



FACULDADE HORIZONTINA

ALAN TIAGO NENEVE

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE IMPLEMENTAÇÕES PARA EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA EM RESIDÊNCIA**

HORIZONTINA

2016

FACULDADE HORIZONTALINA
Curso de Engenharia Mecânica

Alan Tiago Neneve

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE IMPLEMENTAÇÕES PARA EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA EM RESIDÊNCIA**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, pelo Curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Horizontalina.

ORIENTADOR: Charles Mateus Weschenfelder, Especialista

HORIZONTALINA – RS



**FAHOR - FACULDADE HORIZONTINA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia:

**“Estudo de Viabilidade de Implementações para Eficiência Energética em
Residência”**

Elaborada por:

Alan Tiago Neneve

**Aprovado em: 25/11/2016
Pela Comissão Examinadora**

**Especialista. Charles Mateus Weschenfelder
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador**

**Doutor. Ademar Michels
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**Doutor. Geovane Webler
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**HORIZONTINA- RS
2016**

RESUMO

Com a popularização dos sistemas de refrigeração, a busca por conforto térmico vem aumentando em todas as classes sociais no país e, por consequência, a demanda energética das usinas cresce significativamente, o que gera uma preocupação quanto ao abastecimento das redes de energia elétrica. Uma alternativa para auxiliar neste potencial problema, proposto neste trabalho, é o uso mais eficiente de equipamentos e materiais de construção, que podem reduzir a troca de calor com o ambiente externo, tornando climatizadores mais eficientes e portanto reduzindo consumo de energia nesta área. Visando contribuir com sistemas mais eficientes de climatização, são realizadas, neste estudo, simulações computacionais que tem por objetivo analisar a economia de energia gerada por utilização de diferentes materiais isolantes aplicados nas paredes de uma residência, observando qual opção é mais viável pelo retorno de investimento através da economia monetária gerada pelo isolamento térmico. Os cálculos destas simulações são realizadas pelo *software* EnergyPlus, o qual utiliza outros dois programas: O SketchUp, que trabalha o *design* da edificação, e o OpenStudio como auxílio na entrada de dados e comunicação entre *softwares* e usuário. São simuladas quatro configurações diferentes de materiais empregados no isolamento térmico de uma casa onde se observa o desempenho de cada uma separadamente e em comparação com as outras, além de uma análise de retorno financeiro das aplicações. Como resultados é observado que entre as configurações de materiais simuladas, a que apresenta valores mais significantes de economia energética é a Lã de Rocha, porém o EPS é o que apresenta menor tempo de retorno ao investimento, de 7 anos. Os gráficos de gastos de energia elétrica demonstram que este sistema poderia ter um retorno melhor se aplicado em ambientes de temperaturas menores, uma vez que a energia economizada em aquecimento foi de aproximadamente 20% maior que no resfriamento em todas as simulações.

Palavras-chave: Conforto térmico. Energia. Eficiência.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Distribuição Energética no Setor Residencial e Comercial | 14 |
| Figura 2 – Condutividade x Densidade | 15 |
| Figura 3 – Interface SketchUp..... | 18 |
| Figura 4 – Plug-in OpenStudio para SketchUp..... | 19 |
| Figura 5 – Esquema de Módulos EnergyPlus | 20 |
| Figura 6 – Zonas Térmicas..... | 22 |
| Figura 7 – Leiaute OpenStudio Application | 23 |
| Figura 8 – Calendários OpenStudio | 24 |
| Figura 9 – Materiais de Construção no OpenStudio..... | 25 |
| Figura 10 – Planta com Zonas Térmicas..... | 28 |
| Figura 11 – Atividade por pessoa..... | 31 |
| Figura 12 – Localização de Cruz Alta, RS..... | 32 |
| Figura 13 – Temperaturas médias mensais simuladas | 33 |
| Figura 14 – Gastos Mensais Configuração Simples..... | 34 |
| Figura 15 – Gastos Anuais Configuração Simples | 35 |
| Figura 16 – Gastos Mensais Configuração A | 36 |
| Figura 17 - Gastos Anuais Configuração A | 37 |
| Figura 18 – Gastos Mensais Configuração B..... | 37 |
| Figura 19 – Gastos Anuais Configuração B | 38 |
| Figura 20 – Gastos Mensais Configuração C..... | 38 |
| Figura 21 – Gastos Anuais Configuração C | 39 |
| Figura 22 – Gastos Mensais Configuração D..... | 39 |
| Figura 23 – Gastos Anuais Configuração D | 39 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 1 - Condutividade Térmica de Materiais Alternativos. | 16 |
| Quadro 2– Materiais de Construção Fixos de Simulação | 29 |
| Quadro 3 – Cargas Internas..... | 30 |
| Quadro 4 – Propriedades Isolantes..... | 33 |
| Quadro 5 – Custo por m ² de Isolante | 40 |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 10 |
| 2 REVISÃO DA LITERATURA | 12 |
| 2.1 TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR CONDUÇÃO | 12 |
| 2.2 TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR CONVECÇÃO | 12 |
| 2.3 TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RADIAÇÃO | 13 |
| 2.4 EFICIÊNCIA TERMOENERGÉTICA | 13 |
| 2.4.1 Consumo de Energia em Conforto Térmico | 13 |
| 2.4.2 Consumo Energético em Edificações | 14 |
| 2.5 ISOLAMENTO TÉRMICO DOS MATERIAIS DE CONTRUÇÃO; | 15 |
| 2.6 TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM SUPERFÍCIES; | 16 |
| 2.7 SOFTWARES DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL | 17 |
| 2.7.1 SketchUp | 17 |
| 2.7.2 OpenStudio | 18 |
| 2.7.3 EnergyPlus | 19 |
| 3 METODOLOGIA | 22 |
| 4 RESULTADOS | 27 |
| 4.1 PARÂMETROS FIXOS | 27 |
| 4.1.1 Geometria da Residência | 27 |
| 4.1.2 Materiais Construtivos | 29 |
| 4.1.3 Cargas Internas | 30 |
| 4.1.4 Atividade por pessoa | 31 |
| 4.1.5 Características da Localização | 32 |
| 4.2 PARÂMETROS VARIÁVEIS | 33 |
| 4.3 SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS | 34 |
| 4.3.1 Configuração Simple | 34 |
| 4.3.2 Configuração “A” | 35 |
| 4.3.3 Configuração “B” | 36 |
| 4.3.4 Configuração “C” | 38 |
| 4.3.5 Configuração “D” | 39 |
| 4.4 ANÁLISE DE VIABILIDADE DAS CONFIGURAÇÕES | 40 |

| | |
|-------------------------------------|-----------|
| 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 42 |
| REFERÊNCIAS..... | 44 |
| ANEXO A | 46 |
| ANEXO B | 47 |
| ANEXO C | 48 |
| ANEXO C2 | 49 |
| ANEXO D | 50 |

1 INTRODUÇÃO

A busca por conforto térmico em ambos setores residencial e industrial vem apresentando um aumento vultoso nos últimos anos. Isso causa um impacto significativo nos valores de consumo de energia, devido principalmente ao fato desse recurso se tornar mais acessível, a população em geral, com preços reduzidos pelo desenvolvimento de novas tecnologias.

Como a tendência é que, devida a essas condições, o número de pessoas que buscam sistemas de refrigeração continue a crescer, seja gerado um crescimento enorme na demanda energética do país, cria-se então uma preocupação com a capacidade dos sistemas de fornecimento de energia para suportar toda esta demanda. Uma alternativa de auxílio neste ponto é oferecer sistemas mais eficientes, onde a mesma atividade de arrefecimento pode ser executada utilizando uma carga menor de energia, aliviando as redes elétricas e possibilitando um gasto menor com energia elétrica. Dessa forma, este trabalho terá como tema fazer um estudo de viabilidade de aplicação de materiais diversos em construção de residência, buscando melhor eficiência energética através de simulação no *software* EnergyPlus.

Este estudo possui como problema de pesquisa avaliar os parâmetros onde se tem possibilidades de, através de análises térmicas, evitar o desperdício energético, definindo melhorias em isolamento e utilização de materiais com menores coeficientes de transferência de calor.

O trabalho justifica-se com o acréscimo na demanda energética nacional, que, além de outros fatores, é causada pela evolução tecnológica e propulsionada pelo aumento da população da classe média. Segundo BEN (2014), o consumo total de energia elétrica no setor residencial teve um acréscimo de 6,3% do ano de 2012 para 2013, apesar do aumento da eficiência nos equipamentos domésticos, enquanto a geração de energia subiu apenas 3,2% no mesmo período.

Esses valores, que tendem a aumentar para os próximos anos, demonstram a importância do uso racional e da eficiência dos equipamentos que utilizam a energia elétrica. A redução do consumo de energia através de um uso mais consciente com métodos, materiais e equipamentos mais eficientes diminuiria a demanda das usinas, possibilitando uma melhor qualidade a todos que utilizam deste serviço.

O consumo de energia nas residências muitas vezes não recebe a atenção necessária, por ser de uma quantia muito menor quando comparado ao setor industrial, por exemplo. Porém, gera um montante significativo no somatório final, sendo que muitas vezes, na etapa do projeto, poderiam ser utilizados materiais alternativos e outras implementações que iriam gerar retorno em um curto ou médio prazo.

A energia elétrica é essencial para atender ao conforto dos habitantes de edificações. Realizando um planejamento adequado, pode ser economizado até 45% de energia em um edifício, comparado à outro com as mesmas funcionalidades. Para isso, é preciso que a edificação seja adequada ao ambiente e às condições de clima da região que se situa, utilizando materiais devidamente planejados, objetivando o uso racional da energia (PROCEL apud MARTINEZ ET AL, 2009).

Este trabalho tem como objetivo geral definir parâmetros para otimizar o aproveitamento energético dentro de uma determinada residência, através de simulação em *software* EnergyPlus, pelo estudo de materiais e implementação de isolantes em paredes, melhorando a eficiência do sistema de ar condicionado de uma residência.

Os objetivos específicos são citados abaixo:

- Realizar a modelagem 3D da edificação a ser simulada em *software*.
- Determinar as cargas térmicas da edificação;
- Simular a edificação em *software* computacional OpenStudio;
- Analisar resultados com cada configuração de materiais simulados;
- Identificar materiais de construção que possibilitem maior eficiência energética;
- Verificar viabilidade de cada configuração por economia energética.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR CONDUÇÃO

A transferência de calor por condução, segundo ÇENCEL e GHAJAR (2012), ocorre pelo meio físico, de partículas mais energéticas para as partículas em contato menos energéticas. Ela pode ocorrer por meios sólidos, líquidos ou gasosos. Quando a transferência é por meio de fluidos, ocorre devido às colisões e difusão das moléculas. Quando é por meio de sólidos, ocorre por causa da cominação das vibrações das moléculas, onde a energia é transportada através de elétrons livres.

Os fatores que influenciam a transferência de calor por condução são: a geometria do corpo, sua espessura, o material, e a variação de temperatura dos corpos. Pode ser calculada através da seguinte fórmula:

$$Q = -K \cdot A \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (1)$$

Onde “K” é a condutividade térmica do material, já apresentada anteriormente, ΔT representa variação de temperatura entre os dois corpos a estarem transferindo calor, e Δx a espessura do material. A unidade da Transferência de Calor de acordo com o SI é W, sendo as unidades de cada termo especificada no Anexo A.

2.2 TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR CONVECÇÃO

A convecção se dá pela transferência de energia através do movimento molecular aleatório e também pelo movimento macroscópico. Este movimento, quando há variação de temperatura, facilita a transferência do calor (INCROPERA et al, 2008).

Esse tipo de transferência ocorre pelo contato de um fluido com uma superfície sólida, desde que haja diferença de temperatura. E pode ser calculado através da equação abaixo:

$$Q = h * A * \Delta T \quad (2)$$

Onde: h representa o coeficiente de transferência de calor por convecção, dado, pelo SI, em $W/m^2 \text{ } ^\circ C$; A é a área da superfície em m^2 ; e ΔT é a variação de temperatura entre o fluido e a superfície tratados. A unidade de acordo com o SI é W .

2.3 TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RADIAÇÃO

Para Çengel e Ghajar (2012), na transferência de calor por radiação, a energia é transmitida através de ondas eletromagnéticas, que são o resultado das alterações na configuração dos átomos e moléculas. Esse tipo de transmissão não exige um meio condutor.

O exemplo mais comum da transferência por radiação é a maneira como a energia do sol atinge a terra. Ela pode ser calculada através da equação de Stefan-Boltzmann:

$$Q = e * \sigma * A * T^4 \quad (3)$$

O valor de e representa a emissividade e pode ser classificada de de 0 a 1; σ é o coeficiente de Stefan-Boltzmann que equivale a $5,67 \times 10^{-8} W/m^2 K^4$, que é a fração de energia incidente em uma superfície, também dada de 0 a 1, e temperatura em Kelvin. A transferência de calor por radiação é dada em W .

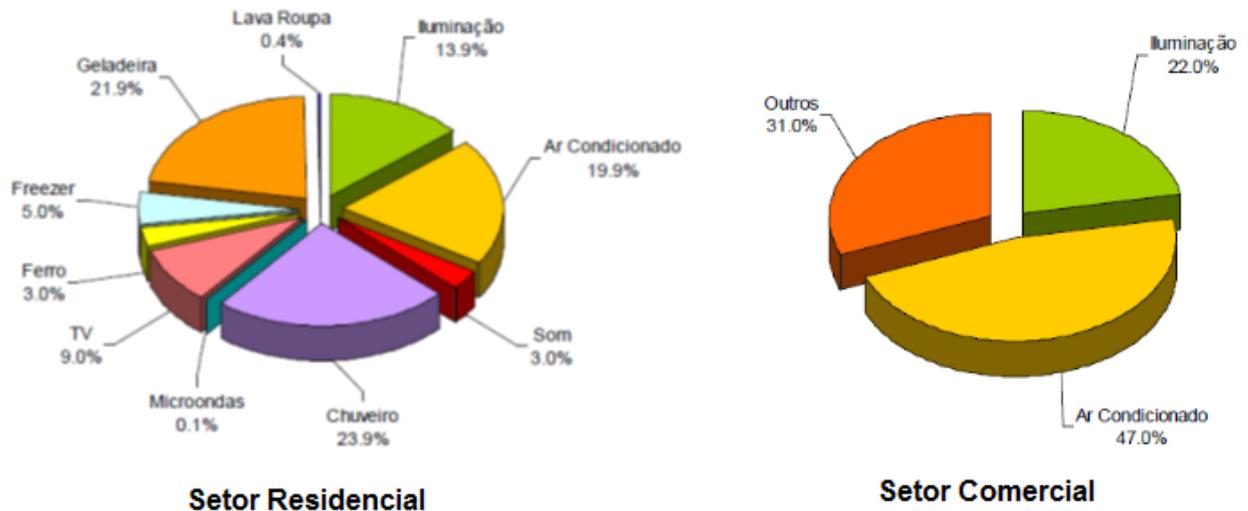
2.4 EFICIÊNCIA TERMOENERGÉTICA

2.4.1 Consumo de Energia em Conforto Térmico

Ao analisar a matriz energética brasileira e a distribuição do consumo de energia, que apresenta dados sobre o crescimento do consumo nos setores residencial, comercial e público, percebe-se a importância do consumo de energia elétrica destinada ao conforto térmico (MARTINEZ et al, 2009).

Os gráficos da Figura 1 apresentam a distribuição do consumo de energia elétrica nos setores residencial e comercial.

Figura 1 - Distribuição Energética no Setor Residencial e Comercial



Fonte: Martinez, M. F. et al, 2009.

O número relacionado ao consumo de ar condicionado no setor comercial demonstra uma enorme oportunidade de economia nesta área, trazendo vantagens para as companhias, com redução de gastos em energia, diminuindo a demanda das fornecedoras e tornando o ambiente mais sustentável.

2.4.2 Consumo Energético em Edificações

Um dos processos mais importantes de edificação é a definição de sua envoltória, a qual se caracteriza como um conjunto de elementos que limitam, como uma barreira, o meio externo e o meio interno, e são responsáveis por controlar as necessidades energéticas. As envoltórias do edifício têm suas características diretamente vinculadas ao consumo energético, o que significa que, se estas não forem adequadamente pensadas e projetadas, não irão desempenhar função térmica, permitindo a troca de calor com o ambiente externo com baixa resistência, o que ocasionará em um gasto excessivo com equipamentos termomecânicos para equilibrar a temperatura do ambiente interno (HIRST apud BALTAR, 2006).

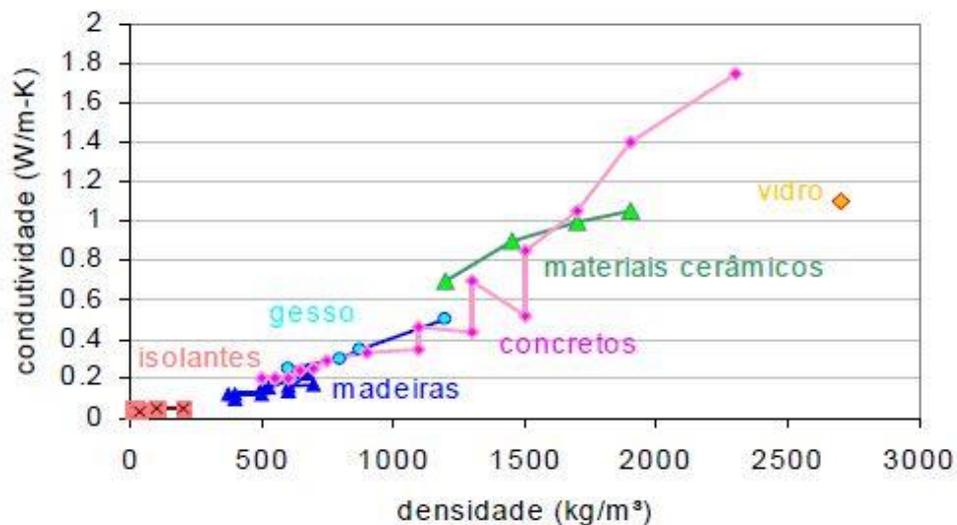
No setor econômico, há estudos que se aplicam à demanda final de energia, incorporando modelos para previsão da economia de energia potencial,

considerando neste caso a redução por eficiência energética de equipamentos mais novos. Estes estudos apontam que no setor comercial é possível conseguir uma redução na demanda de energia de até 50%, através de projetos de edifícios energeticamente eficientes (PATUSCO apud BALTAR, 2006).

2.5 ISOLAMENTO TÉRMICO DOS MATERIAIS DE CONTRUÇÃO;

Tendo em vista os números mencionados acima em relação à economia de energia que se pode obter quando utilizado um bom planejamento na fase do projeto, estudam-se materiais que possam ser utilizados na construção para aumentar o isolamento térmico da residência, considerando-se também sua viabilidade econômica. Alguns dos materiais mais utilizados e viáveis estão na Figura 2, onde se apresenta informações de sua condutividade térmica pela sua densidade.

Figura 2 –Condutividade x Densidade



Fonte: WESTPHAL, MARINOSKI, LAMBERTS, 2012.

Apesar da grande variação da linha de concretos, para densidade e conseqüentemente condutividade, o concreto convencional, mais utilizado em construção civil, possui uma densidade maior de 2000 kg/m³. Assim, quando comparado sua condutividade térmica com a da madeira ou dos isolantes representados no gráfico, percebe-se que esses valores apresentados para materiais cerâmicos e concretos não são as melhores opções quando se considera

o conforto térmico, porque permitem a variação de temperatura com certa facilidade em relação ao ambiente externo.

Abaixo estão algumas opções de materiais alternativos que podem ser utilizados para diminuir a condutividade térmica das paredes da residência, e portanto, ter um ambiente interno com temperatura mais facilmente controlada.

Quadro 1 - Condutividade Térmica de Materiais Alternativos.

| Material | Condutividade (W/m.k) | Densidade (Kg/m³) |
|------------------------|------------------------------|-------------------------------------|
| Aglomerado de Cortiça | 0,047 | 105 - 125 |
| Lã de Rocha | 0,030 | 32 |
| Poliestireno Expandido | 0,037 | 13 - 16 |
| Poliestireno Extrudido | 0,035 | 20 - 25 |
| Espuma de Poliuretano | 0,036 | 30 - 60 |
| Lã de Vidro | 0,042 | 16 |

Fonte: ECOCASA.

2.6 TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM SUPERFÍCIES;

De acordo com Çengel, Ghajar (2012), a transferência de calor por uma parede sem geração de calor, considerando a temperatura no ambiente interno e externo constantes, e como a variação de temperatura da parte superior de uma parede com a inferior, e de uma extremidade com outra é praticamente nula. A transferência é definida como permanente e unidimensional, podendo ser revelada através da equação abaixo:

$$Q = KA \frac{T_1 - T_2}{L} \quad (4)$$

Onde k é a condutividade térmica do material, T1 e T2 são as temperaturas internas e externas, sendo T1 a maior delas, e L a espessura da parede. A transferência de calor Q é dada em Watts (W).

Quando a parede possuir mais de uma camada, de diferentes materiais, deve ser realizada a divisão da variação de temperatura pela soma das resistências de cada camada (INCROPERA et al, 2008), que se dá pela fórmula abaixo:

$$Q = \frac{T_1 - T_2}{\Sigma R} \quad (5)$$

Uma vez que o somatório das resistências ΣR para condução entre as camadas é dado por:

$$\Sigma R = \frac{L_1}{K_1.A_1} + \frac{L_1}{K_1.A_1} + \frac{L_n}{K_n.A_n} \quad (6)$$

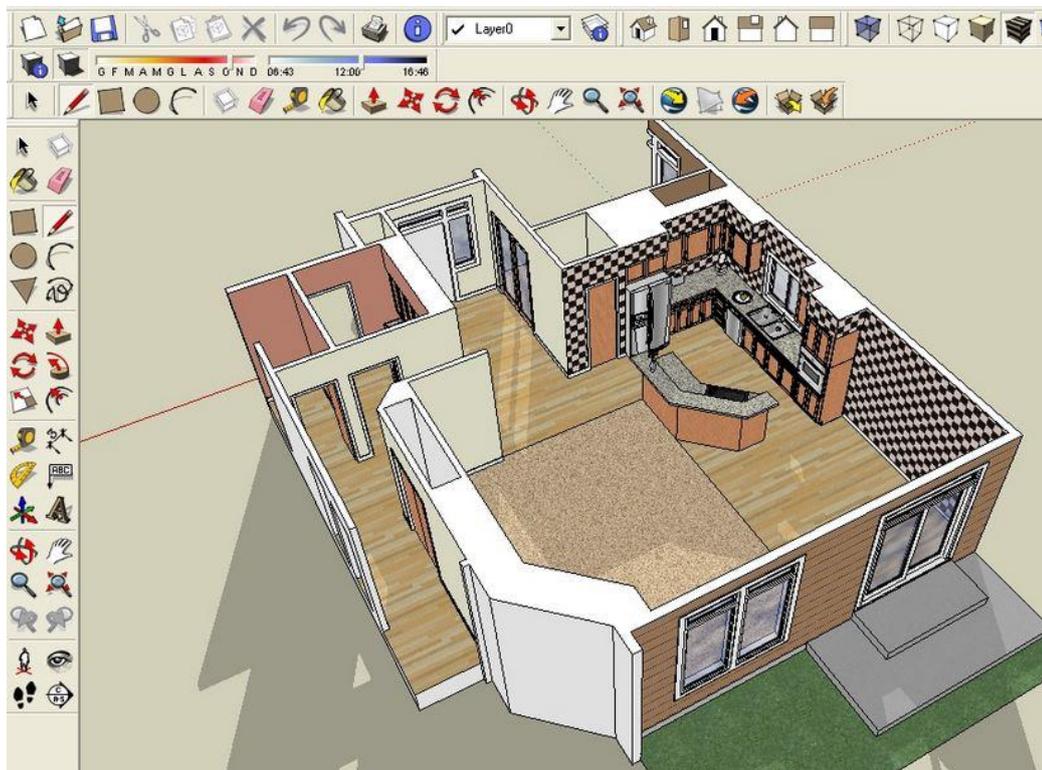
2.7 SOFTWARES DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

A partir da década de 70, com a proliferação dos microcomputadores pessoais, começaram a ser difundidos programas para simulação termo-energética, os quais permitem a análise de fenômenos complexos. Sem a utilização destes, engenheiros e arquitetos teriam que executar cálculos matriciais e iterações, o que dificultaria a resolução manual. A partir de 2001, o LabEEE (Laboratório de Eficiência Energética em Edificações), da Universidade Federal de Santa Catarina, começou a utilizar do *software* EnergyPlus, cuja aplicação, dentre outras vantagens, permite a identificação de oportunidades para acréscimo da eficiência energética em uma edificação, estimativas de redução de consumo energético, com rapidez, custo baixo e uma relativa precisão nos resultados, quando comparado a outros métodos (LabEEE).

2.7.1 SketchUp

Criado originalmente pela *At Last Software*, o SketchUp foi adquirido pelo Google em 2006 e comprado pela *Trimble Navigation* em 2012. É um programa de modelagem 3D muito prático quando comparado a outros *softwares*, e permite a criação de desenhos complexos exigindo poucas horas de prática. Ele não é um programa gratuito, mas é disponível para testes durante um período de 30 dias. Na Figura 3 está uma imagem representando a interface do *software* e um exemplo de um modelamento executado por ele.

Figura 3 – Interface SketchUp



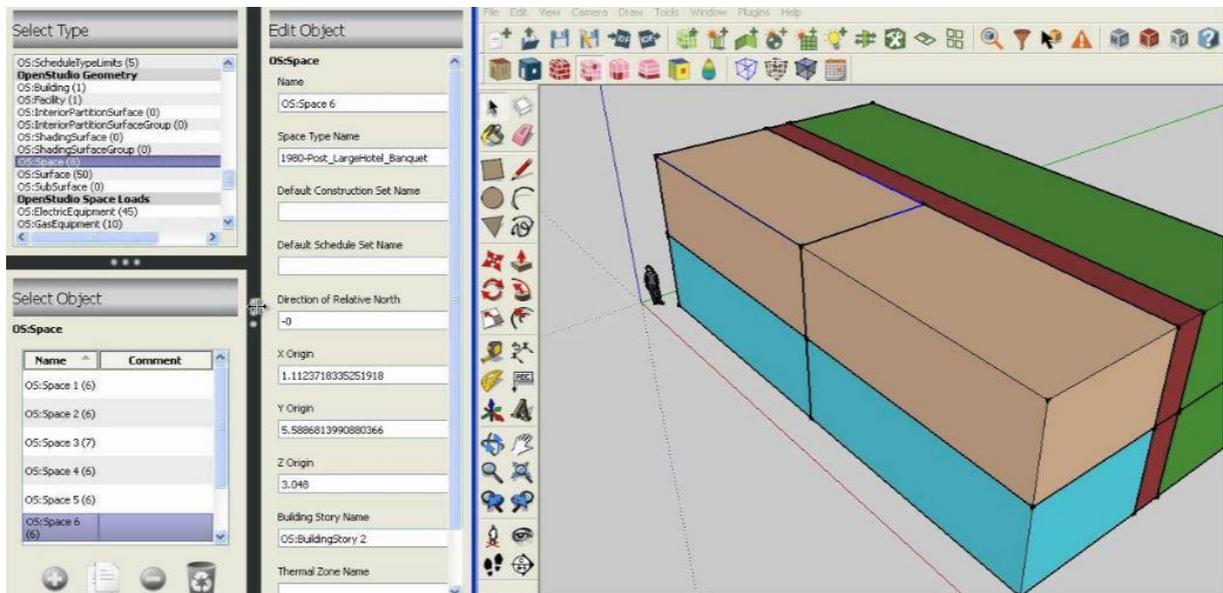
Programa voltado para a arquitetura, tem como principais vantagens a utilização de vários *plug-ins*, possibilitando ser ligado a outros *softwares* e, portanto, tendo diversas aplicações. Segundo Duarte (s.d.), possui ótimos recursos e pode, por exemplo, ser integrado com o Google Earth, sendo muito utilizado para projetos de construções. Dessa maneira, é possível que o projetista simule para o cliente como a construção ficaria no local encomendado antes de iniciar a parte prática do projeto. Além desse, o SketchUp possui um site de armazém 3D, que permite ao usuário o download de objetos prontos para agilizar seu projeto, e também permite que o próprio usuário crie objetos os carregue para este armazém.

2.7.2 OpenStudio

OpenStudio é uma coleção de ferramentas de *softwares* multiplataforma para suportar modelagem energética de construções usando EnergyPlus e análise avançada de luz natural utilizando o Radiance. É um programa *Open Source*, facilitando assim o desenvolvimento em comunidade, extensão e adoção do setor privado. Ele possui interfaces gráficas assim como um *Software Kit* de

Desenvolvimento (SDK). As aplicações gráficas incluem o *OpenStudio Application*, *plug-in* para SketchUp, *ResultsViewer* e *Parametric Analysis Tool*. O *OpenStudio Application* é uma interface inteiramente gráfica para modelos incluindo cargas, cronogramas, sistemas AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado), entre outros. O OpenStudio como *plug-in* para SketchUp é uma extensão para rápida modelagem 3D que permite ao usuário criar uma geometria conforme desejada para ser utilizada no EnergyPlus (OPENSTUDIO, 2016). A Figura 4 demonstra o leiaute do *plug-in*.

Figura 4 – Plug-in OpenStudio para SketchUp



Após desenhado o modelo da edificação 3D por completo e definida as zonas térmicas e suas características, é possível gerar um arquivo de extensão “idf” contendo todas as informações dimensionais e de materiais deste modelamento para serem carregadas no EnergyPlus, evitando assim a necessidade da entrada de todas as informações manualmente no *software* que realiza os cálculos, além fornecer de um maior entendimento das operações.

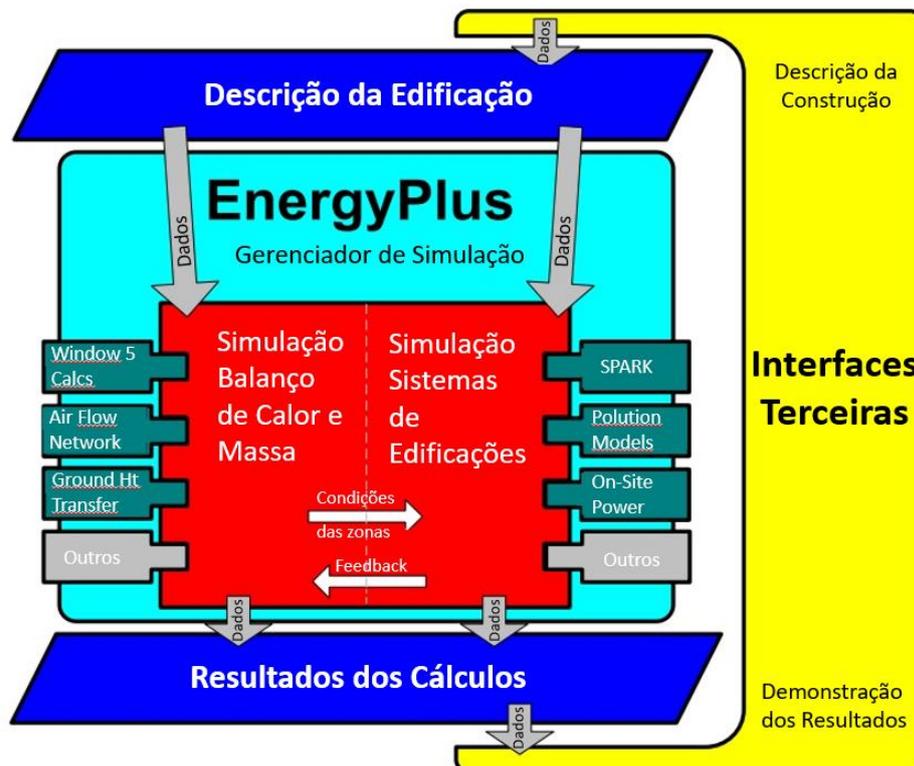
2.7.3 EnergyPlus

O EnergyPlus é um *software* de modelagem energética para avaliação do desempenho termoenergético de uma edificação que foi desenvolvido pelo

Departamento de Energia dos Estados Unidos. Ele é capaz de simular sistemas de arrefecimento, iluminação, aquecimento, permitindo quantizar o consumo energético do local. Foi criado a partir dos *softwares* americanos BLAST e DOE-2, que foram desenvolvidos no final da década de 70 para simulações energéticas e de carga térmica. O EnergyPlus integra vários módulos objetivando calcular a quantia de energia necessária para manter, aquecer ou resfriar um edifício à uma certa temperatura. Simula a edificação e realiza os cálculos em diferentes condições ambientais, utilizando dos princípios fundamentais do balanço energético (MELO, WESTPHAL, MATOS, 2009).

Entretanto, o EnergyPlus não possui uma interface simples para entrada de dados e visualização de como estão sendo efetuados os cálculos. Todas as informações precisam ser fornecidas pelo usuário manualmente, de maneira que teriam que ser executados muitos cálculos previamente a carregar as informações para o EnergyPlus. Por isso, utiliza-se dos *softwares* SketchUp e OpenStudio visando facilitar esta etapa, como demonstrado no esquema de módulos da Figura 5.

Figura 5– Esquema de Módulos EnergyPlus



Fonte: Adaptado de EnergyPlus, 2010

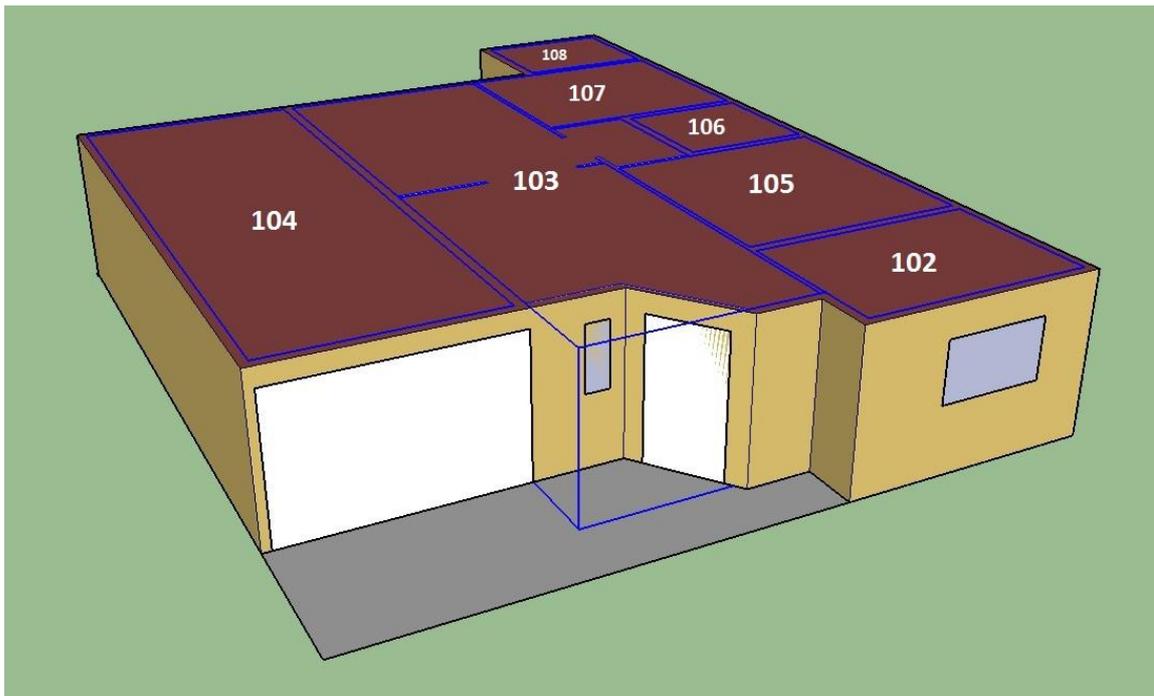
A Figura 5 descreve o funcionamento do EnergyPlus, em um esquema separado por blocos que são distinguidos por cores. A entrada e saída direta do *software* está representada em azul escuro, sendo em verde os módulos utilizados por ele e em amarelo programas terceiros que auxiliam sua utilização, como mencionado anteriormente. Programas terceiros realizam a descrição da edificação, e fornecem essas informações para o EnergyPlus realizar os cálculos, assim como os resultados obtidos pelo EnergyPlus são geralmente interpretados por outros *softwares*.

Os vários módulos internos são controlados por um gerenciador, que quando vistos graficamente se assemelham uma árvore invertida. Cada galho exerce controle sobre suas ramificações, funcionando similarmente à uma organização empresarial, onde os empregados estão em uma cadeia de comando que é coordenada por líderes, supervisores, gerentes, até chegar ao presidente (ENERGYPLUS, 2010).

3 METODOLOGIA

Para a simulação térmica, é primeiramente realizado o desenho de uma casa no *software* SketchUp, o qual, nesse caso, se baseia em uma residência de 120m² no formato mostrado na figura 6. Antes de esboçar a planta da peça, deve-se adicionar uma zona térmica com o *plug-in* do OpenStudio, caso contrário o programa entenderá como um desenho apenas, e desta maneira, essa área é utilizada posteriormente para o cálculo térmico. Durante o projeto, também deve-se levar em consideração os diferentes espaços que se deseja utilizar na casa, separando os que deverão ser climatizados, e configurando-os nas áreas corretas, ou o sistema será mal dimensionado.

Figura 6 - Zonas Térmicas



Cada uma das áreas selecionadas em azul tem seus dados calculados separadamente, sendo isoladas umas das outras pelas paredes internas. O OpenStudio numera as zonas automaticamente por ordem de criação, mesmo podendo ser renomeada posteriormente, ela é apresentada por seu código durante a programação. No caso da residência desta simulação, foram utilizados sistemas de ar condicionado somente em dois quartos e no ambiente da sala e cozinha, ou seja, nas zonas 103, 105 e 107.

Estas zonas trocam calor com os outros ambientes internos e com o ambiente externo, e este cálculo é realizado pelo EnergyPlus através das propriedades materiais das paredes que contornam essas zonas, cadastradas no OpenStudio. Para o cálculo da troca de calor com o ambiente externo, são considerados valores registrados durante por um período de um ano de determinado local. Estes dados são importados através de arquivos climáticos de extensão “.epw” (*Energy Plus Weather data format*) e “.ddy” (*Design Day File*), que são entrados na primeira aba, denominada “Site”, do OpenStudio, e trazem informações referentes a temperatura, umidade relativa, velocidade de vento, intensidade solar, precipitações e outras, conforme mostra figura abaixo. Estes arquivos climáticos são fornecidos por laboratórios especializados de universidades equipadas com estações metereológicas.

Figura 7 – Leiaute OpenStudio Application

The screenshot shows the 'Weather File & Design Days' tab in the OpenStudio application. The interface is divided into several sections:

- Weather File:** Includes a 'Change Weather File' button, a text field for 'Name' (Cruz Alta), and fields for 'Latitude' (-28.6), 'Longitude' (-53.67), 'Elevation' (432), and 'Time Zone' (-3). A link to 'www.energyplus.net/weather' is provided for downloading weather files.
- Select Year by:** Offers two options: 'Calendar Year' (set to 2000) and 'First Day of Year' (set to Sunday).
- Daylight Savings Time:** A toggle switch currently set to 'off'.
- Starts:** Options include 'Define by Day of The Week And Month' (First, Sunday) and 'Define by Date' (01/04/2009).
- Ends:** Options include 'Define by Day of The Week And Month' (First, Sunday) and 'Define by Date' (01/10/2009).
- Design Days:** An 'Import From DDY' button is present above a table of design days.

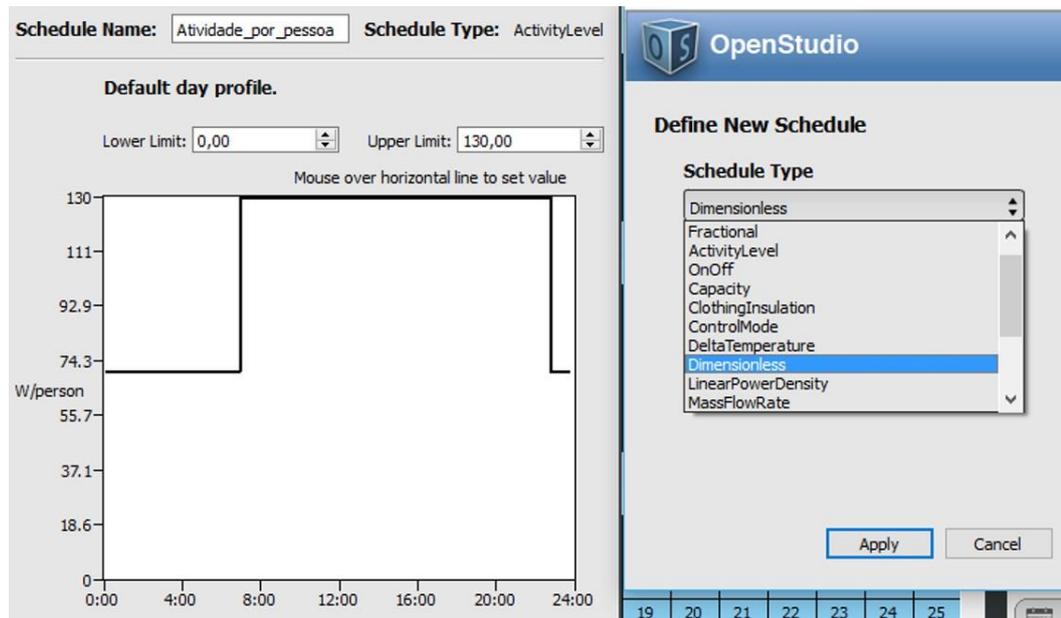
The 'Design Days' table has columns for 'Date', 'Temperature', 'Humidity', 'Pressure Wind Precipitation', 'Solar', and 'Custom'. The table content is as follows:

| Design Day Name | All | Day Of Month | Month | Day Type | Daylight Sa |
|--------------------------------|-------------------------------------|--------------|-------|-----------------|-------------|
| 1a Ann Clg .4% Conds DP=>MDB | <input checked="" type="checkbox"/> | 21 | 12 | SummerDesignDay | |
| 1z Alta Ann Htg 99.6% Conds DB | <input type="checkbox"/> | 21 | 9 | WinterDesignDay | |

As abas posicionadas na esquerda servem como um passo a passo para o usuário realizar a programação, onde são entradas todas as informações que terão influência climática, para que no final seja gerada a simulação. Quanto mais detalhada for entrada as informações, maior será a precisão do seus resultados.

Posteriormente são programados os *schedules*, que são horários de funcionamento de cada item que será adicionado ao sistema, podendo ser aparelhos eletrônicos, pessoas ou sistemas condicionadores de ar. Essa configuração pode ser feita informando e relacionado ao horário do dia, valores de energia a ser gasta, temperatura que se deseja manter o ambiente ou fração da capacidade total dos equipamentos a serem utilizados.

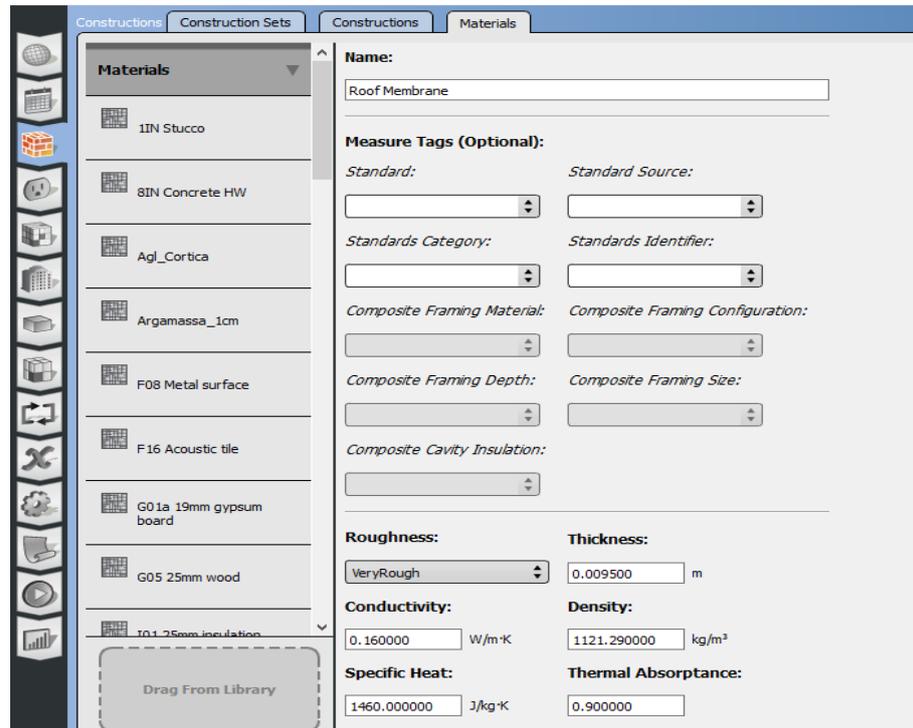
Figura 8 – Calendários OpenStudio



O exemplo apresentado na figura 8 é de nível de atividade por pessoa, onde, como está configurado neste caso, varia entre 70 a 130 W para os horários determinados. Estes níveis de atividades são, no momento dos cálculos, multiplicados pelo número de pessoas que se encontram na zona térmica

Depois disso, são solicitadas as informações dos materiais que compõem a construção. Existem valores padrões para materiais simples, como concreto para paredes, vidro para janelas, cerâmica para piso, além de algumas opções e forro e até mesmo isolantes. No entanto, novos materiais podem ser adicionados, desde que seja entrada as propriedades de condutividade, densidade, calor específico e absorvância, como mostra figura 9.

Figura 9 – Materiais de Construção no OpenStudio



Também é necessário informar como é desejado que seja a construção da parede, podendo haver mais de um material por parede, e então, definir onde estas paredes serão posicionadas na casa. Estas são as funções das outras duas guias presentes nesta aba.

Nas etapas posteriores são configuradas as cargas internas da construção: pessoas presentes, iluminação, equipamentos elétricos, entre outros, e cada uma destas atreladas a um calendário, que havia sido configurado anteriormente. Uma vez que as cargas estão criadas, elas devem ser posicionadas em sua respectiva zona, como mostrado na figura 6.

Por fim, antes da simulação, são estabelecidos sistemas de ar condicionado para cada ambiente. O *software* possui diversas opções, à energia elétrica e à gás, além de possibilitar a personalização. O sistema escolhido deve ser também atrelado à zona térmica que ele irá atuar, assim como à um calendário que dita a frequência/horário de atuação.

Tendo todas essas etapas completas e corretamente configuradas, é então gerado o arquivo de extensão “idf” que carrega com ele todas essas informações, e trabalha com o EnergyPlus para a realização dos cálculos de trocas térmicas. A partir desse ponto pode ser executada a simulação do sistema configurado e, se não houver erros, o que não é incomum de acontecer, os resultados irão aparecer na última guia de relatórios. Caso algum erro aconteça, é possível tirar um relatório do EnergyPlus que possui uma descrição do erro e indica em qual parâmetro ele está, facilitando sua resolução. Ambos os *softwares* OpenStudio e EnergyPlus oferecem uma interface para a visualização dos resultados, ficando a critério do usuário qual escolher.

4 RESULTADOS

São apresentados nesse capítulo, os resultados das simulações realizadas com 4 configurações diferentes de materiais, variando o tipo de isolamento utilizado nas paredes. Posteriormente são feitas análises das diferenças encontradas na simulação com estes materiais diferentes e comparados entre si, visando encontrar a opção mais econômica e analisando a viabilidade dela.

4.1 PARÂMETROS FIXOS

Como se trata de uma comparação entre a eficácia de isolamento das paredes, os materiais utilizados nas outras estruturas da residência, assim como outros parâmetros, não são relevantes na simulação, pois são constantes para todas as configurações e, sendo assim, não influenciam nos resultados. Todavia, é explanado nesta seção quais são esses parâmetros constantes que foram utilizados.

4.1.1 Geometria da Residência

Todas as medidas da residência permanecem as mesmas para todas as configurações de simulação. Estas dimensões são demonstradas na planta apresentada na Figura 10.

Figura 10 - Planta com Zonas Térmicas



Estão destacadas na figura 10, em verde, azul e amarelo as três zonas térmicas da residência que serão climatizadas. A altura das paredes é de 2,85 metros. Também é informado a posição do eixo da casa em relação ao norte, para que se seja possível considerar quais superfícies terão contato direto com a luz do sol e respectivos horários.

4.1.2 Materiais Construtivos

Os materiais de construção para a simulação foram selecionados conforme os que são comumente utilizados na região, visando encontrar valores de gasto de energia elétrica similares aos que se obtém na prática. O quadro 2 relaciona os materiais utilizados para cada etapa do projeto, com sua respectiva densidade e espessura média.

Quadro 2– Materiais de Construção Fixos de Simulação

| Descrição | Material | Densidade (kg/m ³) | Espessura (m) |
|------------------|---------------------------|--------------------------------|---------------|
| Telhado | Telha de barro | 1200 | 0,03 |
| Forro | Concreto normal | 2300 | 0,15 |
| Piso | Cerâmica | 1600 | 0,12 |
| Paredes Externas | Tijolo de barro 6 furos | 1200 | 0,25 |
| Paredes Internas | Tijolo de barro 6 furos | 1200 | 0,2 |
| Reboco | Argamassa comum | 1800 | 0,02 |
| Janelas | Madeira densidade elevada | 850 | 0,25 |
| Vidros | Vidro Comum | 2500 | 0,003 |
| Portas | Madeira densidade elevada | 850 | 0,03 |

Fonte: ABNT, 2003; MORISHITA, et. Al, 2011.

Vale lembrar que é mantido o material base das paredes externas para todas as configurações de simulação. O que será diferenciado em cada composição será apenas a camada de isolante que é adicionada à parede.

As outras propriedades dos materiais utilizados, como calor específico, condutividade e absorvância, que precisam ser informados ao OpenStudio para a realização das simulações estão citadas nos anexos B e C, assim como a maneira de aplicação desses materiais, são referenciadas de acordo com anexo D, considerando que 2 cm de lajota cerâmica é adicionada sobre a base de concreto, definido como método de construção do piso.

4.1.3 Cargas Internas

O EnergyPlus considera, para cálculos de troca de calor, além do ambiente externo através do arquivo climático, também as fontes internas de energia, por isso os aparelhos eletrônicos da construção devem ser informados. Para se obter um resultado mais preciso entre as zonas térmicas internas, devem ser informados em quais zonas estão cada equipamento. O quadro 3 apresenta como foi feita a configuração de cargas internas da residência simulada.

Quadro 3 – Cargas Internas

| Espaço | Cômodo | Eletrônico | Potência (W) |
|--------|----------------|---------------------|--------------|
| 102 | Quarto 3 | Lâmpada | 9 |
| | | Computador | 200 |
| 103 | Sala e Cozinha | Lâmpada | 24 |
| | | Receptor | 30 |
| | | Televisão | 110 |
| | | Notebook | 90 |
| | | Som | 200 |
| | | Geladeira | 120 |
| | | Microondas | 620 |
| | | Panificadora | 70 |
| | | Liquidificador | 200 |
| | | Condicionador de ar | 1000 |
| 104 | Garagem | Lâmpada | 18 |
| | | Computador | 210 |
| 105 | Quarto 1 | Lâmpada | 12 |
| | | Condicionador de ar | 550 |
| 106 | Banheiro | Lâmpada | 12 |
| | | Chuveiro | 5000 |
| 107 | Quarto 2 | Lâmpada | 12 |
| | | Notebook | 100 |
| | | Condicionador de ar | 550 |
| 108 | Lavanderia | Iluminação | 9 |
| | | Maquina de lavar | 180 |

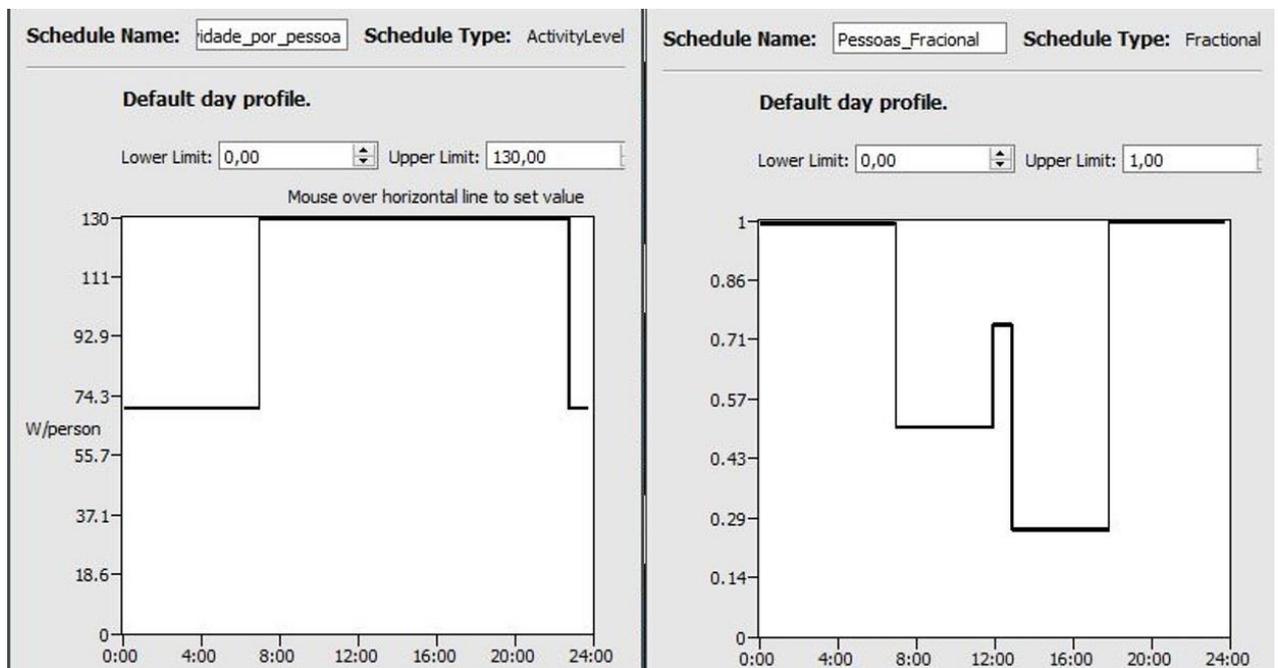
Os equipamentos elétricos que são entrados no *software*, além de funcionar como cargas térmicas internas também são computados para os gastos finais de energia elétrica, para se ter uma comparação de qual porcentagem de energia foi gasta em climatização relacionado ao total da residência.

Não são consideradas como cargas internas energias provindas de outras fontes, como gás e calor de água ou de alimentos aquecidos, por outro lado, é considerado o calor gerado por pessoas, que utilizam estes como combustível.

4.1.4 Atividade por pessoa

Uma das maiores cargas internas é o calor gerado por pessoas. Nesta residência foram considerados a presença de 4 pessoas, tendo elas horários específicos de atividade em casa, como mostra figura 11.

Figura 11– Atividade por pessoa



No lado esquerdo da figura, são considerados 70W gerados por pessoa enquanto dormindo, e enquanto acordadas, aproximadamente 130W. Esses valores são cruzados com o esquema do lado direito, que estipula a quantia de pessoas em casa por hora do dia. O valor 1 faz referência à 100% das 4 pessoas na residência, que permanece por 13 horas por dia dessa maneira, o restante se dá por 5 horas com 2 pessoas, 5 horas com 1 pessoa e 1 hora com 3 pessoas.

4.1.5 Características da Localização

A simulação considera esta residência situada no município de Cruz Alta, Rio Grande do Sul, por ser o município mais próximo de Horizontina, onde é realizado este estudo, com ambos arquivos climáticos necessários. Sua localização é demonstrada conforme imagem abaixo do mapa do Rio Grande do Sul.

Figura 12 – Localização de Cruz Alta, RS.



Este município está situado em coordenadas geográficas de latitude $28^{\circ} 38' 22''$ sul e longitude $53^{\circ} 36' 22''$ Oeste, a uma altitude de 450 metros em relação ao nível do mar. As temperaturas médias mensais trazidas pelos arquivos climáticos de Cruz alta estão representadas na figura 13.

Figura 13 – Temperaturas médias mensais simuladas



Todas as simulações para cada configuração consideram essas temperaturas descritas acima como do ambiente externo, onde o sistema de climatização irá trabalhar para manter a temperatura interna em 23 graus Celsius no verão e 25 graus Celsius no inverno.

4.2 PARÂMETROS VARIÁVEIS

Os únicos parâmetros que vão variar entre as configurações é o material isolante utilizado, sendo estes de aglomerado de cortiça, lã de rocha, poliestireno expandido (isopor) e lã de rocha, nas configurações descritas no quadro 4.

Quadro 4 – Propriedades Isolantes

| Configuração | Material | Condutividade (W/m.k) | Densidade (Kg/m ³) | Calor Específico (kJ/kg.K) | Absortância |
|--------------|------------------------|-----------------------|--------------------------------|----------------------------|-------------|
| A | Aglomerado de Cortiça | 0,047 | 115 | 1,67 | 0.7 |
| B | Lã de Rocha | 0,030 | 32 | 1030 | 0.5 |
| C | Lã de Vidro | 0,042 | 16 | 0,67 | 0.4 |
| D | Poliestireno Expandido | 0,037 | 15 | 1300 | 0.3 |

Fonte: ECO CASA; BASIX; ABNT 2003.

As espessuras dos isolantes podem variar conforme deseja ser aplicado, a maioria deles é geralmente aplicado entre 10 a 100 mm, em alguns casos podendo passar desse valor. Para se ter um padrão, foi considerado a aplicação de 50mm de cada um deles.

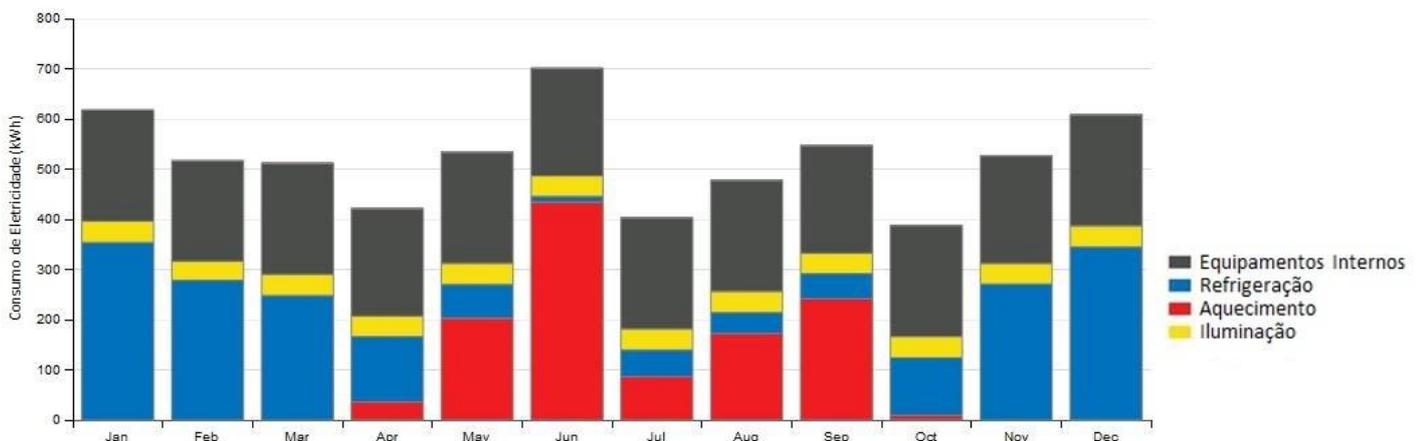
4.3 SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

Primeiramente, a critério de comparação, foi simulado a construção sem isolantes, apenas em tijolos comuns, para se ter como base e verificar a economia que cada configuração irá proporcionar.

4.3.1 Configuração Simples

A configuração simples, como já mencionado anteriormente, é sem nenhum isolante aplicado, apenas com de paredes externas em tijolos de 25 cm revestidos de reboco de argamassa de 2 cm. Na figura 14, tem-se os resultados de gastos de energia elétrica nas condições apresentadas anteriormente como parâmetros fixos, para manter o ambiente arrefecido.

Figura 14– Gastos Mensais Configuração Simples

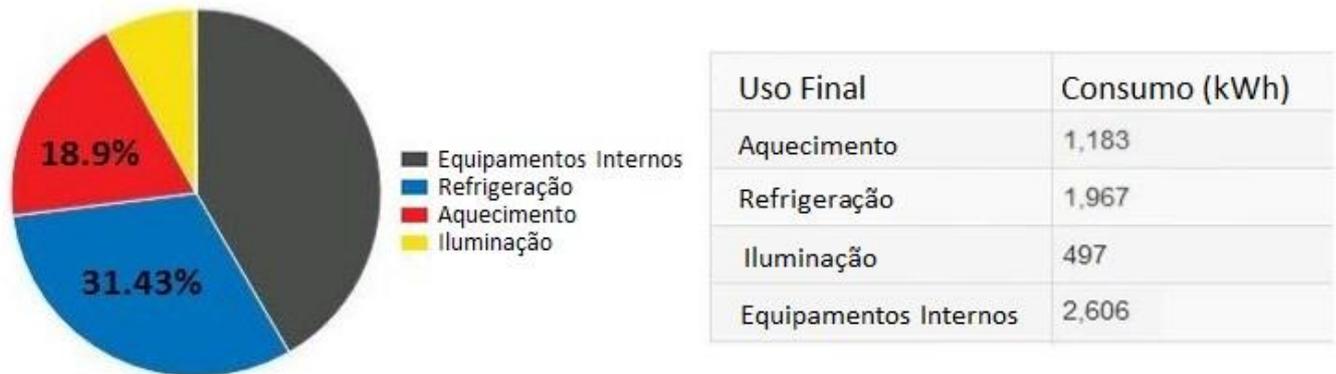


Na figura 14 é apresentado um gráfico onde mostram os valores mensais de consumo de energia elétrica para resfriamento, em azul, aquecimento em vermelho, iluminação em amarelo e todos os outros equipamentos da casa somados em cinza.

Devido a configuração de manter o ambiente condicionado termicamente por 24 horas gera esse alto gasto de energia elétrica.

Na figura 15 temos os valores anuais de energia elétrica gastos nessa configuração sem isolamento.

Figura 15 – Gastos Anuais Configuração Simples



Este gráfico demonstra os valores de energia elétrica gastos para resfriamento, aquecimento, iluminação outros no mesmo esquema de cores que o anterior, porém, é possível se obter uma visão mais clara da proporção aquecimento e resfriamento, e também comparada ao demais gastos.

Na configuração simples, obteve-se um consumo energético com climatização de 50,3% do total de 6253 KWh gastos durante todo o ano. Este valor será utilizado para comparação com cada uma das configurações que serão apresentadas a seguir.

4.3.2 Configuração “A”

A configuração “A” consiste em aglomerado de cortiça expandido, de 50 mm de espessura, aplicado sobre a área das paredes externas da configuração simples apresentada anteriormente. As figuras 15 e 16 abaixo mostram os resultados energéticos para essa configuração.

Os gastos com iluminação e equipamentos internos permanecem os mesmos para todas as configurações, pois são parâmetros fixos.

Figura 16– Gastos Mensais Configuração A

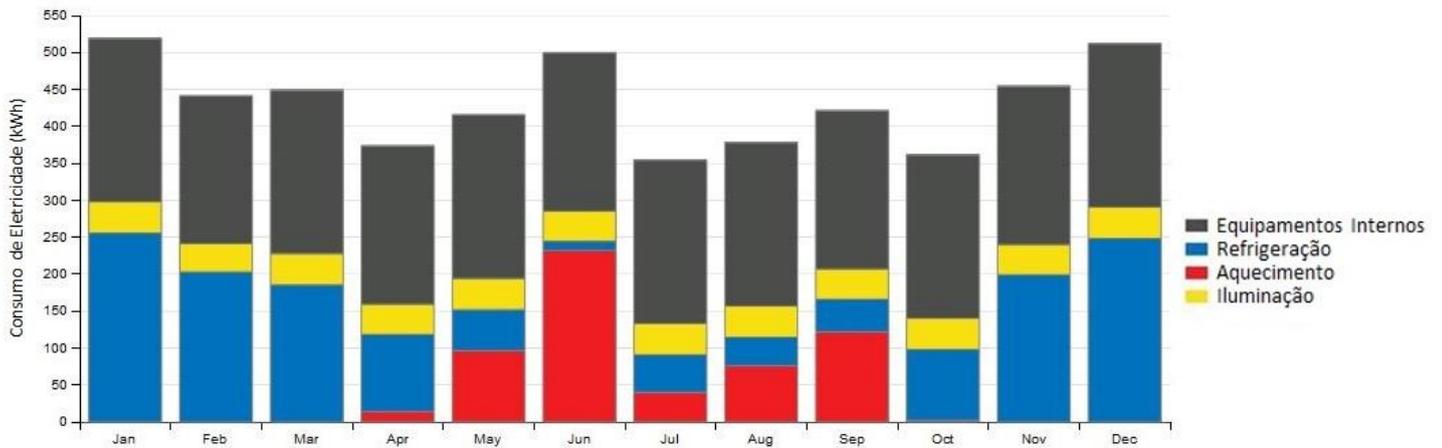
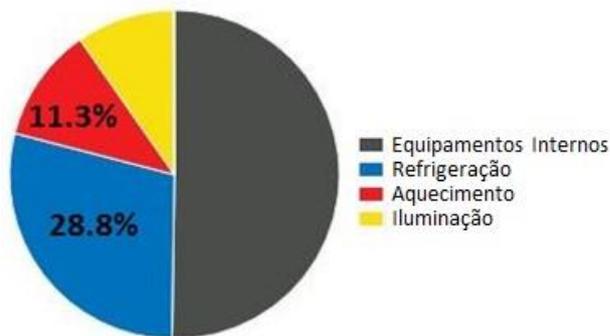


Figura 17– Gastos Anuais Configuração A



| Uso Final | Consumo (kWh) |
|-----------------------|---------------|
| Aquecimento | 583 |
| Refrigeração | 1,494 |
| Iluminação | 497 |
| Equipamentos Internos | 2,606 |

Nesta configuração, tem-se um gasto de energia elétrica para a climatização do ambiente que soma 40,1% do total de 5180 kWh gastos durante todo ano, apresentando uma economia de 1063 kWh, ao fim de um ano, em relação a configuração simples.

4.3.3 Configuração “B”

O material de isolamento utilizado na configuração “B” foi a lã de rocha. Há diversas opções dessa no mercado para a aplicação, foi escolhido se basear numa aplicação de 50mm de espessura, que é um dos valores mais comuns utilizados. Abaixo pode ser analisado o impacto deste material na perda de calor pelas paredes do sistema.

Figura 18 - Gastos Mensais Configuração B

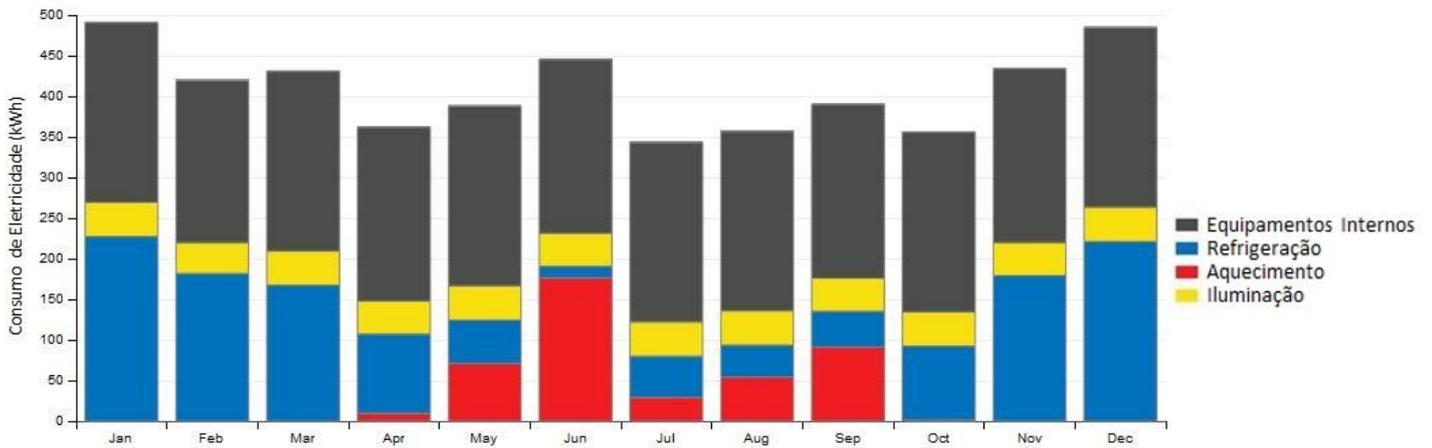


Figura 19 – Gastos Anuais Configuração B



Os valores obtidos na configuração B, com lã de rocha utilizado como isolante, demonstram um decréscimo um pouco menor na conta de luz quando comparado à configuração A. Os valores de aquecimento e resfriamento somaram 36,7% do total de energia elétrica consumida, tendo essa opção uma economia de 1340 kWh anual em relação a configuração simples.

4.3.4 Configuração “C”

Para a configuração C foi determinada a utilização de lã de vidro no isolamento das paredes, em uma espessura de 50mm, e suas outras propriedades como apresentadas no quadro 4. Os respectivos dados mensais e anuais para este esquema estão apresentados nas figuras 19 e 20.

Figura 20 – Gastos Mensais Configuração C

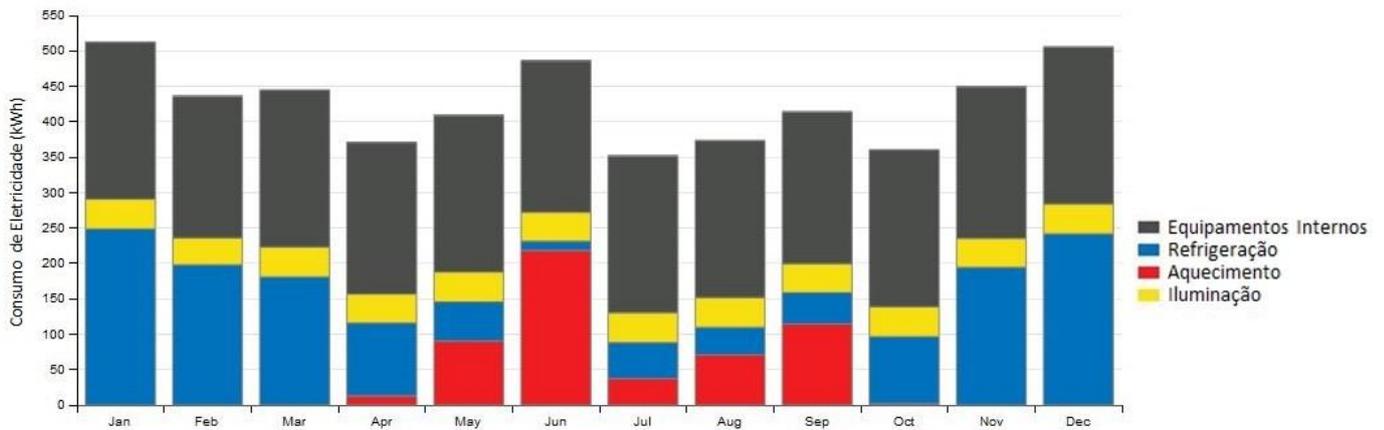
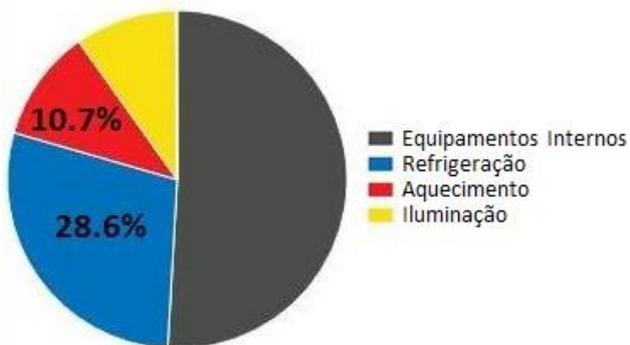


Figura 21 – Gastos Anuais Configuração C



| Uso Final | Consumo (kWh) |
|-----------------------|---------------|
| Aquecimento | 547 |
| Refrigeração | 1,464 |
| Iluminação | 497 |
| Equipamentos Internos | 2,606 |

Nessas características, a lã de vidro apresenta um isolamento semelhante ao aglomerado de cortiça expandida, e valores maiores de uso energético em relação à lã de rocha. Esta configuração apresenta uma economia de 1129kWh ao fim de um ano.

4.3.5 Configuração “D”

A configuração “D” consiste na aplicação de poliestireno expandido (EPS), popularmente conhecido como isopor, sobre as paredes externas da residência. O cálculo foi feito se baseando na aplicação de placas de 50mm de espessura. As figuras 21 e 22 abaixo apresentam os dados de consumo de energia elétrica referente à essa configuração.

Figura 22 – Gastos Mensais Configuração D

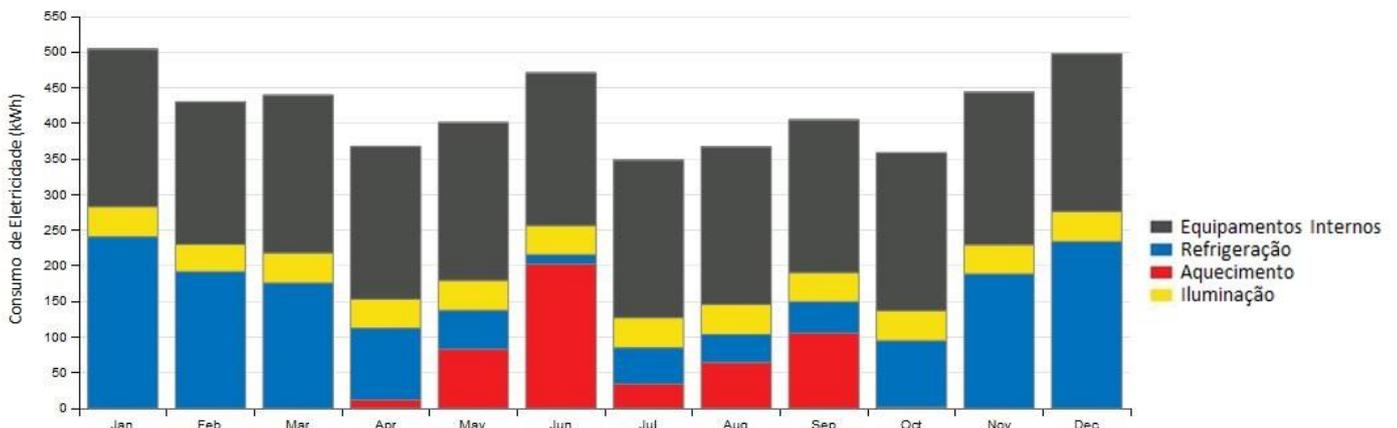
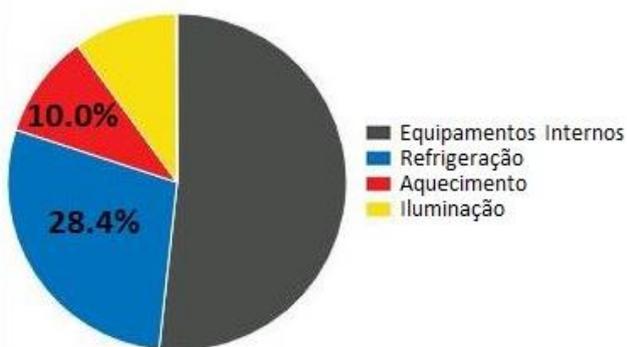


Figura 173 – Gastos Anuais Configuração D



| Uso Final | Consumo (kWh) |
|-----------------------|---------------|
| Aquecimento | 503 |
| Refrigeração | 1,428 |
| Iluminação | 497 |
| Equipamentos Internos | 2,606 |

Os resultados da configuração D não ficam longe dos anteriores, apresentando um total de 38,4% de energia elétrica gasta com refrigeração e aquecimento do total de 5034 kWh, e gerando uma economia ao fim de um ano de 1219 kWh.

Outro dado observado analisando os resultados de cada simulação, é que a economia gerada no aquecimento, levando como valores base os da Configuração Simples, são aproximadamente 20% maiores que os de resfriamento, manifestando-se portanto, de acordo com essas simulações, uma eficiência maior desses sistemas em manter o calor no ambiente interno, comparado à restrição da entrada do calor vinda do exterior para o ambiente interior.

4.4 ANÁLISE DE VIABILIDADE DAS CONFIGURAÇÕES

Das quatro configurações analisadas, a que apresentou melhores valores de eficiência energética foi a configuração “B”, de lã de rocha, oferecendo 1340 kWh de economia ao longo de um ano, o representa 42,54% de redução em climatização. Porém, os custos desses materiais também devem ser levados em consideração para a escolha de qual isolante utilizar.

O quadro 5 apresenta o custo de cada.

Quadro 5 – Custo por m² de Isolante

| Configuração | Material | Economia/ano (kWh) | Custo Material m² |
|---------------------|------------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| A | Aglomerado de Cortiça | 1063 | R\$ 73,00 |
| B | Lã de Rocha | 1340 | R\$ 21,00 |
| C | Lã de Vidro | 1129 | R\$ 20,00 |
| D | Poliestireno Expandido | 1219 | R\$ 16,00 |

Os custos mostrados no quadro acima foram retirados de lojas especializadas no ramo como Isoremov, Isoline e Inova Isopor, e apresentam a diferença significativa entre preços dos materiais isolantes, tendo como destaque principal o baixo preço do poliestireno expandido em relação aos outros. Além de que, a opção da Configuração “D”, ao contrário da lã de rocha e lã de vidro, não exige a construção de uma *drywall* para sua aplicação, ou seja, a diferença de preço se torna ainda muito maior.

Devido à necessidade do uso da *drywall*, a aplicação das lãs de vidro e lã de rocha concluídos se torna superior a R\$ 100 por metro quadrado, para valores atuais

de mercado cotados nas mesmas lojas citadas acima. Esse valor, aplicado em 120 metros quadrados de parede, que é a área de paredes externas da casa, (conforme planta na Figura 10), resultaria em um tempo de retorno ao investimento superior a 20 anos. Por esse motivo as configurações A, B e C são julgada inviáveis para a aplicação em uma residência desse porte. Por outro lado, a configuração D, com um custo muito menor, pode ser levada em consideração.

O poliestireno expandido (EPS) instalado e acrescentado custos de reboco e pintura, com mão de obra especializada totaliza um valor aproximado de R\$ 32,00 por metro quadrado, que, multiplicado pela área total de parede externa da casa de 120m², totaliza um custo de instalação de R\$ 3840. A partir desses valores é calculado o retorno ao investimento desta configuração.

O valor de economia energética anual apresentado por essa opção, de 1219 kWh, multiplicado pelo valor do kWh de R\$ 0,45, livre de impostos e iluminação pública (RGE, 2016), resulta uma economia de R\$ 548,55 anuais. Por fim, diluindo essa economia anual pelo custo total da aplicação, o tempo de retorno ao investimento se dá em 7 anos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo realizar simulações térmicas computacionais, que auxiliam na escolha de materiais de construção, levando em consideração a eficiência energética para climatização do ambiente. Os cálculos foram realizados pelo *software* EnergyPlus, que utiliza o SketchUp e OpenStudio como interfaces de comunicação com o usuário, os quais facilitam a entrada dos dados e a realização da simulação, melhorando sua efetividade e permitindo maior precisão para a operação.

As características utilizadas na residência tratada nesse trabalho se basearam em um modelo de casa real, de maneira que como os valores que iam sendo obtidos poderiam ser verificados com a situação real, sendo assim possível saber se alguma etapa, antes da simulação, havia sido configurada errada.

A escolha dos materiais empregados nessa construção foi baseada na popularidade das residências da região e do mercado atual, e os isolantes estudados foram selecionados com base na disponibilidade de compra e possibilidade de aplicação em residência sem haver a necessidade de alterar sua estrutura, ou seja, apenas a aplicação na extensão das paredes.

Destes materiais, são elaboradas quatro configurações diferentes e testadas uma por uma, mantendo constante outros dados da casa como dimensões, material original da construção e cargas internas, para que a diferença obtida nos resultados seja provinda somente do material utilizado no isolamento das paredes. É então realizada a análise dos gastos energéticos que foram simulados com cada configuração, e feita a comparação de energia elétrica economizada em cada caso. Nesta análise, dentre aglomerado de cortiça, lã de rocha, lã de vidro e poliestireno expandido (EPS), a opção que apresentou melhor performance energética foi a lã de rocha, oferecendo uma redução de gastos energéticos em climatização de 42,54%.

Por fim, é feita a análise de viabilidade, através o cálculo de retorno de investimento, levando em consideração os custos atuais de mercado para o isolante e para sua aplicação. Neste sentido o poliestireno, devido ao seu baixo custo de aplicação, fornece melhor custo benefício quando o objetivo é o isolamento térmico. Entretanto, seu retorno de investimento é de 7 anos. Com esses valores apresentados, os objetivos gerais e específicos definidos para este trabalho são atingidos.

Analisa-se também que pode ser mais atrativo economicamente a aplicação de materiais isolantes em regiões de temperaturas menores, já que a economia apresentada no aquecimento dos ambientes foi aproximadamente 20% maior que para refrigeração dos mesmos. Com base nesses dados, recomenda-se como sugestão para trabalhos futuros, o estudo e simulação do isolamento de paredes de prédios, assim como a comparação entre energia economizada no aquecimento versus a energia economizada na refrigeração de ambientes, de acordo com os métodos e materiais construtivos empregados.

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220 – Desempenho Térmico de Edificações**. Rio de Janeiro, Av Treze de Maio, 13, 28º andar. 2003.

BALTAR, MARTA, G. **Redução da Demanda de Energia Elétrica Utilizando Parâmetros Construtivos visando Conforto Térmico**. Dissertação de Mestrado submetida à Pontífica Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2006.

BASIX – Building Sustainability Index. **Solar Absorptance**. Disponível em: <<https://www.basix.nsw.gov.au/iframe/thermal-help/design-principles2/insulation/roof-solar-absorptance.html>> Acesso em: 14 Ago. 2016.

BEN - **Balanco Energético Nacional. Relatório final**. Ano base 2013. Rio de Janeiro: EPE. 2014.

ÇENGEL, Y; GHAJAR, J. A. **Transferência de Calor e Massa: Uma abordagem Prática**. Pág. 17- 27. 4ª Ed. – Porto Alegre: AMGH, 2012.

DUARTE, RENATO A. JRRIO. **Uso do SketchUp para Desenho 3D de Arquitetura e Maquete Eletrônica**. Disponível em: <<http://www.jrrio.com.br/software/sketchup.html>> Acesso em: 18 Jun. 2016.

ECOCASA. **Materiais de Construção – Isolamento Térmico**. Disponível em: <http://www.ecocasa.pt/construcao_content.php?id=28>. Acesso em: 26 Abr. 2015.

ENERGYPLUS. **Getting started with EnergyPlus. Basic Concepts Manual – Essential Information You Need to Know About Running EnergyPlus**. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory. 2010. Disponível em: <<http://web.stanford.edu/class/cee243/Labs/ePlusTutorial.pdf>>. Acesso em: 2 Jul. 2016.

INCROPERA, F.P. et al. **Fundamentos de Transferência de Calor e Massa**. 9ª ed. Editora: LTC. Pág. 2-6. Rio de Janeiro, RJ. 2008.

LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. **Simulação Termo-energética de Edificações**. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/linhas-de-pesquisa/simulacao-termo-energetica-de-edificacoes>>. Acesso em: 26 Abr. 2015.

MARTINEZ, M. F; et al. **Redução de Consumo de Energia Elétrica Através de Conceitos Green Building**. Pontífica Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2009.

MELO, WESTPHAL, MATOS. **Apostila do Curso Básico do Programa EnergyPlus**. LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Departamento de Engenharia Civil. Florianópolis, SC. 2009.

MORISHITA, Cláudia, et. Al. **Catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes e Coberturas**. LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Departamento de Engenharia Civil. Florianópolis, SC. 2011.

OPENSTUDIO. **Openstudio**. Disponível em: <<https://www.openstudio.net/>>. Acesso em: 27 Mar. 2015.

RGE. Rio Grande Energia S.A. **Redução de custos faz RGE ter a menor tarifa para consumidores residenciais do RS**. Caxias do Sul, 2016. Disponível em: <<http://www.rge-rs.com.br/releases/Paginas/reducao-de-custos-faz-rge-ter-a-menor-tarifa-do-rs.aspx>> Acesso em: 04 Set 2016.

WESTPHAL, F. S; MARINOSKI, D. L; LAMBERTS, R: LabEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. **Isolantes Térmicos e Acústicos para Construção Civil**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2012.

ANEXO A

Quadro de definição de grandezas, com respectivos símbolos e unidades.

| Grandeza | Definição | Símbolo | Unidade |
|--|---|-----------------|-----------------------|
| Fluxo de calor ou Taxa de fluxo de calor | Quociente da quantidade de calor que atravessa uma superfície durante um intervalo de tempo pela duração desse intervalo. | Q | W |
| Densidade de fluxo de calor ou Densidade de taxa de fluxo de calor | Quociente do fluxo de calor que atravessa uma superfície pela área dessa superfície (1). | q | W/m ² |
| Condutividade térmica | Propriedade física de um material homogêneo e isotrópico, no qual se verifica um fluxo de calor constante, com densidade de 1 W/m ² , quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme de 1 Kelvin por metro (2). | λ | W/(m.K) |
| Fator de ganho de calor solar de elementos transparentes ou translúcidos ou Fator solar de elementos transparentes ou translúcidos | Quociente da taxa de radiação solar diretamente transmitida através de um componente transparente ou translúcido, sob determinado ângulo de incidência, mais a parcela absorvida e posteriormente retransmitida para o interior, pela taxa da radiação solar total incidente sobre a superfície externa do mesmo. | FS _t | - |
| Transmitância térmica ou Coeficiente global de transferência de calor | Inverso da resistência térmica total. | U | W/(m ² .K) |
| Capacidade térmica | Quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema (3). | C | J/K |
| Calor específico ou Capacidade térmica específica | Quociente da capacidade térmica pela massa. | c | J/(kg.K) |
| Capacidade térmica de componentes | Quociente da capacidade térmica de um componente pela sua área. | C _T | J/(m ² .K) |
| Densidade de massa aparente | Quociente da massa pelo volume aparente de um corpo. | ρ | kg/m ³ |
| Absortância à radiação solar | Quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície (6). | α | - |
| Emissividade | Quociente da taxa de radiação emitida por uma superfície pela taxa de radiação emitida por um corpo negro, à mesma temperatura (5). | ε | - |

Fonte: ABNT 2003.

ANEXO B

Propriedades de superfícies para construção. Grandezas α e ϵ estão definidas no anexo A.

| Tipo de superfície | | α | ϵ |
|---|--------------|-------------|-------------|
| Chapa de alumínio (nova e brilhante) | | 0,05 | 0,05 |
| Chapa de alumínio (oxidada) | | 0,15 | 0,12 |
| Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante) | | 0,25 | 0,25 |
| Caiçãõ nova | | 0,12 / 0,15 | 0,90 |
| Concreto aparente | | 0,65 / 0,80 | 0,85 / 0,95 |
| Telha de barro | | 0,75 / 0,80 | 0,85 / 0,95 |
| Tijolo aparente | | 0,65 / 0,80 | 0,85 / 0,95 |
| Reboco claro | | 0,30 / 0,50 | 0,85 / 0,95 |
| Revestimento asfáltico | | 0,85 / 0,98 | 0,90 / 0,98 |
| Vidro incolor | | 0,06 / 0,25 | 0,84 |
| Vidro colorido | | 0,40 / 0,80 | 0,84 |
| Vidro metalizado | | 0,35 / 0,80 | 0,15 / 0,84 |
| Pintura: | Branca | 0,20 | 0,90 |
| | Amarela | 0,30 | 0,90 |
| | Verde clara | 0,40 | 0,90 |
| | "Alumínio" | 0,40 | 0,50 |
| | Verde escura | 0,70 | 0,90 |
| | Vermelha | 0,74 | 0,90 |
| | Preta | 0,97 | 0,90 |

Fonte: ABNT 2003.

ANEXO C

Propriedades de materiais de construção. Grandezas ρ , λ e c estão definidas no anexo A.

| Material | ρ (kg/m ³) | λ (W/(m.K)) | c (kJ/(kg.K)) |
|---|--------------------------------|------------------------|--------------------|
| Argamassas | | | |
| argamassa comum | 1800-2100 | 1,15 | 1,00 |
| argamassa de gesso (ou cal e gesso) | 1200 | 0,70 | 0,84 |
| argamassa celular | 600-1000 | 0,40 | 1,00 |
| Cerâmica | | | |
| tijolos e telhas de barro | 1000-1300 | 0,70 | 0,92 |
| | 1300-1600 | 0,90 | 0,92 |
| | 1600-1800 | 1,00 | 0,92 |
| | 1800-2000 | 1,05 | 0,92 |
| Fibro-cimento | | | |
| placas de fibro-cimento | 1800-2200 | 0,95 | 0,84 |
| | 1400-1800 | 0,65 | 0,84 |
| Concreto (com agregados de pedra) | | | |
| concreto normal | 2200-2400 | 1,75 | 1,00 |
| concreto cavernoso | 1700-2100 | 1,40 | 1,00 |
| Concreto com pozolana ou escória expandida com estrutura cavernosa (ρ dos inertes \sim750 kg/m³) | | | |
| com finos | 1400-1600 | 0,52 | 1,00 |
| | 1200-1400 | 0,44 | 1,00 |
| sem finos | 1000-1200 | 0,35 | 1,00 |
| Concreto com argila expandida | | | |
| dosagem de cimento > 300 kg/m ³ , ρ dos inertes > 350 kg/m ³ | 1600-1800 | 1,05 | 1,00 |
| | 1400-1600 | 0,85 | 1,00 |
| | 1200-1400 | 0,70 | 1,00 |
| | 1000-1200 | 0,46 | 1,00 |
| dosagem de cimento < 250 kg/m ³ , ρ dos inertes < 350 kg/m ³ | 800-1000 | 0,33 | 1,00 |
| | 600-800 | 0,25 | 1,00 |
| | < 600 | 0,20 | 1,00 |
| concreto de vermiculite (3 a 6 mm) ou perlite expandida fabricado em obra | 600-800 | 0,31 | 1,00 |
| | 400-600 | 0,24 | 1,00 |
| dosagem (cimento/areia) 1:3 | 700-800 | 0,29 | 1,00 |
| dosagem (cimento/areia) 1:6 | 600-700 | 0,24 | 1,00 |
| | 500-600 | 0,20 | 1,00 |
| concreto celular autoclavado | 400-500 | 0,17 | 1,00 |
| Gesso | | | |
| projetado ou de densidade massa aparente elevada | 1100-1300 | 0,50 | 0,84 |
| placa de gesso; gesso cartonado com agregado leve (vermiculita ou perlita expandida) | 750-1000 | 0,35 | 0,84 |
| | | | |
| dosagem gesso:agregado = 1:1 | 700-900 | 0,30 | 0,84 |
| dosagem gesso:agregado = 1:2 | 500-700 | 0,25 | 0,84 |
| Granulados | | | |
| brita ou seixo | 1000-1500 | 0,70 | 0,80 |
| argila expandida | < 400 | 0,16 | |
| areia seca | 1500 | 0,30 | 2,09 |
| areia (10% de umidade) | 1500 | 0,93 | |
| areia (20% de umidade) | 1500 | 1,33 | |
| areia saturada | 2500 | 1,88 | |
| terra argilosa seca | 1700 | 0,52 | 0,84 |

Fonte: ABNT, 2003.

ANEXO C2

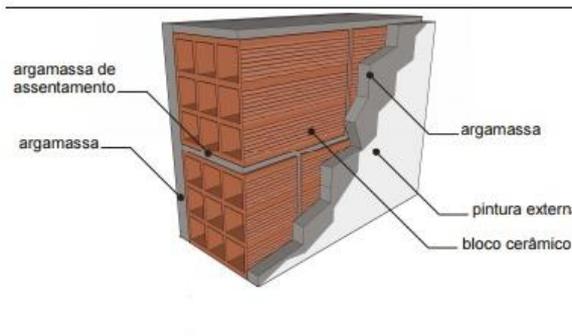
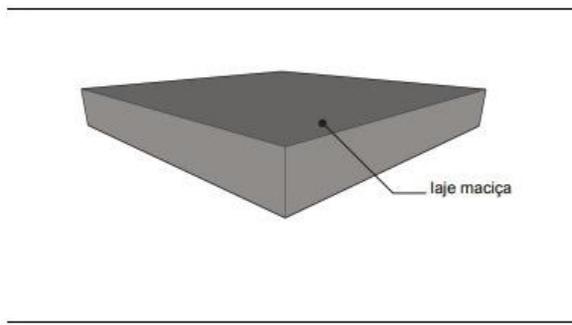
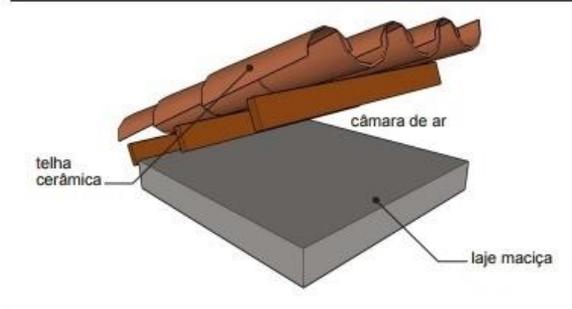
Propriedades de materiais de construção. Grandezas ρ , λ e c estão definidas no anexo A.

| Material | ρ (kg/m ³) | λ (W/(m.K)) | c (kJ/(kg.K)) |
|--|--------------------------------|------------------------|--------------------|
| Impermeabilizantes | | | |
| membranas betuminosas | 1000-1100 | 0,23 | 1,46 |
| asfalto | 1600 | 0,43 | 0,92 |
| asfalto | 2300 | 1,15 | 0,92 |
| betume asfáltico | 1000 | 0,17 | 1,46 |
| Isolantes térmicos | | | |
| lã de rocha | 20-200 | 0,045 | 0,75 |
| lã de vidro | 10-100 | 0,045 | 0,70 |
| poliestireno expandido moldado | 15-35 | 0,040 | 1,42 |
| poliestireno estrudado | 25-40 | 0,035 | 1,42 |
| espuma rígida de poliuretano | 30-40 | 0,030 | 1,67 |
| Madeiras e derivados | | | |
| madeiras com densidade de massa aparente elevada | 800-1000 | 0,29 | 1,34 |
| carvalho, freijó, pinho, cedro, pinus | 600-750 | 0,23 | 1,34 |
| | 450-600 | 0,15 | 1,34 |
| | 300-450 | 0,12 | 1,34 |
| aglomerado de fibras de madeira (denso) | 850-1000 | 0,20 | 2,30 |
| aglomerado de fibras de madeira (leve) | 200-250 | 0,058 | 2,30 |
| aglomerado de partículas de madeira | 650-750 | 0,17 | 2,30 |
| | 550-650 | 0,14 | |
| placas prensadas | 450-550 | 0,12 | 2,30 |
| | 350-450 | 0,10 | 2,30 |
| placas extrudadas | 550-650 | 0,16 | 2,30 |
| compensado | 450-550 | 0,15 | 2,30 |
| | 350-450 | 0,12 | 2,30 |
| aparas de madeira aglomerada com cimento em fábrica | 450-550 | 0,15 | 2,30 |
| | 350-450 | 0,12 | 2,30 |
| | 250-350 | 0,10 | 2,30 |
| palha (capim Santa Fé) | 200 | 0,12 | |
| Metais | | | |
| aço, ferro fundido | 7800 | 55 | 0,46 |
| alumínio | 2700 | 230 | 0,88 |
| cobre | 8900 | 380 | 0,38 |
| zinco | 7100 | 112 | 0,38 |
| Pedras (incluindo junta de assentamento) | | | |
| granito, gneisse | 2300-2900 | 3,00 | 0,84 |
| ardósia, xisto | 2000-2800 | 2,20 | 0,84 |
| basalto | 2700-3000 | 1,60 | 0,84 |
| calcários/mármore | > 2600 | 2,90 | 0,84 |
| outras | 2300-2600 | 2,40 | 0,84 |
| | 1900-2300 | 1,40 | 0,84 |
| | 1500-1900 | 1,00 | 0,84 |
| | < 1500 | 0,85 | 0,84 |
| Plásticos | | | |
| borrachas sintéticas, poliamidas, poliésteres, polietilenos | 900-1700 | 0,40 | |
| polimetacrílicos de metila (acrílicos) polidoretos de vinila (PVC) | 1200-1400 | 0,20 | |
| Vidro | | | |
| vidro comum | 2500 | 1,00 | 0,84 |

Fonte: ABNT, 2003.

ANEXO D

Método de construção para paredes, piso e cobertura, respectivamente, utilizado como parâmetros fixos em simulação térmica. As grandezas tabeladas U , C_T , α e FS_t são definidas no anexo A.

|  <p>argamassa de assentamento argamassa argamassa pintura externa bloco cerâmico</p> | <p>Descrição:</p> <p>Argamassa interna Bloco cerâmico Argamassa externa Pintura externa (α)</p> <table border="1" data-bbox="813 750 1211 896"> <thead> <tr> <th>U [W/(m²K)]</th> <th>C_T [kJ/m²K]</th> <th>α [-]</th> <th>FCS [-]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1,85</td> <td>161</td> <td>0,2 0,4 0,8</td> <td>1,5 3,3 5,9</td> </tr> </tbody> </table> | U [W/(m ² K)] | C _T [kJ/m ² K] | α [-] | FCS [-] | 1,85 | 161 | 0,2 0,4 0,8 | 1,5 3,3 5,9 |
|---|--|-----------------------------|---|-----------------|------------------------|------|-----|-------------------|--------------------|
| U [W/(m ² K)] | C _T [kJ/m ² K] | α [-] | FCS [-] | | | | | | |
| 1,85 | 161 | 0,2 0,4 0,8 | 1,5 3,3 5,9 | | | | | | |
|  <p>laje maciça</p> | <p>Descrição:</p> <p>Laje maciça</p> <table border="1" data-bbox="813 1108 1211 1254"> <thead> <tr> <th>U [W/(m²K)]</th> <th>C_T [kJ/m²K]</th> <th>α [-]</th> <th>FS_t [-]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3,73</td> <td>220</td> <td>0,2 0,4 0,8</td> <td>3,0 6,0 11,9</td> </tr> </tbody> </table> | U [W/(m ² K)] | C _T [kJ/m ² K] | α [-] | FS _t [-] | 3,73 | 220 | 0,2 0,4 0,8 | 3,0 6,0 11,9 |
| U [W/(m ² K)] | C _T [kJ/m ² K] | α [-] | FS _t [-] | | | | | | |
| 3,73 | 220 | 0,2 0,4 0,8 | 3,0 6,0 11,9 | | | | | | |
|  <p>telha cerâmica câmara de ar laje maciça</p> | <p>Descrição:</p> <p>Laje maciça Câmara de ar Telha cerâmica</p> <table border="1" data-bbox="813 1456 1211 1597"> <thead> <tr> <th>U [W/(m²K)]</th> <th>C_T [kJ/m²K]</th> <th>α [-]</th> <th>FS_t [-]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2,05</td> <td>238</td> <td>0,2 0,4 0,8</td> <td>1,6 3,3 6,6</td> </tr> </tbody> </table> | U [W/(m ² K)] | C _T [kJ/m ² K] | α [-] | FS _t [-] | 2,05 | 238 | 0,2 0,4 0,8 | 1,6 3,3 6,6 |
| U [W/(m ² K)] | C _T [kJ/m ² K] | α [-] | FS _t [-] | | | | | | |
| 2,05 | 238 | 0,2 0,4 0,8 | 1,6 3,3 6,6 | | | | | | |

Fonte: Adaptado de LABEEE, 2011.