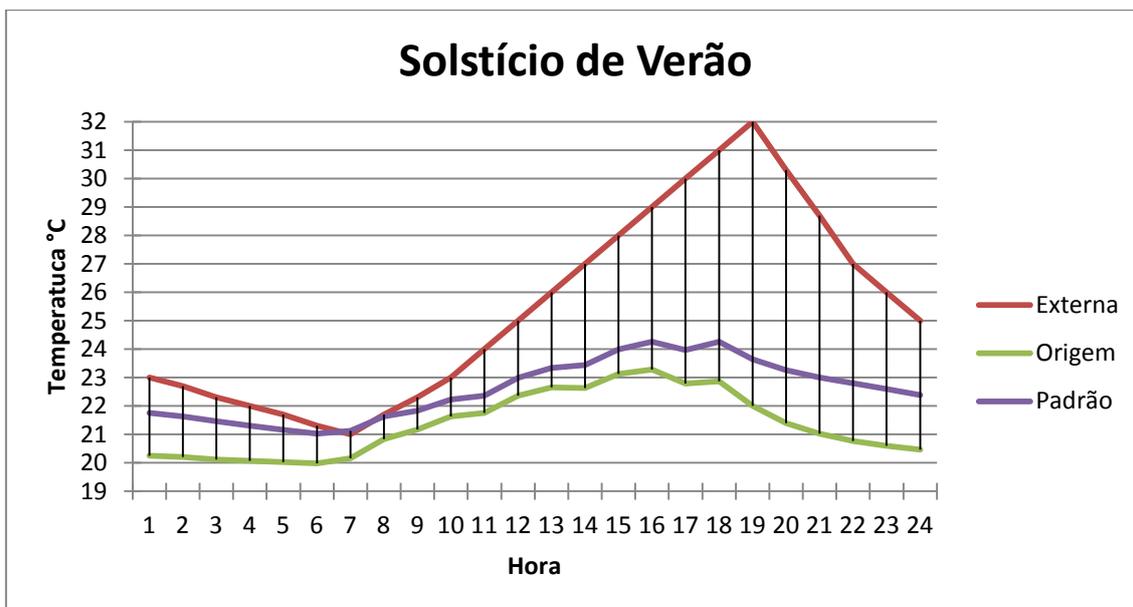


Gráfico 2 - Solstício de verão, comparação entre as Zonas Origem e Padrão

O Gráfico 2 referente ao solstício de verão demonstra uma pequena diferença entre as temperaturas internas, variando de 1,5°C na madrugada, diminuindo para aproximadamente 0,5°C no período da manhã e chegando próximo a 2°C no período vespertino. Nota-se um aumento na temperatura externa a partir das 7h, que descolada das internas tem seu ápice por volta das 18h30min quando alcança 32°C.

A análise dos gráficos resultantes demonstra uma ocorrência de temperaturas internas semelhantes nas duas datas. No solstício de inverno a variação é em média de 0,3°C. No solstício de verão a variação não ultrapassa os 2,0°C com uma média de 1,2°C durante o período. A Zona Origem, nos dois períodos simulados, com sua fachada de menor condutividade, tem temperaturas internas mais baixas do que a Zona Padrão.

## 5.2 Simulação Zona Escura X Zona Clara

Os Gráficos 3 e 4 representam os resultados das simulações, onde a linha de cor azul representa a evolução da temperatura externa, a linha vermelha a evolução da temperatura interna na Zona Clara ( $\alpha=0,20$ ) e a linha verde representa a evolução da temperatura interna na Zona Escura ( $\alpha=0,90$ ), todas durante o período de 24h.

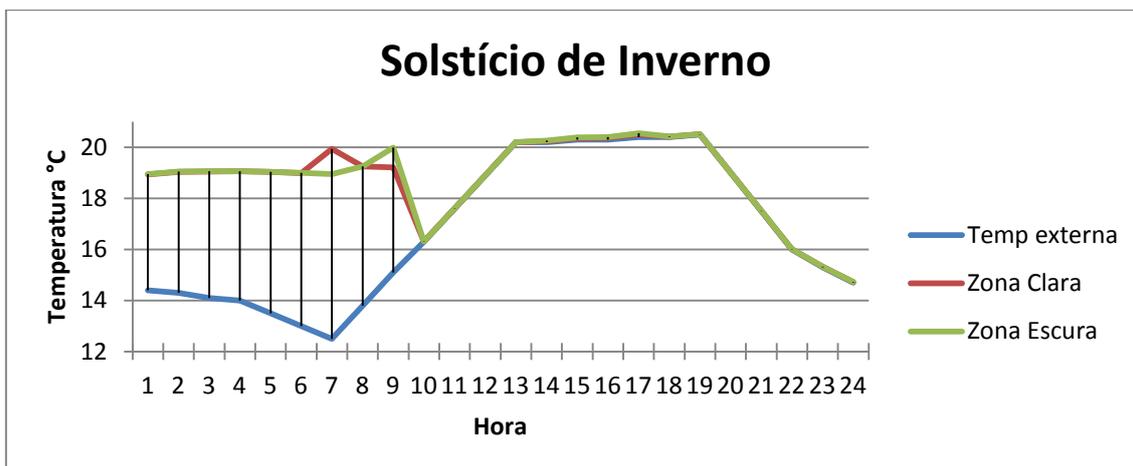


Gráfico 3 - Solstício de inverno, comparação entre as Zonas Clara e Escura<sup>2</sup>

O Gráfico 3 demonstra a evolução das temperaturas internas das duas zonas no solstício de Inverno. Observa-se as temperatura das Zonas se comportam de forma semelhante, com uma variação apenas no início da manhã em torno de 1°C.

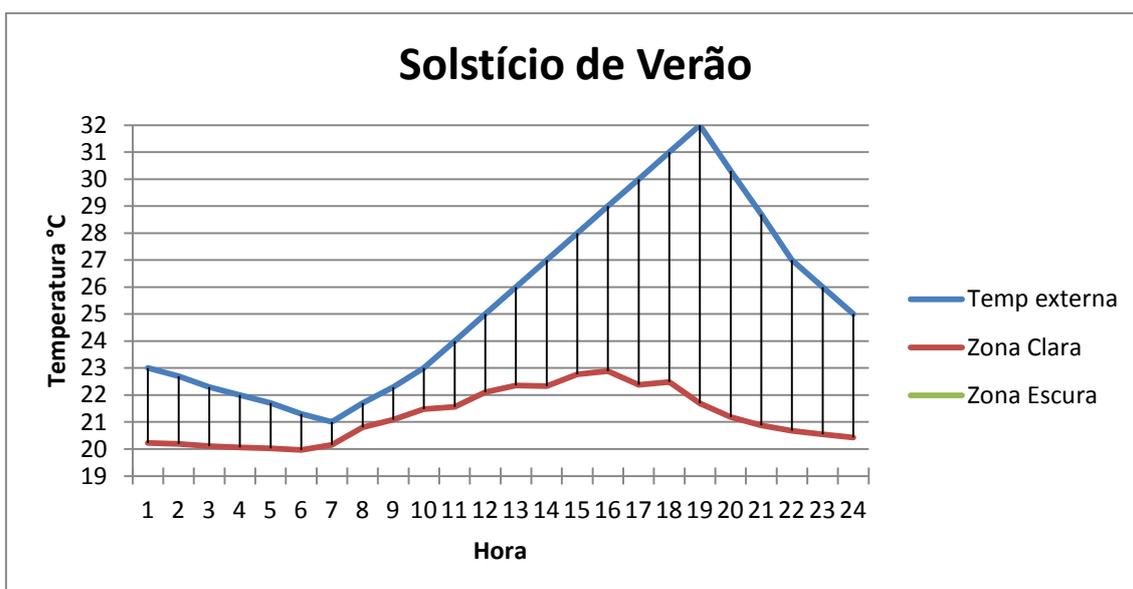


Gráfico 4 - Solstício de verão, comparação entre as Zonas Clara e Escura

Referente ao Solstício de verão o Gráfico 4 demonstra uma evolução similar da temperatura interna nas duas zonas, com uma diferença máxima 0,48°C às 16h e uma média de 0,18°C durante o dia.

<sup>2</sup> As temperaturas iniciais e finais deveriam ser próximas. A diferença de mais de 4°C, deve-se a uma anomalia no funcionamento do programa utilizado na simulação, assim como a queda de temperatura ocorrida entre 9h e 11h.

Os Gráficos 3 e 4 demonstram que os valores de temperatura interna nas duas zonas se mostram próximos, com diferenças mínimas nos dois períodos. No Solstício de inverno a diferença, fora a variação do início da manhã, é inexistente. No de verão, há uma pequena diferença entre as temperaturas internas entre 9h e 19h não chegando a 0,5°C. Nota-se, apenas no solstício de verão uma temperatura interna maior na Zona Escura, de maior valor de absorvância.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cor é um dos elementos que constituem as obras de arquitetura. É tão importante quanto a estrutura ou a alvenaria. Não se pode pensar a arquitetura sem cor. Porém, o fenômeno da percepção da cor é bastante complexo, formado por elementos físico, fisiológico e psicológicos, e pode variar entre diferentes observadores.

Quando relacionada à absorvância, a cor das superfícies, em conjunto com outras características físicas dos materiais, pode influenciar o comportamento térmico dos edifícios e conseqüentemente sua eficiência energética. Dessa forma, o uso adequado das cores, respeitando suas propriedades e pautado em dados reais de absorvância dos materiais, pode ser uma ferramenta simples para se alcançar o conforto térmico e a eficiência energética nas edificações.

Através da análise do sistema de fachada utilizado no Prédio Origem ficou demonstrada sua baixa transmitância térmica. O valor resultante de  $0,64W/(m^2.K)$  esta bem abaixo do valor limite de  $3,7(W/m^2.K)$  estabelecido para a classificação em nível "A" segundo o pré-requisito transmitância térmica do RTQ-C(2010) e também dos valores dos sistemas construtivos mais comuns utilizados no Brasil citados na NBR 15220-2:2005.

A definição dos valores de absorvância das cores utilizadas na fachada do prédio Origem foi prejudicada pela indisponibilidade do dado por parte do fabricante do material e pela impossibilidade de um ensaio laboratorial. Houve assim, a necessidade de adaptação dos valores, tendo como base publicações reconhecidas. Das seis cores utilizadas na fachada apenas uma teve seu valor compatível com a classificação nível "B" para o pré-requisito Cores e absorvância do RTQ-C, as demais restringem a classificação em "C".

A simulação computacional de uma zona térmica da edificação estudo de caso, com duas configurações, uma utilizando o sistema de fachada real e outra utilizando uma envoltória padrão, conforme descrito na NBR 15220-2:2005, demonstrou valores da temperatura interna menores na Zona Origem em relação a Zona Padrão. Essa diferença de temperatura confirma um melhor desempenho térmico do sistema de fachada de baixa transmitância térmica utilizado no prédio em comparação a fachada utilizada na Zona Padrão. Essa mesma zona térmica da edificação, simulada com diferentes valores de

absortância, 0,2 para a Zona Clara e 0,9 para a Zona Escura, teve como resultado mínimas diferenças nos valores de temperatura interna encontrados entre as duas zonas, demonstrando que neste caso, o uso de cor escura na fachada não é significativo para o aumento da temperatura interna do ambiente e conseqüentemente para um maior consumo do edifício. Nos dois casos a temperatura interna se comportou favorável ao conforto térmico. No inverno manteve-se superior à temperatura externa durante o período da manhã e no verão, durante todo o dia, manteve-se abaixo.

Sendo a absortância solar dos materiais de revestimento externo das paredes e cobertura da envoltória um dos pré-requisitos para classificação do nível de eficiência da envoltória segundo o RTQ-C, devido a dificuldade em se conseguir dados confiáveis conforme exposto anteriormente e do peso deste pré-requisito na classificação, onde pequenas variações no valor da absortância pode gerar um aumento no nível de classificação, considera-se que uma revisão para reconsiderar o impacto da absortância na forma de classificação seja necessária, pois quando a adesão ao RTQ-C passar a ser obrigatória, pode-se criar um entrave para o uso da cor nas fachadas dos edifícios, limitando assim a criatividade do arquiteto.

O RTQ-C é o primeiro instrumento legal brasileiro destinado para a regulação do consumo de energia em edificações, com sua maior utilização pelos profissionais, será uma importante ferramenta para o fomento de projetos com ênfase na eficiência energética e sustentabilidade. Em conjunto, a certificação das edificações através de uma etiqueta, como acontece com os eletrodomésticos no Brasil, poderá ser um meio eficiente para a massificação da "idéia" da economia de energia pelos edifícios junto ao consumidor.

## 7 REFERÊNCIAS

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

CARLO, Joyce Correna. Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética do Envoltório de Edificações Não residenciais. Tese de Doutorado – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2008.

CHENG, V.; NG E.; GIVONI, B. Effect of envelope colour and thermal mass on indoor temperatures in hot humid climate. *Solar Energy*, v. 78, p. 528-534, 2005.

DORNELLES, Kelen Almeida. Absortância solar de superfícies opacas: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA 2008. Tese de Doutorado – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2008.

FROTA, Anésia Barros. Manual do Conforto Térmico: arquitetura, urbanismo/ Anésia Barros frota, Sueli Ramos Schiffer. São Paulo, Studio Nobel, 2003.

LÉGER, Fernand. Funções da pintura. São Paulo, Nobel, 1989.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. Rio de Janeiro, 08 de junho de 2009.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. Rio de Janeiro, 22 de junho de 2009.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. Manual para Aplicação dos Regulamentos: RTQ-C e RAC-C. Rio de Janeiro, 2009.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. Etiquetagem de Eficiência Energética de Edificações. Rio de Janeiro, 2009.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. Eficiência energética na arquitetura. São Paulo: PW, 1997.

MELO, Ana Paula. Análise da influência da transmitância térmica no consumo de energia de edificações comerciais. Tese de Mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2007.

PEDROSA, Israel. *Da cor à cor inexistente*. 10ª Ed. Rio de Janeiro: Senac Nacional, 2009.

PODESTÁ, Sylvio E. de. Casas. Editora AP Cultural, Belo Horizonte, 2000.

RASMUSSEN, Stenn Eiler. Arquitetura vivenciada. São Paulo, Martins Fontes, 1988.

