



Luciano Schaedler

**SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE UMA RESIDÊNCIA
VISANDO A ANÁLISE DO CONSUMO ENERGÉTICO**

Horizontina

2014

Luciano Schaedler

**SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE UMA RESIDÊNCIA VISANDO A
ANÁLISE DO CONSUMO ENERGÉTICO**

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 Horizontina.

ORIENTADOR: Fabiano Cassol, Dr.

Horizontina

2014

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia:

“Simulação computacional de uma residência visando a análise do consumo energético”

Elaborada por:

Luciano Schaedler

como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Mecânica

**Aprovado em: 28/11/2014
Pela Comissão Examinadora**

**Prof. Dr. Fabiano Cassol
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador**

**Prof. Me. Anderson Dal Molin
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**Prof. Esp. Fabrício Desbessel
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**Horizontina
2014**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família, especialmente aos meus pais e minha esposa Maria Luiza que sempre estiveram ao meu lado no decorrer desta jornada.

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus por estar aqui hoje realizando este trabalho.

Minha esposa Maria Luiza, pela compreensão e companheirismo.

Minha família e meus amigos por sempre terem estado ao meu lado.

Meus professores, por terem contribuído com minha formação.

“Sonhos determinam o que você quer. Ação determina o que você conquista”.

(Aldo Novak)

RESUMO

A redução no consumo de energia é um tema cada vez mais recorrente devido a constante busca na diminuição da utilização de combustíveis fósseis, por sua vez visando à redução nos impactos ambientais. A utilização de softwares de simulação computacional que permitem a análise do consumo energético em edificações possibilita testar a aplicação de diferentes materiais e projeto arquitetônico que poderão ser utilizados na construção visando à melhora no conforto térmico e no consumo energético. Alguns materiais utilizados na construção de residências como, por exemplo, cerâmicas e compósitos quando comparados, apresentam bom desempenho no que diz respeito a proporcionar o conforto térmico dos moradores sem a utilização de meios auxiliares como ventiladores, aquecedores ou condicionadores de ar. O software Energyplus, nesta pesquisa, é utilizado para a simulação computacional, criado a partir de outros dois softwares, BLAST e DOE-2, e distribuído pelo departamento de energia dos Estados Unidos, desenvolvido para a simulação da carga térmica e análise energética de edificações e seus sistemas. O objetivo deste trabalho é analisar a utilização de diferentes materiais na construção de uma edificação e simular o consumo de energia da mesma com o programa Energyplus proporcionando verificar com quais materiais é possível obter o aumento da eficiência energética. Para realizar a simulação, desenvolveu-se um modelo 3D de uma residência, que inserida no software, possibilitou observar as melhores condições de construção da edificação visando o conforto térmico com economia de energia. Foram propostos cinco cenários para simulação, nos quais, características do telhado da edificação foram alteradas. Ao final, o cenário que propiciou o melhor desempenho no consumo de energia foi aquele em que se utilizou telha cerâmica com a adição de isolante térmico sobre as telhas, trazendo uma economia de 15,7% de energia para aquecimento e 6,2% de energia para resfriamento da edificação.

Palavras-chave: Energia. Edificações. Energyplus.

ABSTRACT

Reducing energy consumption is an increasingly recurring theme due to the constant quest to decrease the use of fossil fuels, in turn aiming to reduce the environmental impacts. The use of computer simulation software that allow the analysis of energy consumption in buildings allows you to test the application of different materials and architectural design that can be used in the construction in order to improve thermal comfort and energy consumption. Some materials used in the construction of dwellings, for example, ceramics and composites when compared, exhibit good performance in respect of providing thermal comfort of residents without the use of auxiliary equipment such as blowers, heaters or air conditioners. EnergyPlus, used in this study is a computer simulation software created from two other software, BLAST and DOE-2, and distributed by the Department of Energy of the United States, developed for the simulation of thermal load and energy analysis of buildings and its systems. The objective of this study is to analyze the use of different materials in the construction of a building and simulate the power consumption of the same with the EnergyPlus program providing check with what materials you can get increased energy efficiency. To perform the simulation, a 3D model of a residence, which inserted into the software, was developed to observe the best possible conditions for the construction of building thermal comfort aimed at saving energy. At the end, the scenario that led to the best performance in energy consumption was one which used ceramic tile with the addition of thermal insulation on the tiles, bringing savings of 15.7% of energy for heating and 6.2% of energy for cooling the building.

Keywords: Energy. Buildings. Energyplus.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Energias Utilizadas pelas famílias brasileiras em 2012.....	12
Figura 2 - Interface de simulação do software Energyplus.....	20
Figura 3 - Esquema de blocos do Energyplus.....	21
Figura 4 – Balanço de calor em superfícies externas.....	22
Figura 5 – Balanço de calor em superfícies internas.....	23
Figura 6 - Zona de balanço de calor	24
Figura 7 - Residência modelada no software Google SketchUp 2014.....	26
Figura 8 - Dados de Latitude e Longitude da cidade de Santa Rosa - RS.....	28
Figura 9 - Planta baixa da edificação	29
Figura 10 - Consumo de energia por categoria	32
Figura 11 - Gráfico da energia consumida para resfriamento e aquecimento	33
Figura 12 - Alteração do tipo de telha de concreto para cerâmica.....	35
Figura 13 - Gráfico comparativo entre os cenários “A” e “B”	36
Figura 14 – Telha de concreto com adição de isolante térmico.....	37
Figura 15 - Gráfico comparativo entre os cenários “A” e “C”	38
Figura 16 - Telha de concreto com adição de isolante térmico	38
Figura 17 - Gráfico comparativo entre os cenários “A” e “D”	39
Figura 18 - Telha de fibrocimento	40
Figura 19 - Gráfico comparativo entre os cenários “A” e “E”	41
Figura 20 – Gráfico comparativo entre os cenários.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dimensões gerais e materiais empregados na edificação.....	30
Tabela 2 - Cargas internas da edificação.....	31
Tabela 3 - Cenário “A” – Energia consumida para aquecimento e resfriamento.....	33
Tabela 4 - Comparativo de consumo entre os cenários “A” e “B”	35
Tabela 5 - Comparativo de consumo entre os cenários “A” e “C”	37
Tabela 6 - Comparativo de consumo entre os cenários “A” e “D”	39
Tabela 7 - Comparativo de consumo entre os cenários “A” e “E”	40

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. JUSTIFICATIVA.....	13
1.2. OBJETIVOS	13
2. REVISÃO DA LITERATURA	15
2.1. CONCEITO GREEN BUILDING	15
2.2. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES	16
2.3. SIMULAÇÃO EM EDIFICAÇÕES	16
2.4. MECANISMOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR	17
2.4.1. TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR CONDUÇÃO	17
2.4.2. TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR CONVECÇÃO	18
2.4.3. TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RADIAÇÃO.....	18
2.4.4. TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM SUPERFÍCIES E TETOS.....	19
2.5. ENERGYPLUS	20
2.5.1. MÉTODO DE BALANÇO DE ENERGIA UTILIZADO PELO ENERGYPLUS.....	22
2.6. GOOGLE SKETCH-UP E OPEN STUDIO	24
3. METODOLOGIA	26
3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS	26
3.2. MATERIAIS E EQUIPAMENTOS	27
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	28
4.1. DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS INICIAIS DA SIMULAÇÃO	28
4.1.1. LOCALIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO SIMULADA	28
4.1.2. DIMENSÕES E ELEMENTOS CONSTRUTIVOS DA EDIFICAÇÃO	29
4.1.3. CARGAS INTERNAS DA EDIFICAÇÃO	30
4.2. SIMULAÇÕES E ANÁLISES DOS RESULTADOS.....	32
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	44
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45
ANEXO A	47
ANEXO B1	48
ANEXO B2	49

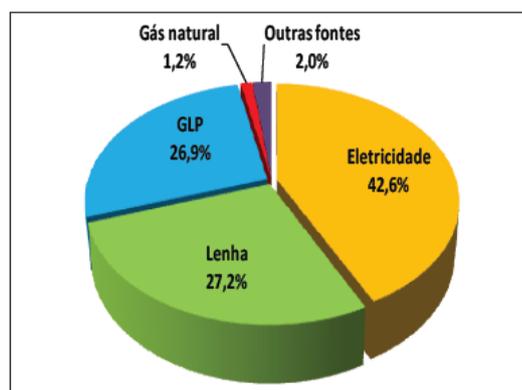
1. INTRODUÇÃO

Reduzir as emissões de gases que causam o efeito estufa é um assunto comum nos dias atuais, o que remete inevitavelmente a redução no consumo energético enquanto ainda são desenvolvidos meios alternativos de geração de energia. Cada vez mais, se faz necessário entender a importância de se olhar para o consumo como responsável pelos diferentes impactos ambientais e sociais.

Com o crescimento de nosso país nos últimos anos, a classe média brasileira tende a crescer cada vez mais, impulsionada pelos programas de inclusão social além do aumento na disponibilidade de crédito. Isto por sua vez, irá refletir no aumento do consumo de energia, impulsionado pelo aumento na venda de eletrodomésticos como refrigeradores e condicionadores de ar. Entretanto, não se pode reprimir este consumo, pois ele fortalece a economia, e, no entanto, existe a possibilidade de o Brasil abandonar padrões de consumo desenfreado copiados das grandes economias e criar seu próprio padrão de consumo em harmonia com a sociedade, saúde humana e meio ambiente.

Segundo BEN (2013), apesar do aumento de 1.835 MW na potência instalada do parque hidrelétrico brasileiro, a oferta de energia hidráulica reduziu 1,9% devido às condições hidrológicas observadas em 2012. O setor residencial teve um acréscimo 5,1% no consumo de eletricidade devido ao aumento da renda e facilidades de crédito. A eletricidade corresponde a 42,6% da energia consumida pelas famílias quando comparada com o GLP (gás liquefeito de petróleo), Lenha, gás natural e outros como pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 - Energias Utilizadas pelas famílias brasileiras em 2012



Fonte: BEN, 2013

1.1. JUSTIFICATIVA

Diante das estatísticas apresentadas, percebe-se a importância da contribuição do setor residencial no uso racional de energia. Veloso apud Geller (2012) observa que pelo uso eficiente da energia, teremos um futuro mais sustentável, e com a redução do crescimento do consumo haveria uma redução na demanda de investimentos e conseqüentemente uma melhora neste serviço beneficiando assim os mais pobres.

O estudo em questão é baseado no conceito *Green Building*, que conforme EPA (2012) é aquele cuja construção de uma edificação e sua vida útil de operação, assegura o ambiente mais saudável possível, fazendo o uso controlado de recursos como terra, água, energia entre outros. Também, no que diz Schneider Electric (2010), que a eficiência energética é o modo mais rápido, econômico e limpo de reduzir nosso consumo de energia.

Mendes *et al* (2005), afirma que de modo geral no Brasil, o projeto de edificações recebe pouca (ou nenhuma) atenção no que diz respeito ao uso racional de energia, principalmente devido à falta de legislação que imponha limites de consumo e da falta de profissionais qualificados para atuar nessa área.

Os softwares de simulação computacional são ferramentas que podem ser utilizadas na análise do desempenho energético em edificações, onde diferentes alternativas de projeto como desenho arquitetônico, materiais, sistemas de iluminação e condicionamento de ar poderão ser testados (MENDES *et al*, 2005).

Para a realização das simulações propostas neste trabalho, será utilizado o software Energyplus, que é um software livre, disponibilizado pelo departamento de energia dos EUA.

1.2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é simular através do software Energyplus a utilização de diferentes materiais na construção de uma residência tendo como resultado a verificação de quais materiais apresentam uma maior eficiência energética.

Para realizar a simulação, uma edificação residencial em 3D foi modelada no software SketchUp com todas as suas características originais de construção

incluindo dimensões, materiais e posição geográfica. As informações do modelo 3D inseridas no software Energyplus foram analisadas, e como resultados foram fornecidas informações referente ao consumo energético da edificação nos mecanismos de condicionamento de ar. Estes dados servirão de base para a avaliação dos materiais empregados na construção e possibilitarão que outros materiais sejam testados comparando-se suas performances.

Como objetivos específicos citam-se:

- Determinar os materiais empregados na construção da edificação;
- Modelar a edificação a ser simulada em software 3D.
- Determinar as cargas térmicas da edificação;
- Determinar os parâmetros de simulação;
- Simular a edificação em software computacional;
- Analisar os dados encontrados;
- Propor alterações nos dados construtivos da edificação;
- Analisar os resultados das alterações propostas.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo são apresentadas definições básicas sobre edificações sustentáveis e a eficiência energética das mesmas, além de métodos utilizados para a análise do consumo energético. Será apresentado também o software Energyplus, que é uma ferramenta computacional criada para auxiliar na busca pela eficiência energética, e ainda, o sistema de equações utilizado pelo software para realizar as análises.

2.1. CONCEITO GREEN BUILDING

Um edifício Green Building é aquele cuja construção e vida útil de operação, asseguram o ambiente mais saudável possível, fazendo o uso controlado de recursos como terra, água, energia e outros. Um projeto Green Building ideal é aquele que efetivamente simula todos os sistemas naturais e as condições do local da construção. Somente assim o projeto estará apto para ser posto em prática, (EPA, 2012).

Segundo Martinez *et al* (2009), as edificações em geral possuem uma vida útil bastante longa. Desta forma, tudo aquilo que for decidido durante o projeto inicial terá grande influência para o futuro tanto de seus usuários, como da sociedade, portanto, seu desempenho inicial, além da capacidade de melhorar este desempenho ao longo do tempo é de considerável importância.

Ainda segundo Martinez *et al* (2009), as edificações representam um significativo investimento financeiro, e é importante que sejam observados os aspectos ecológicos dos materiais empregados na construção destes. A avaliação dos edifícios na maioria das vezes é feita de forma limitada, pois apenas são levados em consideração, aspectos como localização, qualidade, utilização e estética.

A adoção do conceito Green Building traz benefícios ambientais, como a proteção da biodiversidade com a redução do uso e conservação dos recursos naturais, benefícios econômicos com a redução de custos, expansão de mercados e melhoria na produtividade de construções e benefícios sociais, com melhoria no conforto, saúde e qualidade de vida das pessoas, (USEPA, 2012).

2.2. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES

Atualmente, devido à globalização da economia, o gerenciamento energético tem despertado atenção principalmente nos requisitos de eficiência e competitividade. Desta forma se faz necessário a adoção de medidas que proporcionem a racionalização no uso de energia, eliminando desperdícios. A racionalização energética nas edificações passou a ser abordada como prioritária, forçando uma revisão dos padrões adotados, especialmente nos grandes centros urbanos, onde a concentração de edificações demanda uma quantidade de energia bastante elevada.

Neste contexto, observa-se que o sistema de condicionamento ambiental é um dos maiores responsáveis pelo consumo elevado de energia elétrica. Com o intuito de tornar os sistemas de condicionamento de ar mais eficientes, os projetos arquitetônicos devem considerar desde as etapas iniciais, o processo de aquecimento e resfriamento dos ambientes em particular, proporcionando o conforto térmico.

A eficiência energética é o modo mais rápido, econômico e limpo de reduzir nosso consumo de energia. Ações ambiciosas de eficiência energética já são viáveis na maior parte das instalações existentes, onde se é possível obter bons índices de redução de energia utilizando soluções e tecnologias disponíveis na atualidade no mercado.

2.3. SIMULAÇÃO EM EDIFICAÇÕES

Segundo Mendes *et al* (2005), a tarefa de avaliar o desempenho energético de edificações é considerada complexa pois envolve uma grande quantidade de variáveis interdependentes e conceitos multidisciplinares. O advento da informática permitiu que modelos físicos que representam o comportamento térmico e energético de edificações fossem criados, permitindo a simulação de diferentes cenários.

2.4. MECANISMOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

A transferência de energia térmica pode ocorrer de três diferentes formas: Condução, convecção e radiação. Todos os modos de transferência de calor exigem a existência da diferença de temperatura e todos ocorrem da maior para a menor temperatura, exceto a radiação térmica, que pode emitir radiação da superfície de menor temperatura para a de maior temperatura, apesar de ao final o balanço térmico indicar maior trânsito de energia da superfície de maior temperatura para a de menor temperatura (Siegel e Howell, 2002).

2.4.1. Transferência de calor por Condução

Na condução, que ocorre em meios sólidos, a energia é transferida das partículas mais energéticas para as menos energéticas. A condução de calor em um determinado meio depende da geometria, espessura, tipo de material, além da diferença de temperatura em que o meio está inserido (ÇENGEL e GHAJAR, 2012).

Como exemplo, considera-se uma barra cilíndrica de material conhecido onde a sua superfície lateral é isolada e as duas faces restantes mantidas a diferentes temperaturas, sendo $T_1 > T_2$. A diferença de temperatura causa a transferência de calor por condução de T_1 para T_2 . Somos capazes de medir a taxa de transferência de calor q_x conhecendo as variáveis ΔT , comprimento da barra Δx e área da seção transversal A . (INCROPERA e DEWITT, 2003).

A equação da taxa de transferência de calor é obtida pela equação (3):

$$q_x = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} \quad (3)$$

em que k , a *condutividade térmica* (W/m.K) é uma importante propriedade do material. O sinal negativo é necessário porque o calor é sempre transferido na direção decrescente da temperatura.

2.4.2. Transferência de calor por Convecção

A convecção é o modo de transferência de energia entre a superfície sólida e líquida ou gás adjacente, que está em movimento e que envolve os efeitos combinados de condução e de movimento de um fluido (ÇENCEL e GHAJAR, 2012).

Conforme Incropera e DeWitt (2003), considera-se um fluido de velocidade V e temperatura T_∞ escoando sobre uma superfície de forma arbitrária e de área A_s . Presumimos que a superfície encontra-se a uma temperatura uniforme, T_s , e se $T_s \neq T_\infty$, sabemos que a transferência de calor por convecção irá ocorrer. Devido as condições de escoamento variarem de ponto a ponto sobre a superfície, q'' e h também variam ao longo da superfície. A taxa de transferência de calor total q pode ser obtida pela integração do fluxo local sobre toda a superfície. Definindo um coeficiente de convecção médio \bar{h} para toda a superfície, a taxa total de transferência de calor também pode ser representada pela equação (4).

$$q = \bar{h} \cdot A_s \cdot (t_s - T_\infty) \quad (4)$$

Onde h é o coeficiente de transferência de calor por convecção em (W/m².k), A é a área da superfície por meio da qual a transferência de calor por convecção ocorre, T_s é a temperatura da superfície, e T_∞ é a temperatura do fluido suficientemente longe da superfície.

2.4.3. Transferência de calor por Radiação

Segundo Çengel e Ghajar (2012), a radiação é a energia emitida pela matéria sob a forma de ondas eletromagnéticas como resultado das mudanças nas configurações eletrônicas de átomos ou moléculas. A transferência de calor por radiação não necessita de um meio interveniente, e não sofre atenuação no vácuo.

Conforme Incropera e DeWitt (2003), a radiação que é emitida pela superfície tem sua origem na energia térmica da matéria limitada pela superfície, e a taxa na qual a energia é liberada por unidade de área (W/m²) é denominada poder emissivo

E da superfície. Existe um limite superior para o poder emissivo, que é previsto pela lei de *Stefan-Boltzmann* dado pela equação (5).

$$E_b = \sigma \cdot T_s^4 \quad (5)$$

onde T_s é a temperatura absoluta (K) da superfície e σ é a constante de *Stefan-Boltzmann* ($\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$). Tal superfície é chamada de radiador ideal ou corpo negro.

O fluxo de calor emitido por uma superfície real é menor do que o emitido por um corpo negro a mesma temperatura e é dado pela equação (6).

$$E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_s^4 \quad (6)$$

onde ε é uma propriedade radiante da superfície denominada emissividade. Com valores na faixa de $0 \leq \varepsilon \leq 1$, essa propriedade fornece uma medida da capacidade de emissão de energia de uma superfície em relação a um corpo negro.

2.4.4. Transferência de calor em superfícies e tetos

Segundo Çengel e Ghajar (2012), A taxa de transferência de calor através de qualquer seção de parede ou teto de uma edificação pode ser determinada pela equação (7).

$$Q = U \cdot A \cdot (T_i - T_o) = \frac{A \cdot (T_i - T_o)}{R} \quad (7)$$

Onde T_i e T_o são as temperaturas interna e externa do ar, A é a área de transferência de calor, U é o coeficiente global de transferência de calor (fator U) e $R = 1/U$ é a resistência térmica global unitária (valor R).

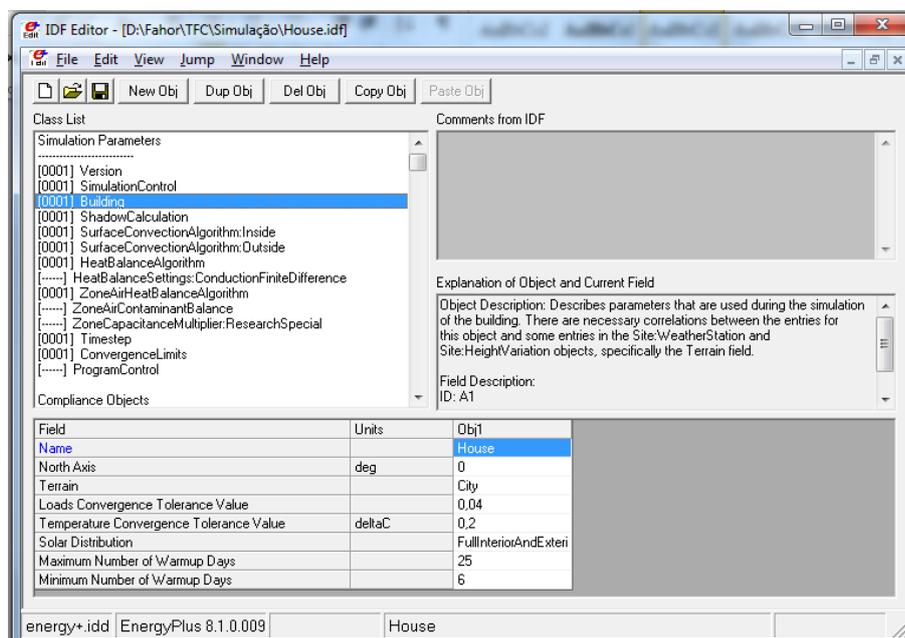
2.5. ENERGYPLUS

O Energyplus é um software de simulação termoenergética que tem suas raízes nos softwares americanos BLAST (*Building Loads Analysis and System Thermodynamics*) e DOE-2 (*Department of Energy software*), desenvolvidos no final de 1970 e início de 1980 como ferramentas de simulação de energia e de carga térmica. Mantido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos é utilizado em pesquisas e por projetistas que desejam analisar o desempenho termoenergético nas edificações.

Baseado nas características de uma edificação a partir da perspectiva da composição física do mesmo e sistemas mecânicos e outros associados, o Energyplus calcula o aquecimento e refrigeração necessários para manter os valores nominais de controle térmico, condições ao longo de um sistema de climatização secundário e consumo de energia dos equipamentos da planta principal. O Energyplus com base nesses e muitos outros detalhes torna a simulação bastante realista (USDOE, 2013).

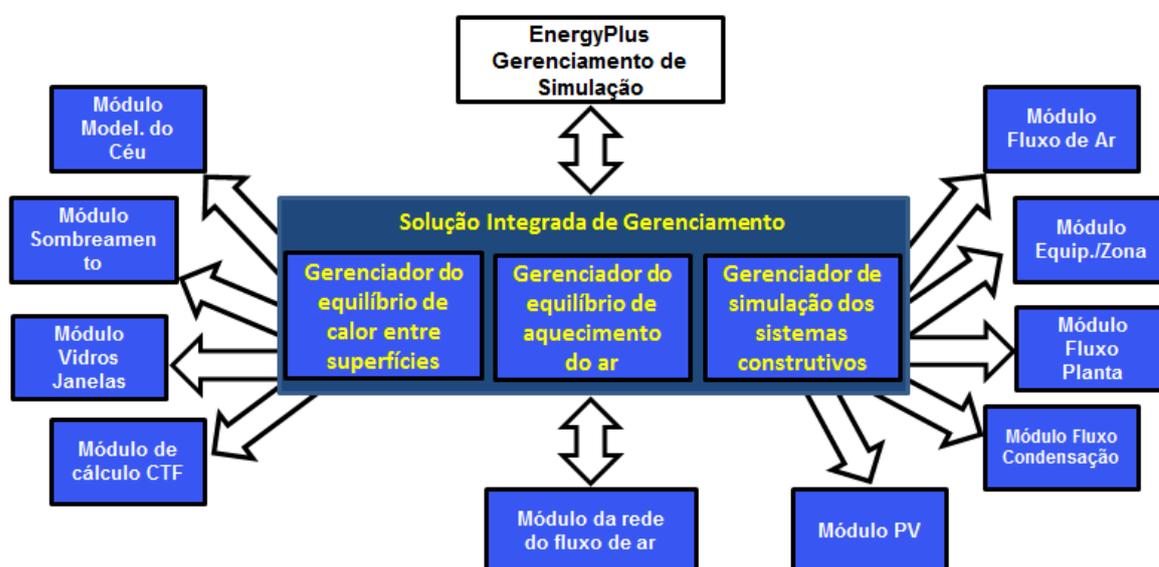
O Energyplus é um mecanismo de simulação que trabalha em paralelo com outros softwares. Possibilita a entrada de dados de texto de forma simples em uma janela conforme Figura 2 e fornece dados de texto como produto.

Figura 2 - Interface de simulação do software Energyplus



O Energyplus é um conjunto de módulos que trabalham juntos para calcular a energia necessária para o aquecimento e arrefecimento de um edifício, utilizando uma variedade de sistemas e fontes de energia. Ele faz isso através da simulação do edifício e sistemas de energia associados quando eles são expostos a diferentes condições ambientais e de funcionamento. O núcleo da simulação é um modelo do edifício que se baseia em princípios de equilíbrio de calor fundamentais, (ENERGYPLUS, 2013). Na Figura 3, pode-se verificar o esquema de blocos que compõe o software.

Figura 3 - Esquema de blocos do Energyplus



Fonte: Adaptado de ENERGYPLUS, 2013.

O Energyplus é escrito em linguagem de programação *Fortran 90* e possui uma estrutura modular bem definida facilitando a comunicação com outros programas além da adição de rotinas e módulos (LBNL, 2010).

Baseado nos dados de construção da edificação descritos pelo usuário, levando em consideração características físicas da mesma, arquivo climático da região onde a residência se encontra, nos dias de projeto e nos sistemas mecânicos associados, o Energyplus calcula as cargas térmicas de refrigeração e aquecimento necessários para manter o conforto térmico como também a energia consumida para tal (LBNL, 2010).

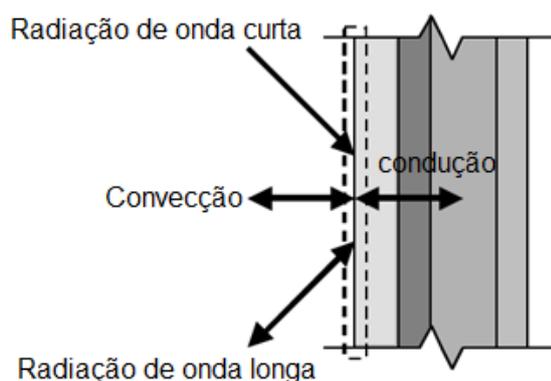
2.5.1. Método de balanço de energia utilizado pelo Energyplus

No Energyplus, cada elemento do prédio a ser analisado é descrito por equações que envolvem os processos de transferência de calor por condução, convecção e radiação que ocorrem tanto nas superfícies internas como nas externas. As seguintes hipóteses são consideradas para a abordagem de balanço de energia:

- Temperaturas de superfícies uniformes;
- Radiação de onda curta e longa uniforme;
- Troca de radiação entre as superfícies;
- Condução no interior do elemento;
- Zona térmica apresenta temperaturas uniformes;

Conforme Strand *et al.* (2001) o Energyplus realiza um balanço de energia para as paredes da edificação em três níveis, observando um balanço entre as superfícies internas e externas e o volume de ar da zona conforme a Figura 4.

Figura 4 – Balanço de calor em superfícies externas



Fonte: Adaptado de Strand *et al.*, 2001.

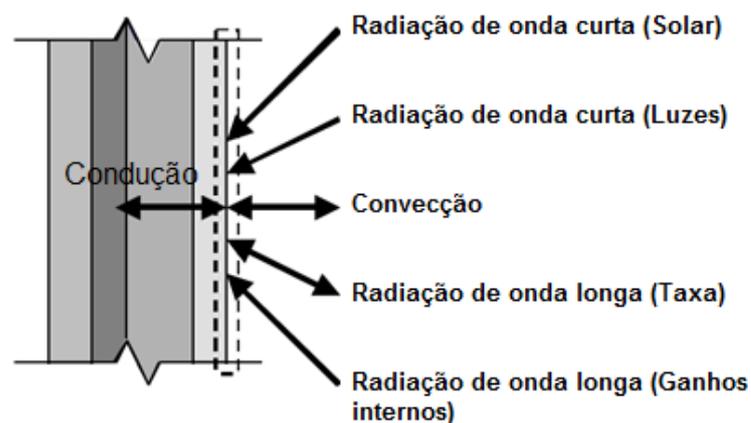
O balanço de energia das superfícies externas considera a radiação, a condução e a convecção de calor. A radiação de onda curta inclui a radiação solar direta e difusa incidente na superfície e, é influenciada pela localização, inclinação da superfície, propriedades dos materiais, condições climáticas e as trocas térmicas entre a superfície, céu e solo. O fluxo de calor é calculado através da absortividade, das temperaturas e pelo fator de forma.

Para a modelagem da superfície externa tem-se que o fluxo condutivo através dos materiais da parede (Q_{cond}) é igual à soma das quantidades de radiação solar absorvida pela superfície (Q_{SWrad}), radiação térmica trocada entre a superfície e seu entorno – radiação de onda longa (Q_{LWrad}) e energia trocada por convecção entre a superfície (Q_{conv}), conforme a equação (1).

$$Q_{SWrad} + Q_{LWrad} + Q_{conv} + Q_{cond} = 0 \quad (1)$$

Para a modelagem do balanço de energia das superfícies internas, Figura 5, são analisados quatro componentes: condução através dos elementos do prédio, convecção, radiação de onda curta absorvida e refletida e radiação de onda longa trocada entre as superfícies. Nesse caso, a radiação de onda curta é aquela que entra através da janela e também a emitida por fontes internas, como lâmpadas. A radiação de onda curta é distribuída igualmente entre as superfícies. A radiação de onda longa inclui a absorção e emissão de radiação por fontes de baixa temperatura, tais como outras superfícies, equipamentos e pessoas.

Figura 5 – Balanço de calor em superfícies internas



Fonte: Adaptado de Strand *et al*, 2001.

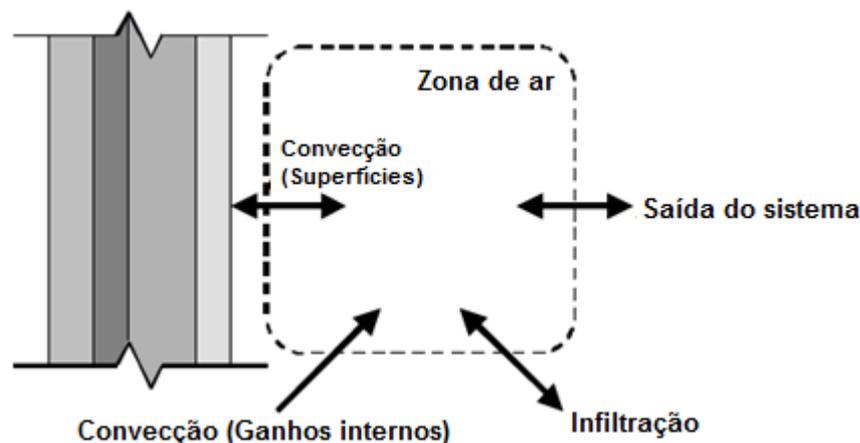
A equação do balanço de energia da superfície interna é dada pela eq. (2):

$$Q_{solar} + Q_{SWlights} + Q_{LWradExch} + Q_{LWradIntGain} + Q_{Conv} + Q_{Cond} = 0 \quad (2)$$

Onde Q_{solar} é a quantidade de radiação solar absorvida pela superfície interna, Q_{SWlights} é a quantidade de radiação de ondas curtas de lâmpadas absorvida pela superfície, $Q_{\text{LWradExch}}$ é a quantidade de energia térmica que é trocada com outra superfície na zona, $Q_{\text{LWradIntGains}}$ é a quantidade de radiação térmica de onda longa de fontes internas de calor, como as pessoas, luzes e equipamentos que é absorvida pela superfície, Q_{conv} é a quantidade de convecção entre a superfície e o ar na zona, e Q_{cond} é a quantidade de energia conduzida entre os materiais de parede.

Para delimitar as áreas que serão cobertas por um mesmo sistema de condicionamento de ar, são criadas as zonas térmicas. Cada sistema caracteriza uma zona térmica que pode ser composta de diversos ambientes como também do prédio como um todo. A Figura 6 representa esquematicamente este sistema.

Figura 6 - Zona de balanço de calor



Fonte: Adaptado de Strand *et al*, 2001.

2.6. GOOGLE SKETCH-UP E OPEN STUDIO

O Google SketchUp é um software de desenho desenvolvido para a modelagem de qualquer ambiente 3D. É um programa que possui várias funcionalidades permitindo criar desde objetos simples até complexas edificações residenciais ou industriais. O SketchUp não é um software *free*, mas é disponível para testes.

O SketchUp através da versão para testes foi utilizado para a modelagem da edificação utilizada na simulação do presente estudo. Em paralelo com o software Sketch-Up, foi utilizado o software Open-Studio, que é um *plugin* gratuito para que desenhos feitos no SketchUp sejam inseridos no EnergyPlus. Com a instalação do Open Studio, novas ferramentas de trabalho são disponibilizadas na área de trabalho do SketchUp, permitindo que as características do modelo 3D sejam editadas.

A partir do Open Studio, um arquivo com extensão *.idf* contendo todas as características do modelo 3D como dimensões e materiais empregados na construção do modelo é gerado, permitindo levar estas informações para o software EnergyPlus.

3. METODOLOGIA

3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS

A simulação da edificação residencial utilizando o software Energyplus foi realizada a partir dos dados de uma residência com aproximadamente 69 m² de área construída em alvenaria, localizada na cidade de Santa Rosa/RS.

A residência em questão possui em sua construção materiais comuns utilizados na construção de residências como cobertura utilizando telhas de cimento, paredes de tijolos, aberturas em madeira, etc.

Um modelo da residência em formato 3D (Figura 7), foi elaborado utilizando-se o software Google SketchUp que em paralelo com o software Open Studio, gera um arquivo com a extensão “.idf” que é utilizado para simulação no software Energyplus.

O software Open Studio é responsável por transferir os parâmetros construtivos da edificação para o Energyplus. Ao contrário, todos os dados referentes à geometria da residência teriam de ser inseridos na forma de comandos numéricos.

Figura 7 - Residência modelada no software Google SketchUp 2014



O arquivo “.idf” traz em seu conteúdo, informações relacionadas ao dimensionamento da residência, materiais empregados na sua construção,

condições climáticas do local, posição geográfica, cargas térmicas, quantidade de pessoas que vivem na residência, sistemas de condicionamento de ar entre outros.

O arquivo “*idf*” inserido no Energyplus, foi acompanhado de informações como o tempo de simulação que o software devesse considerar para os cálculos de energia, que no caso desta experiência foi de 1 ano.

Feita a simulação, foram geradas planilhas com os dados de consumo energético da edificação no período indicado. De posse dos dados de consumo da residência, observou-se dados da quantidade de energia utilizada para aquecimento e resfriamento na edificação. Os dados foram analisados de forma gráfica de modo a possibilitar a análise dos picos de consumo no decorrer do ano, identificando assim oportunidades de melhoria na construção a fim de melhorar o desempenho. Após, alterou-se o tipo de material de algumas partes da residência observando seu desempenho quanto ao isolamento térmico e se a melhora neste desempenho proporcionou uma redução no consumo de energia.

3.2. MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Para a realização deste projeto, utilizou-se equipamentos e recursos destinados à pesquisa, modelamento e simulação computacional os quais citam-se:

- a) Software de desenho 3D (SketchUp 2014);
- b) Software de modelagem (Open Studio v1-0-11);
- c) Software de simulação energética (Energyplus v8-1-0).

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

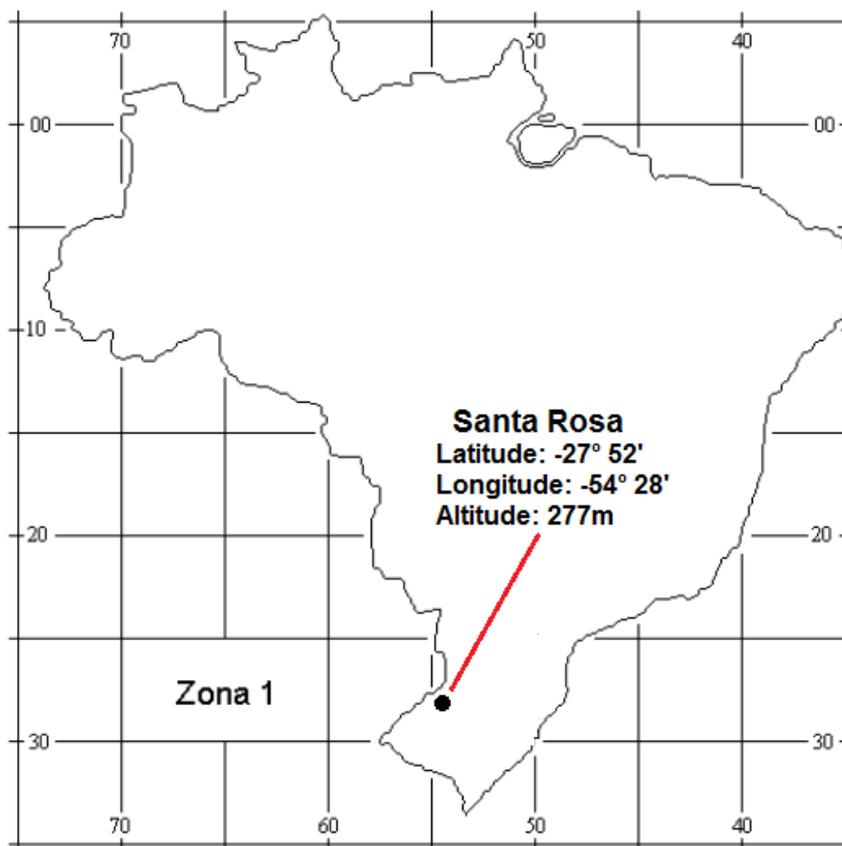
Neste capítulo serão apresentadas as simulações de diferentes configurações a residência visando à análise do consumo energético. Serão apresentados os parâmetros utilizados e os resultados encontrados.

4.1. DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS INICIAIS DA SIMULAÇÃO

4.1.1. Localização da edificação simulada

Conforme já apresentado na seção anterior, a residência simulada encontra-se localizada na cidade de Santa Rosa/RS, nas coordenadas de latitude $-27^{\circ} 52'$, longitude $-54^{\circ} 28'$ e altitude 277m, indicadas na Figura 8. A posição geográfica da edificação é uma informação importante utilizada na simulação, pois possui impacto relevante na eficiência energética da mesma.

Figura 8 - Dados de Latitude e Longitude da cidade de Santa Rosa - RS

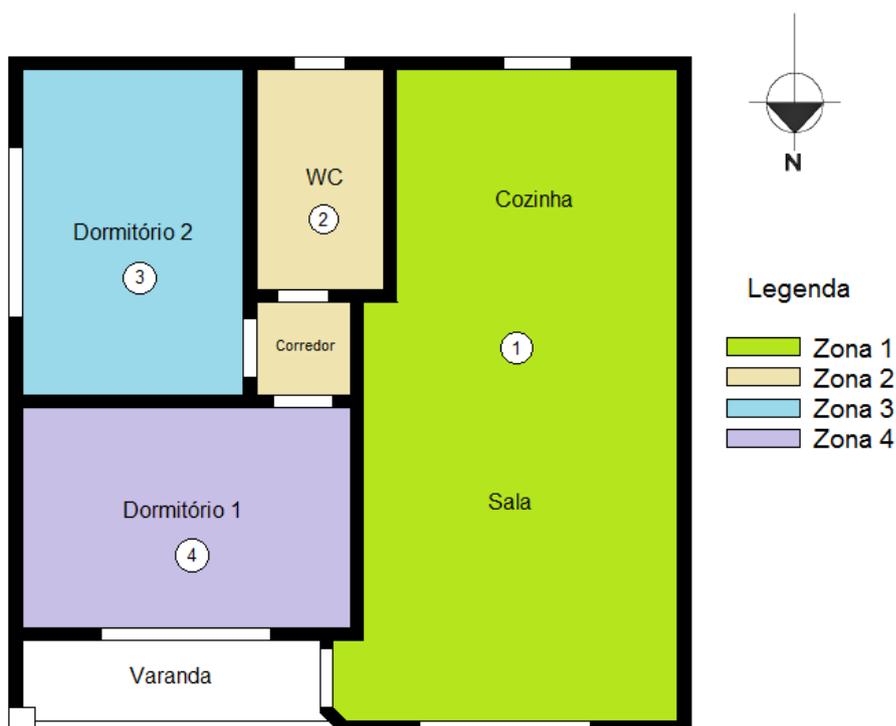


Fonte: Adaptado de Pozza, 2011.

4.1.2. Dimensões e elementos construtivos da edificação

A edificação proposta para a simulação, é composta por 5 cômodos sendo sala, cozinha, banheiro, quarto 1 e quarto 2, além de corredor de acesso e varanda. Sala e cozinha foram consideradas como zona 1, banheiro e corredor como zona 2, dormitório 2 como zona 3 e dormitório 1 como zona 4. A planta baixa da edificação pode ser visualizada na Figura 9.

Figura 9 - Planta baixa da edificação



Como parâmetros iniciais de simulação, consideraram-se as características reais da residência conforme informações obtidas através dos anexos A e B.

Nas paredes internas e externas utilizou-se tijolos de barro com reboco de cimento, piso cerâmico, forro em concreto pré-moldado, telhas de concreto, portas internas em madeira oca, portas externas em madeira sólida, janelas em madeira sólida com vidros escuros conforme dados mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 - Dimensões gerais e materiais empregados na edificação

Dimensões gerais		
Área total da edificação	69 m ²	
Comprimento	8,3 m	
Largura	8,3 m	
Altura	2,7 m	

Propriedades dos materiais		
Descrição	Espessura média	Material
Paredes externas	0,20 m	Tijolo de barro 6 furos
Paredes internas	0,15 m	Tijolo de barro 6 furos
Reboco	0,025 m	Cimento
Piso	0,15 m	Cerâmica
Forro	0,2 m	Concreto fck 25 Mpa
Telhas	0,025 m	Concreto
Portas internas	0,03 m	Madeira Oca
Portas externas	0,03 m	Madeira Sólida
Janelas	0,2 m	Madeira Sólida
Vidros	0,003 m	Vidros escuros

4.1.3. Cargas internas da edificação

As cargas internas são compreendidas pela taxa de energia liberada por pessoas, equipamentos elétricos e térmicos, iluminação e infiltração de ar na zona. A Tabela 2 apresenta as cargas internas da edificação no que se refere aos equipamentos elétricos, térmicos e iluminação. São apresentados os equipamentos utilizados nos cômodos da residência nas quantidades e referidas potências.

Para possibilitar a simulação de consumo energético no Energyplus, é necessário que seja informada ao software, a quantidade de pessoas que vivem na residência, pois esta informação também é considerada como carga térmica e influencia nos resultados. Para as simulações realizadas foram contabilizadas 02 pessoas vivendo na residência.

Tabela 2 - Cargas internas da edificação

Cargas Internas da edificação							
Aparelhos Elétricos				Iluminação			
Local	Equipamento	Qtd.	Potência (W)	Local	Equipamento	Qtd.	Potência (W)
Sala	Televisor	1	300	Sala	Lâmpada	1	40
	Receptor	1	30	Cozinha	Lâmpada	1	40
	Computador	1	60	Banheiro	Lâmpada	2	25
	Fonte	1	60	Dormitório 1	Lâmpada	1	25
	Ventilador	1	100		Abajur	1	15
	Rádio	1	50	Dormitório 2	Lâmpada	1	25
Cozinha	Refrigerador	1	250				
	Fogão	1	200				
	Microondas	1	750				
	Liquidificador	1	200				
	Batedeira	1	200				
	Torradeira	1	800				
Banheiro	Chuveiro	1	5000				
	Secador	1	1000				
Dormitório 1	Condicionador de ar	1	1600				
	Laptop	1	330				
Dormitório 2	Televisor	1	300				
	Laptop	1	330				
	Ventilador	1	100				
		Total	11660			Total	195

Importante ressaltar que não foi considerada para a simulação a emissão de calor de fontes como a chama do fogão, calor gerado na cocção de alimentos ou no aquecimento da água do chuveiro.

O Energyplus dimensiona os sistemas de refrigeração e aquecimento conforme a necessidade para manter o conforto térmico de acordo com a configuração construtiva da edificação, arquivos climáticos, taxa de ocupação da residência e fontes internas de geração de calor.

Conforme dito anteriormente, o Energyplus precisa que seja fornecido o arquivo climático do local onde se encontra a edificação. Neste arquivo, estão informações como temperaturas médias anuais, dados de umidade relativa, pressão, precipitações, ventos, intensidade solar entre outros.

Os parâmetros climáticos utilizados na simulação foram da cidade de Santa Maria/RS, cidade distante 270 km de Santa Rosa. A justificativa pela escolha dos dados de Santa Maria, é que esta cidade é a mais próxima de Santa Rosa que possui o arquivo climático “edw” disponível. O arquivo “edw” é o portador de todos os dados climáticos do local e é fornecido geralmente por universidades que possuem estações meteorológicas.

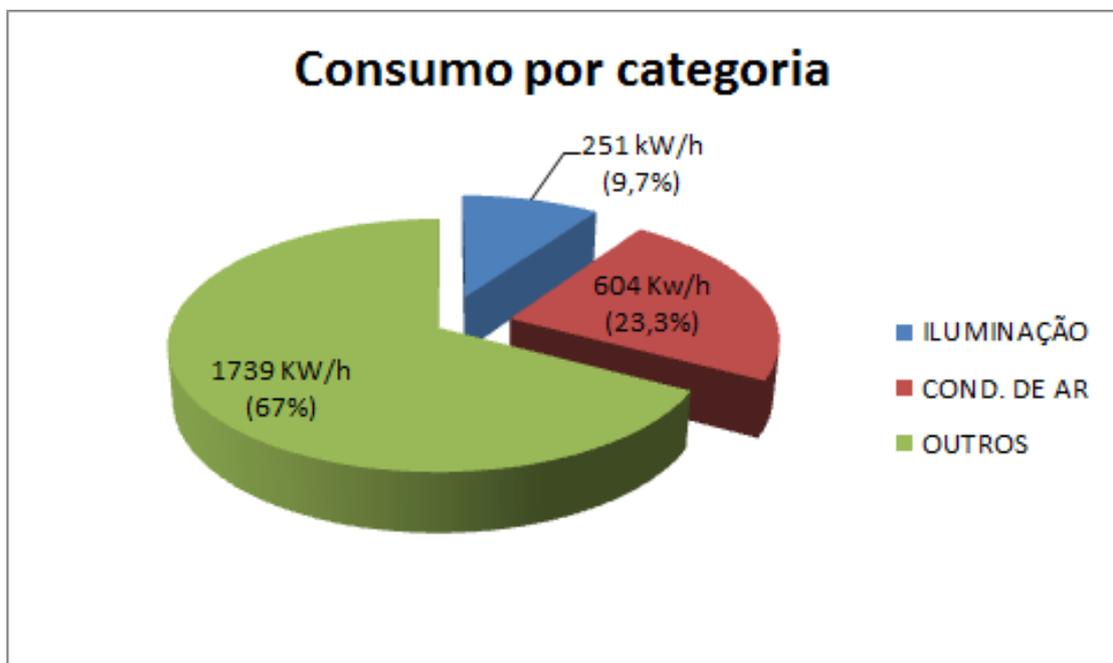
4.2. SIMULAÇÕES E ANÁLISES DOS RESULTADOS

A simulação utilizando o software Energyplus realizou-se considerando-se 5 cenários conforme segue: O cenário “A” foi feito considerando a edificação com suas características originais de construção. No cenário “B”, foi feita a substituição da telha de concreto por telha de cerâmica, no cenário “C”, foi adicionada manta de isolamento sobre a telha de concreto, no cenário “D” foi adicionada manta de isolamento sobre a telha de cerâmica, enquanto que no cenário “E” foi feita a substituição da telha de concreto por telha de fibrocimento.

Considerando os parâmetros utilizados na simulação da edificação apresentados anteriormente como cenário “A”, obteve-se através da simulação com o software Energyplus os dados do consumo anual de energia da residência conforme a Figura 10.

Como resultado, teve-se um consumo anual de 2594 kW/h dos quais 604 kW/h ou seja, 23,3% corresponderam a energia consumida para aquecimento e resfriamento.

Figura 10 - Consumo de energia por categoria



Os dados da Tabela 3 correspondem a energia consumida para aquecimento e resfriamento em (kW/h) divididos nos 12 meses do ano para manter o conforto térmico da edificação, para tal, o software considera uma condição de temperatura ambiente de 23°C.

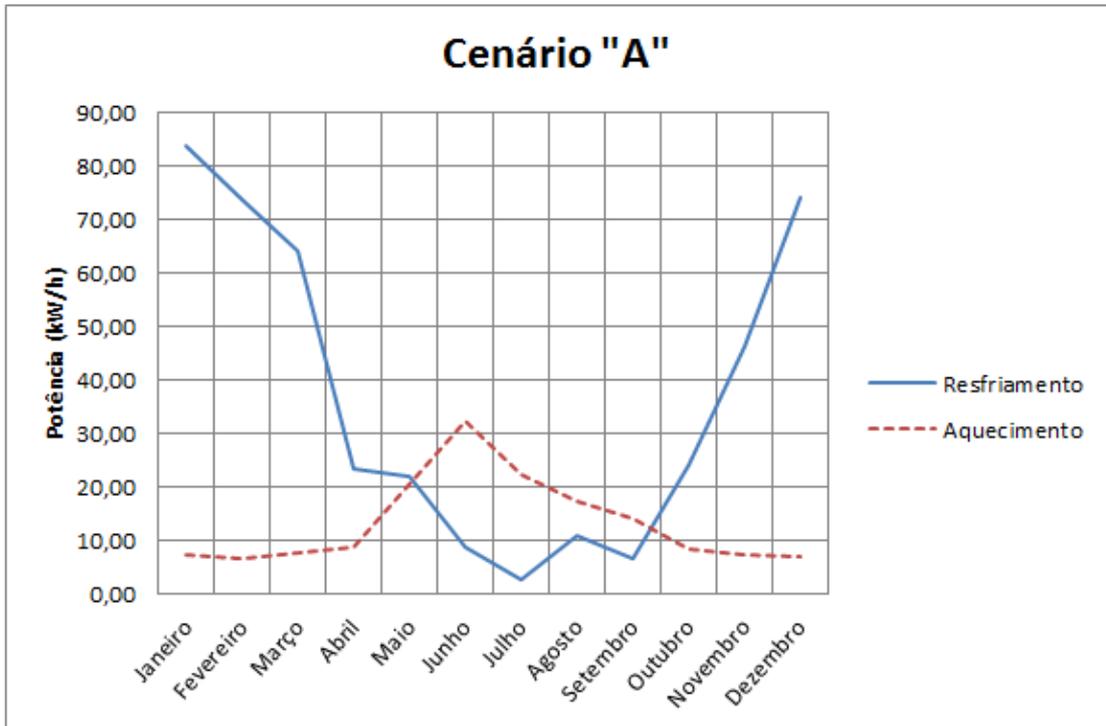
Tabela 3 - Cenário "A" – Energia consumida para aquecimento e resfriamento

Cenário A		
	Energia Total para aquecimento (kW/h)	Energia Total para resfriamento (kW/h)
Janeiro	7,42	84,14
Fevereiro	6,75	73,74
Março	7,64	63,97
Abril	8,78	23,35
Maio	21,01	22,80
Junho	32,70	8,95
Julho	22,32	2,92
Agosto	17,68	10,86
Setembro	14,32	6,63
Outubro	8,54	24,17
Novembro	7,32	46,34
Dezembro	6,99	74,15
Subtotal	161,46	442,02
Total	603,5	

A primeira análise que pode ser feita a partir dos dados da Tabela 4 é referente aos maiores consumos de energia nos meses de junho para aquecimento e no mês de janeiro para resfriamento. Pode-se concluir que o alto consumo de energia para resfriamento no mês de janeiro se dá devido às altas temperaturas registradas nos meses de verão, o que nos leva a refletir sobre os materiais utilizados na construção da edificação e projeto arquitetônico, demonstrando que durante o projeto da edificação é necessário dar mais ênfase na absorção do calor externo para dentro da edificação.

A partir do gráfico da Figura 11, é possível verificar mais claramente a inversão no consumo de energia ao aproximar-se da época de inverno no hemisfério sul, onde é reduzido o consumo de energia para resfriamento e aumentado o consumo da energia utilizada para aquecimento.

Figura 11 - Gráfico da energia consumida para resfriamento e aquecimento



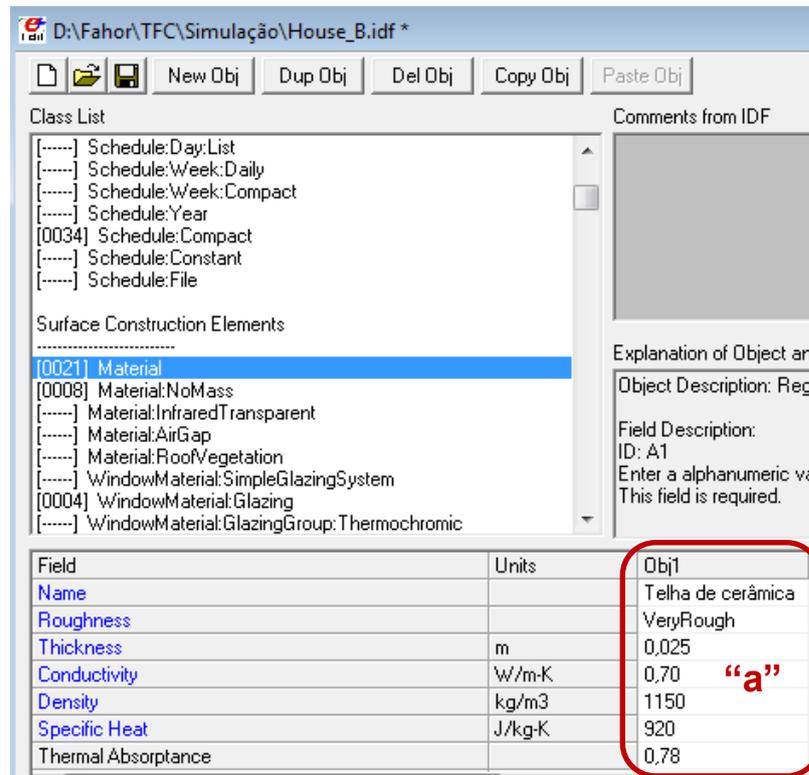
Por outro lado, não se podem ignorar as perdas de calor nos meses de inverno já que em situações em que o mesmo for de maior intensidade, o consumo de energia para aquecimento também será significativo.

Segundo Pozza (2011), alterações nos parâmetros construtivos, quando bem feitas, reduzem significativamente o consumo de energia elétrica nos sistemas de condicionamento de ar.

Diante disso, propôs-se a criação do cenário "B", onde foi alterado o tipo de cobertura da residência de telha de concreto para telha cerâmica conforme mostrado na Figura 12, detalhe "a".

A telha de cerâmica possui algumas características que a torna mais adequada para o isolamento térmico quando comparada com a telha de concreto. Uma destas características é o coeficiente de condutividade térmica (λ) que é de 0,7 W/m-k enquanto que na telha de concreto é de 1,75 W/m-k.

Figura 12 - Alteração do tipo de telha de concreto para cerâmica



Com a simulação do cenário “B”, obtiveram-se os dados conforme Tabela 4, que apresenta um comparativo entre o consumo de energia nos cenários “A” e “B”. A tabela mostra uma redução anual média de 1,2% no consumo de energia para o aquecimento e uma redução anual média de 0,7% no consumo de energia para resfriamento.

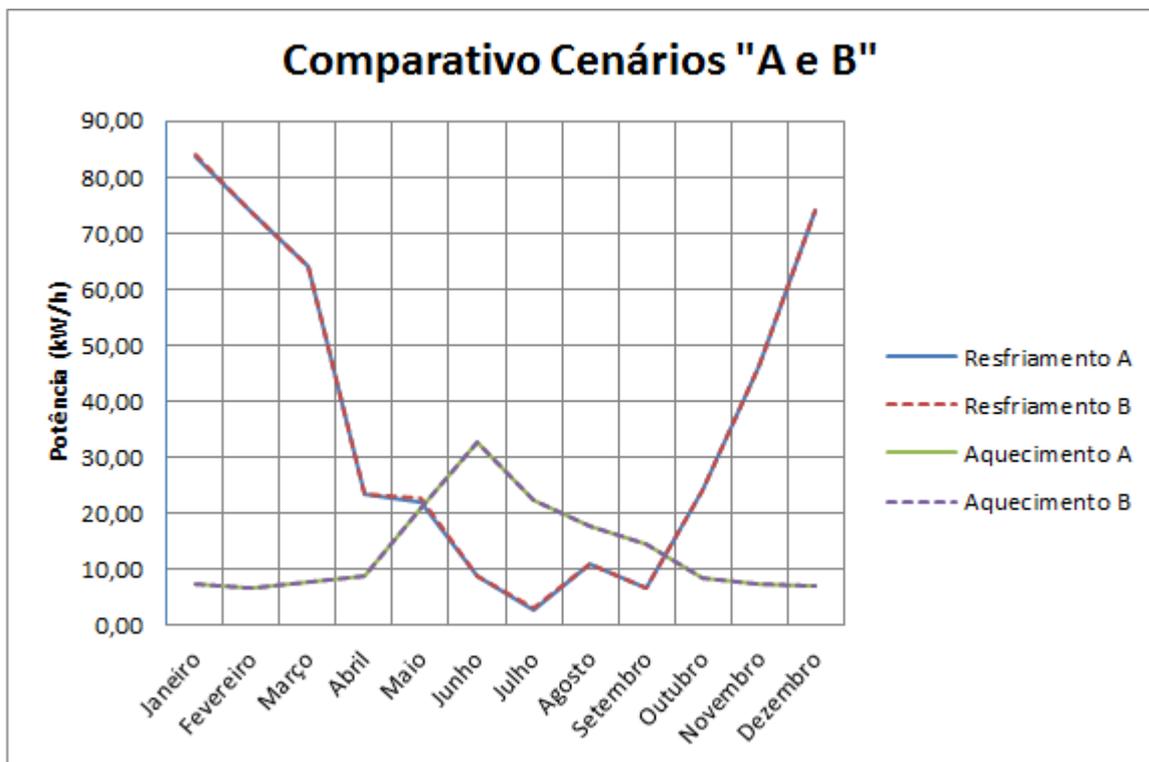
Tabela 4 - Comparativo de consumo entre os cenários “A” e “B”

Comparativo entre os Cenários "A" e "B"

	Cenário "A"	Cenário "B"	Dif. %	Cenário "A"	Cenário "B"	Dif. %
	Energia Total para aquecimento (kW/h)	Energia Total para aquecimento (kW/h)		Energia Total para resfriamento (kW/h)	Energia Total para resfriamento (kW/h)	
Janeiro	7,42	7,37	0,7%	84,14	83,78	0,4%
Fevereiro	6,75	6,70	0,8%	73,74	73,63	0,1%
Março	7,64	7,58	0,7%	63,97	63,90	0,1%
Abril	8,78	8,69	1,1%	23,35	23,23	0,5%
Maio	21,01	20,58	2,1%	22,80	22,14	3,0%
Junho	32,70	32,27	1,3%	8,95	8,90	0,6%
Julho	22,32	22,16	0,7%	2,92	2,87	1,6%
Agosto	17,68	17,34	1,9%	10,86	10,86	0,0%
Setembro	14,32	14,13	1,3%	6,63	6,58	0,7%
Outubro	8,54	8,35	2,3%	24,17	23,94	1,0%
Novembro	7,32	7,26	0,8%	46,34	46,09	0,5%
Dezembro	6,99	6,94	0,7%	74,15	73,95	0,3%
			1,2%			0,7%

No gráfico da Figura 13 é possível observar que a diferença no consumo de energia para os cenários “A” e “B” não foi perceptível, exceto pelo mês de maio onde a energia para resfriamento do cenário “B” superou o cenário “A”.

Figura 13 - Gráfico comparativo entre os cenários “A” e “B”



Na terceira simulação realizada, ou seja, cenário “C”, manteu-se as características da edificação do cenário “A”, ou seja, com telhas de concreto, porém com a adição de isolante térmico em poliuretano sobre o telhado a fim de aumentar o isolamento térmico, Figura 14, detalhe “a”.

As características do isolante térmico em questão foram extraídas do anexo “B2”, tratando-se de uma espuma rígida de poliuretano que é um material em crescente utilização principalmente na fabricação de telhas do tipo “sanduíche” por apresentar baixo coeficiente de condutividade térmica e baixa densidade.

Figura 14 – Telha de concreto com adição de isolante térmico

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		Telha de concreto	Isolamento
Roughness		VeryRough	Smooth
Thickness	m	0,025	0,03
Conductivity	W/m-K	1,75	0,03
Density	kg/m ³	2300	35
Specific Heat	J/kg-K	1000	100
Thermal Absorptance		0,72	0,3

Feita a simulação do cenário “C”, obtiveram-se os dados conforme Tabela 5, onde se observa uma redução anual média de 7,4% no consumo de energia para o aquecimento e uma redução anual média de 5,1% no consumo de energia para resfriamento da edificação. A Figura 15 mostra graficamente esta redução.

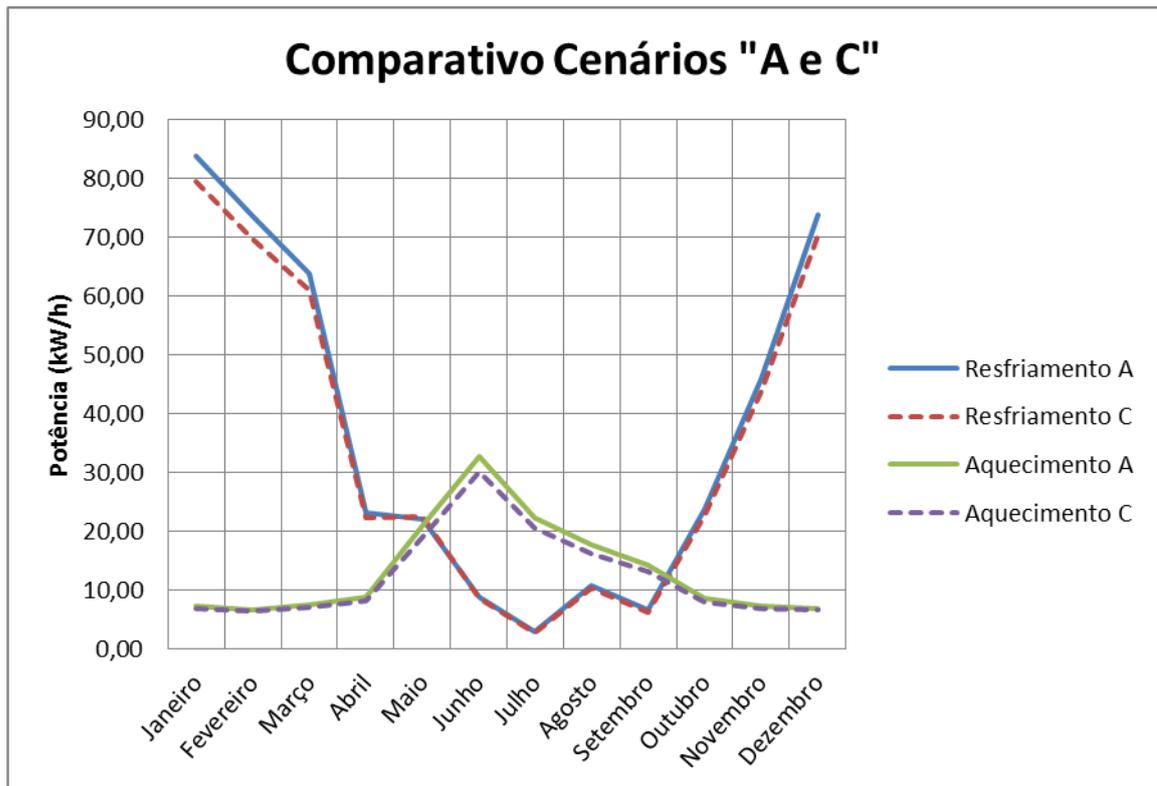
Observa-se neste caso uma redução maior no consumo de energia da edificação para aquecimento o que nos faz constatar que além do isolamento do calor de fora para dentro da residência, o isolante também auxilia na redução da perda de calor por radiação para o espaço através do telhado.

Tabela 5 - Comparativo de consumo entre os cenários “A” e “C”

Comparativo entre os Cenários "A" e "C"						
	Cenário "A"	Cenário "C"		Cenário "A"	Cenário "C"	
	Energia Total para aquecimento (kW/h)	Energia Total para aquecimento (kW/h)	Dif. %	Energia Total para resfriamento (kW/h)	Energia Total para resfriamento (kW/h)	Dif. %
Janeiro	7,42	6,98	6,4%	84,14	79,43	5,9%
Fevereiro	6,75	6,36	6,1%	73,74	69,80	5,6%
Março	7,64	7,17	6,5%	63,97	60,97	4,9%
Abril	8,78	8,21	7,0%	23,35	22,29	4,8%
Mai	21,01	19,13	9,8%	22,80	22,14	3,0%
Junho	32,70	30,10	8,6%	8,95	8,62	3,9%
Julho	22,32	20,68	7,9%	2,92	2,81	3,7%
Agosto	17,68	16,29	8,5%	10,86	10,32	5,2%
Setembro	14,32	13,19	8,6%	6,63	6,21	6,7%
Outubro	8,54	7,95	7,4%	24,17	22,79	6,0%
Novembro	7,32	6,88	6,3%	46,34	43,94	5,5%
Dezembro	6,99	6,59	6,1%	74,15	70,30	5,5%
			7,4%			5,1%

Pelo gráfico da Figura 15, também é possível observar a diferença de energia consumida nos cenários “A” e “C”, onde a maior diferença é observada nos meses de janeiro, junho e dezembro, épocas de calor e frio mais intensos.

Figura 15 - Gráfico comparativo entre os cenários "A" e "C"



Como cenário "D", foi feita a simulação com a utilização de telhas de cerâmica com a adição de isolante térmico sobre o telhado. Os dados de condutividade térmica, densidade, calor específico e absorvância adotados em ambos os materiais podem ser vistos na Figura 16 detalhe "a" e foram obtidos através dos anexos "A" e "B".

Figura 16 - Telha de concreto com adição de isolante térmico

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		Telha de Cerâmica	Isolamento
Roughness		VeryRough	Smooth
Thickness	m	0,025	0,03
Conductivity	W/m-K	0,70	0,03 "a"
Density	kg/m3	1150	35
Specific Heat	J/kg-K	920	100
Thermal Absorptance		0,78	0,3

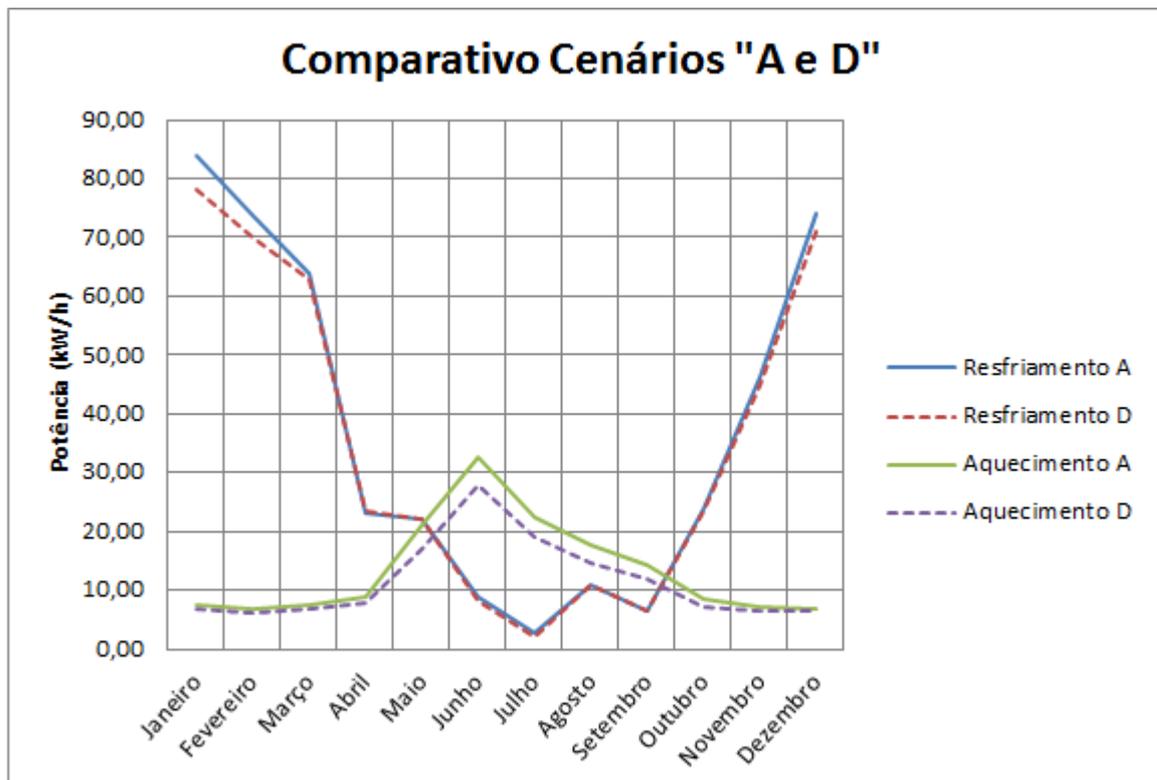
A Tabela 6 apresenta os dados de consumo durante os 12 meses do ano. Observa-se uma redução média de 15,7% na energia consumida para aquecimento e 6,2% na energia consumida para resfriamento.

Tabela 6 - Comparativo de consumo entre os cenários "A" e "D"

Comparativo entre os Cenários "A" e "D"						
	Cenário "A"	Cenário "D"		Cenário "A"	Cenário "D"	
	Energia Total para aquecimento (kW/h)	Energia Total para aquecimento (kW/h)	Dif. %	Energia Total para resfriamento (kW/h)	Energia Total para resfriamento (kW/h)	Dif. %
Janeiro	7,42	6,67	11,3%	84,14	78,01	7,9%
Fevereiro	6,75	6,09	10,9%	73,74	70,15	5,1%
Março	7,64	6,86	11,3%	63,97	62,93	1,7%
Abril	8,78	7,73	13,5%	23,35	23,30	0,2%
Maió	21,01	16,89	24,4%	22,80	22,20	2,7%
Junho	32,70	27,71	18,0%	8,95	8,11	10,4%
Julho	22,32	19,00	17,5%	2,92	2,21	32,1%
Agosto	17,68	14,77	19,7%	10,86	10,77	0,8%
Setembro	14,32	11,94	19,9%	6,63	6,45	2,8%
Outubro	8,54	7,07	20,8%	24,17	23,55	2,6%
Novembro	7,32	6,59	11,0%	46,34	44,90	3,2%
Dezembro	6,99	6,32	10,6%	74,15	70,96	4,5%
			15,7%			6,2%

No gráfico da Figura 17, é possível observar as maiores diferenças para energia consumida para resfriamento entre os dois cenários nos meses de janeiro e dezembro, e a energia consumida para aquecimento no período entre maio e setembro.

Figura 17 - Gráfico comparativo entre os cenários "A" e "D"



Por fim, como cenário “E”, foi feita a simulação com a utilização de telha de fibrocimento no telhado.

A telha de fibrocimento utilizada foi de espessura 6 mm, telha muito comum no mercado empregada em grande escala na construção de moradias.

Os dados de condutividade térmica, densidade, calor específico e absorptância adotados em ambos os materiais podem ser vistos na Figura 18 detalhe “a” e foram obtidos através dos anexos “A” e “B”.

Figura 18 - Telha de fibrocimento

Field	Units	Obj1
Name		Telha fibrocimento
Roughness		VeryRough
Thickness	m	0,006
Conductivity	W/m-K	0,95 “a”
Density	kg/m ³	2000
Specific Heat	J/kg-K	840
Thermal Absorptance		0,73

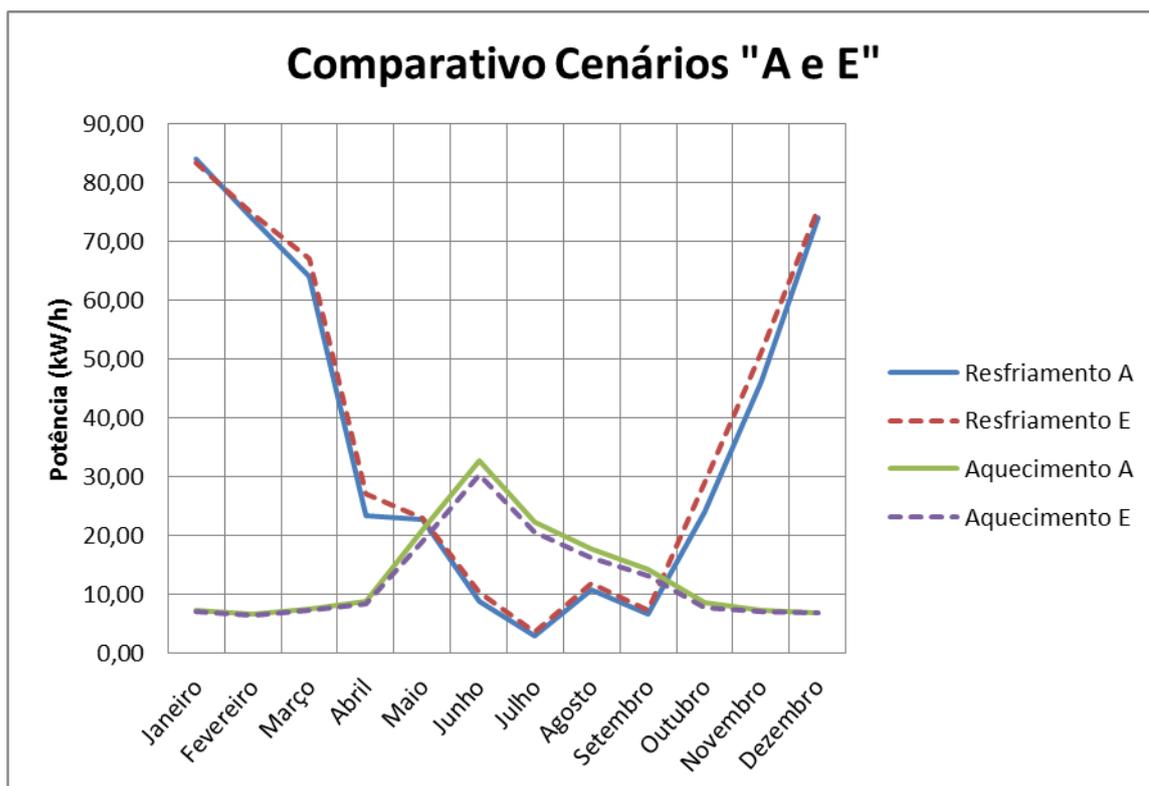
A Tabela 7 apresenta os dados de consumo durante os 12 meses do ano. Observa-se uma redução média de 6,1% na energia consumida para aquecimento e ao contrário dos outros cenários, um aumento de 8,3% na energia consumida para resfriamento. Pode-se constatar que a baixa espessura da telha de fibrocimento contribui para o baixo isolamento de calor pelo telhado.

Tabela 7 - Comparativo de consumo entre os cenários “A” e “E”

Comparativo entre os Cenários "A" e "E"						
	Cenário "A"	Cenário "E"		Cenário "A"	Cenário "E"	
	Energia Total para aquecimento (kW/h)	Energia Total para aquecimento (kW/h)	Dif. %	Energia Total para resfriamento (kW/h)	Energia Total para resfriamento (kW/h)	Dif. %
Janeiro	7,42	7,21	2,9%	84,14	83,34	1,0%
Fevereiro	6,75	6,56	2,9%	73,74	74,61	-1,2%
Março	7,64	7,41	3,1%	63,97	67,12	-4,7%
Abril	8,78	8,33	5,3%	23,35	27,03	-13,6%
Maio	21,01	19,09	10,1%	22,80	22,90	-0,4%
Junho	32,70	30,47	7,3%	8,95	10,39	-13,8%
Julho	22,32	20,68	7,9%	2,92	3,65	-20,1%
Agosto	17,68	16,20	9,1%	10,86	11,98	-9,4%
Setembro	14,32	13,17	8,8%	6,63	7,32	-9,5%
Outubro	8,54	7,78	9,8%	24,17	29,11	-17,0%
Novembro	7,32	7,11	3,0%	46,34	51,24	-9,6%
Dezembro	6,99	6,79	3,0%	74,15	75,63	-2,0%
			6,1%			-8,3%

Através do gráfico da Figura 19, é possível verificar um aumento na energia consumida para resfriamento no cenário "E" em praticamente todos os meses enquanto que a energia consumida para aquecimento teve uma pequena queda no período de abril a setembro.

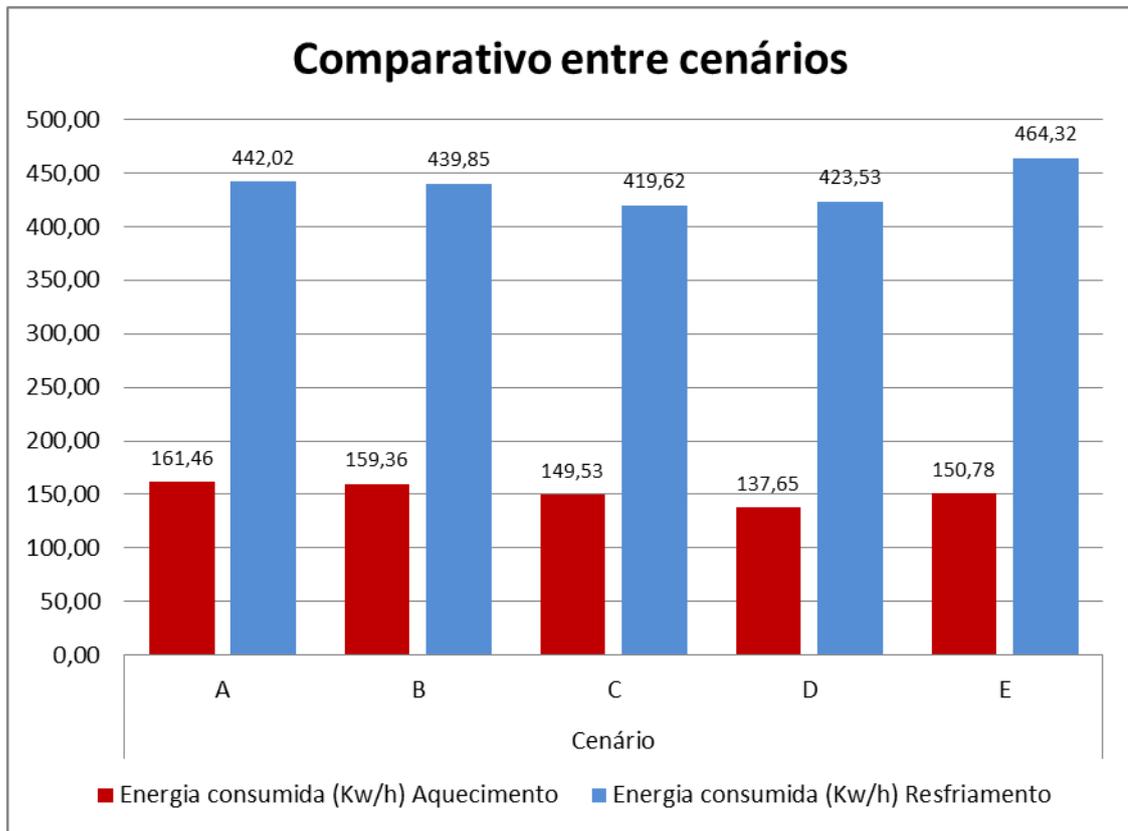
Figura 19 - Gráfico comparativo entre os cenários "A" e "E"



As simulações realizadas mostraram que a utilização da telha de cerâmica com a adição de isolante térmico sobre o telhado apresentou o melhor desempenho em comparação com os outros cenários simulados. A utilização da telha de fibrocimento por sua vez, apresentou uma pequena redução no consumo de energia para aquecimento e por outro lado apresentou um aumento no consumo de energia para resfriamento da residência.

O gráfico da figura 20 apresenta um comparativo entre todos os cenários propostos para simulação, e proporciona analisar todos os cenários juntamente, permitindo identificar o melhor resultado.

Figura 20 – Gráfico comparativo entre os cenários



Os resultados encontrados pelas simulações proporcionam, contudo, realizar análises de custo benefício entre as alternativas testadas, verificando se há viabilidade econômica.

Falando sobre os tempos de simulação, levando-se em conta as características do computador utilizado, os mesmos variaram de 30 á 45 segundos mostrando não ser uma tarefa dispendiosa.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho foi demonstrar através da utilização do software Energyplus a possibilidade de simular o comportamento energético de uma edificação. O Energyplus realiza simulações de consumo energético através do balanço de energia entre superfícies e ambientes utilizando teorias da transferência de calor pela condução, convecção e radiação.

Para reduzir o consumo energético de uma edificação, algumas ações podem ser tomadas, entre elas a utilização de novas tecnologias, materiais alternativos além de materiais mais sofisticados. Graças às ferramentas de simulação computacional existentes, é possível simular o consumo de energia da edificação antes mesmo de sua construção, o que poderá trazer uma economia na construção da mesma.

Desta forma, conclui-se que as ferramentas de simulação computacional existentes como o caso do Energyplus, contribuem significativamente para que toda edificação antes mesmo de ser construída possa ser testada e avaliada observando se os materiais utilizados em sua construção demonstram bom desempenho quanto ao isolamento térmico, proporcionando um bom desempenho energético.

Os materiais empregados na construção da edificação foram determinados através de observação real da residência e após, a mesma foi modelada com o software 3D a partir das características levantadas. Foram determinadas também, as cargas térmicas na residência através do levantamento dos equipamentos existentes na mesma, além do período de simulação.

Tendo em mãos as informações necessárias para iniciar a simulação, partiu-se para a execução da mesma através do software Energyplus, inserindo no mesmo o arquivo climático. Após o término da mesma, um arquivo com extensão *.html* foi gerado com os dados de consumo de energia. Estes dados foram compilados e comparados através de gráficos.

A utilização da telha de cerâmica com a adição de isolante térmico sobre o telhado proporcionou a maior redução no consumo de energia tanto para aquecimento como para resfriamento da residência. Entretanto, antes de se partir para a alteração prática é necessário que se faça uma análise de custo x benefício mostrando que o investimento realizado irá ser compensado pela economia de energia.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se a simulação dos níveis de iluminação de uma edificação, pois além da análise energética de equipamentos para aquecimento e resfriamento, o software Energyplus permite a esta análise. Desta forma, características como posição da residência, das aberturas, além de outras que influenciam no quesito consumo de energia para luminosidade poderiam ser testadas e avaliadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEN - **Balanco Energético Nacional. Relatório final.** Ano base 2012. Rio de Janeiro: EPE. 2013.

ÇENGEL, YUNUS; GHAJAR, J. AFSHIN. **Transferência de Calor e Massa: Uma abordagem Prática.** 4. Ed. – Porto Alegre: AMGH, 2012.

ENERGYPLUS, **Energyplus Energy Reference: The Reference to Energyplus Calculations,** 2013.

EPA, **What is a Green Building.** Agência de proteção ambiental dos Estados Unidos, 2012.

_____, **Why Build Green.** Agência de proteção ambiental dos Estados Unidos, 2012. Disponível em: <<http://www.epa.gov/greenbuilding/pubs/whybuild.html>>. Acesso em: 03 mar. 2014.

INCROPERA, Frank P.; DeWITT, David P. **Fundamentos de Transferência de Calor e Massa.** 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2003.

LBNL, **Getting started With EnergyPlus.** US Department of Energy, Version 5.0, USA, 2010.

MARTINEZ, M. F; ALVES, B. A; PEREIRA, L, A; BEYER, P, O. **Redução de consumo de energia elétrica através de conceitos Green Building.** [artigo científico]. UFRGS, 2009.

MENDES, N.; WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R.; NETO, J. A. B. **Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil.** Ambiente Construído. Porto Alegre. V.5,n.4. p 47-68, 2005.

NBR 15220: Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

POZZA, F. **Análise Térmica e Energética De Uma Edificação Residencial Climatizada Com Sistema De Fluxo De Refrigerante Variável – VRF.** 2011. Dissertação (Mestrado) – UFRGS, Porto Alegre, 2011.

SEH, **Sustentabilidade e inovação na habitação popular: o desafio de propor modelos eficientes de moradia / Governo do Estado de São Paulo.** Secretaria de Estado de Habitação – São Paulo, 2010.

SIEGEL, R.; HOWELL, J.R. **Thermal Radiation Heat Transfer.** 4th edition, Taylor & Francis, New York – London, 2002.

STRAND, R. K. et al. **“Modularization and simulation techniques for heat balance based energy and load calculation programs: the experience of the ASHRAE Loads Toolkit and Energyplus”.** Seventh International IBPSA Conference, Rio de Janeiro, August 13-15, pp. 43-50, 2001.

USDOE, EnergyPlus Energy Simulation Software. Departamento de Energia dos Estados Unidos, 2013. Disponível em: <<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus>>. Acesso em: 01 mar. 2014.

VELOSO, A. **Análise Comparativa do Desempenho dos Programas Domus e Energyplus**. 2012. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

ANEXO A

Absortância (α) para radiação solar e emissividade (ϵ) para radiação a temperaturas comuns.

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
Caiação 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	0,90
Verde escura	0,70	0,90
Vermelha	0,74	0,90
Preta	0,97	0,90

Fonte: ABNT, 2005, Parte 2.

ANEXO B1

Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c) para alguns materiais.

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 ~750 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	750-1000	0,35	0,84
com agregado leve (vermiculita ou perlita expandida)			
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, 2005, Parte 2.

ANEXO B2

Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c) para alguns materiais.

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
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) policloreto de vinila (PVC)	1200-1400	0,20	
Vidro			
vidro comum	2500	1,00	0,84

Fonte: ABNT, 2005, Parte 2.