

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
ALEXANDRE CIMA

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E DO CONFORTO TÉRMICO DE
UM EDIFÍCIO COMERCIAL**

CASCADEL - PR
2017

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

ALEXANDRE CIMA

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E DO CONFORTO TÉRMICO DE
UM EDIFÍCIO COMERCIAL**

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Professor Orientador: Me. Maurício Medeiros.

CASCADEL - PR

2017

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

ALEXANDRE CIMA

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E DO CONFORTO TÉRMICO DE UM
EDIFÍCIO COMERCIAL**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob orientação do Professor Me. **Maurício Medeiros**.

BANCA EXAMINADORA

Orientador Prof. **Me. Maurício Medeiros**.
Centro Universitário Assis Gurgacz
Eng. Agrícola

Professora: **Janaína Bedin**
Centro Universitário Assis Gurgacz
Arquiteta e Urbanista

Professora: **Me. Andrea Rezende Souza**
Centro Universitário Assis Gurgacz
Eng.^a Civil

Cascavel, 09 de novembro de 2017.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ser essencial em minha vida, autor de meu destino e meu eterno guia.

Ao meu pai, Rogério José Cima, por ter sido sempre um exemplo bárbaro, em termos de superação, amor e valores morais.

A minha mãe, Ivete Terezinha Simionatto Cima, por ser uma mãe dedicada, pelo amor e apreço que sempre teve pelos seus filhos.

A minha irmã, Camila Dileta Cima, pelo apoio prestado durante esta caminhada e por ser uma referência, em termos de esforço e dedicação.

Ao meu orientador, Me. Maurício Medeiros, pelo suporte, apoio e incentivo no pouco tempo que lhe coube.

A minha psicanalista, Dra. Adriana Domingues de Souza, por todo apoio, suporte, orientação e incentivo que me deu durante esta caminhada, sendo sempre um exemplo de profissional.

Ao meu avô de coração, Claudino Cerruti, *In Memoriam*, pelo papel que fez em minha vida, por ter sido um exemplo de amor, humildade e honestidade.

A minha avó de coração, Anita Dias Cerruti, que desde sempre me cuidou e deu amor, sendo um exemplo de força e dedicação.

As minhas duas madrinhas, Maria Lurdes Simionatto e Vilma Simionatto Magro, a minha tia, Nilse Simionatto Fistarol, que sempre estiveram presentes em todos os momentos de minha vida, das quais eu considero minhas segundas mães.

Ao meu primo, Jorge Luiz Simionatto Campagnoni, que me enche de alegria e motivação quando o vejo, o qual considero um irmão.

A minha fiel amiga, Fernanda Gonzatto Simonetto, que em todos esses anos de amizade nunca deixou de me apoiar e demonstrar o verdadeiro significado de amizade.

Ao meu amigo, Willian Richard Nunes Rancan, por todos os momentos de diversão e por todas as ocasiões que precisei de ajuda, amizade esta que irá muito além desta graduação.

A todos que de algum modo me incentivaram ou colaboraram com este trabalho.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo analisar dois cenários de uma edificação comercial, com diferentes materiais na sua envoltória por meio de simulações computacionais. O projeto da edificação, baseia-se em um edifício comercial de 3 pavimentos, com área de 1020,00 m², localizado no centro da cidade de Maringá – PR, contendo duas salas no pavimento térreo destinadas ao setor varejista, e duas salas em cada pavimento tipo, destinadas a escritórios. A ocupação da edificação foi definida pela NPT 011/2016, tendo a edificação classificada no grupo de ocupação “C”, definindo-se 1 pessoa para cada 5 m², quanto a iluminação e condicionamento artificial do ar, foram calculadas respectivamente pelos *softwares Lumisoft e Domus*, para que as informações obtidas fossem inseridas no *software EnergyPlus*. Para o primeiro cenário simulado, foi considerado paredes internas e externas de concreto armado maciço, portas e janelas de vidro 3mm incolor, isentas de técnicas artificiais de sombreamento, cobertura com telhas de zinco e iluminação artificial interna com lâmpadas fluorescentes. Para o segundo cenário foi considerado paredes externas de concreto armado maciço com isolamento duplo em EPS, para as paredes internas foi considerado o *Drywall*, portas e janelas do pavimento térreo, foi optado pela utilização de um vidro de alto desempenho com fator de redução de 43% da incidência solar, para as janelas dos pavimentos tipo, além da redução da área de vidro, foi optado por um vidro com fator de redução de 83% na entrada de calor, somado com técnicas de sombreamento artificiais, cobertura com telhas de zinco com isolamento em EPS e a utilização de lâmpadas de LED nos ambientes internos. Para uma verificação mais concreta da condição de conforto térmico dos usuários, foi utilizado o *software Thermal Comfort Tool*, inserindo dados a respeito do perfil e vestimenta dos mesmos. O primeiro cenário apresentou como resultado condições de conforto térmico impróprias para os usuários, chegando a temperaturas máxima interna de 42°C, enquanto a mínima registrada, foi de 9°C. No segundo cenário as temperaturas médias internas obtidas foram de 24°C, e mínimas de 15,5°C. Analisando ambos os cenários após as simulações, verificou-se uma melhor eficiência energética e conforto térmico no segundo cenário, reduzindo significativamente o consumo de energia com a redução na frequência de acionamento dos aparelhos de ar condicionado, resultante de um fluxo de calor menos intenso e coeso, por conta da envoltória formada por materiais isolantes e de grande desempenho térmico e energético. Obteve-se, também, uma redução de 55% no consumo de energia elétrica resultando da alteração das lâmpadas fluorescente para as de LED.

Palavras chave: Conforto térmico; Eficiência energética; *EnergyPlus*;

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Gráfico que relaciona o PMV ao PPD	19
Figura 2: As três fases da transmissão de calor em fechamentos opacos.....	23
Figura 3: Planta baixa pavimento térreo.....	34
Figura 4: Planta baixa pavimento tipo.....	35
Figura 5: Arquivo climático inserido no software.....	47
Figura 6: Divisão das zonas térmicas no pavimento térreo	38
Figura 7: Divisão das zonas térmicas no pavimento tipo	39
Figura 8: Configuração da temperatura referência para aparelhos de ar condicionado	40
Figura 9: Inserção de dados a respeito da ocupação na zona 1	42
Figura 10: Inserção de dados a respeito da ocupação na zona 2	42
Figura 11: Inserção de dados a respeito da ocupação na zona 4	43
Figura 12: Inserção de dados a respeito da ocupação na zona 7	43
Figura 13: Inserção de dados a respeito das atividades dos usuários	44
Figura 14: Modelo virtual da envoltória no Google Sketchup	45
Figura 15: Modelagem da envoltória da edificação no primeiro cenário no Domus	46
Figura 16: Modelo de luminária escolhida	47
Figura 17: Protótipo das paredes externas EPS – Concreto maciço - EPS	49
Figura 18: Modelagem após alterações na sua envoltória.....	51
Figura 19: Modelagem da envoltória da edificação no segundo cenário no software Domus.....	52
Figura 20: Luminária escolhida para o segundo cenário	53
Figura 21: Temperaturas máximas e mínimas na zona térmica 01 entre os meses de janeiro a abril.....	56
Figura 22: Temperaturas máximas e mínimas na zona térmica 02 entre os meses de janeiro a abril.....	56
Figura 23: Temperaturas máximas e mínimas na zona térmica 04 entre os meses de janeiro a abril.....	57
Figura 24: Temperaturas máximas e mínimas na zona térmica 07 entre os meses de janeiro a abril.....	57
Figura 25: Temperaturas máximas e mínimas na zona térmica 01 entre os meses de maio a agosto.....	59
Figura 26: Temperaturas máximas e mínimas na zona térmica 02 entre os meses de maio a agosto.....	59
Figura 27: Temperaturas máximas e mínimas na zona térmica 04 entre os meses de maio a agosto.....	60
Figura 28: Temperaturas máximas e mínimas na zona térmica 07 entre os meses de maio a agosto.....	60
Figura 29: Temperaturas máximas e mínimas na zona térmica 01 entre os meses de setembro a dezembro.....	62
Figura 30: Temperaturas máximas e mínimas na zona térmica 02 entre os meses de setembro a dezembro.....	63
Figura 31: Temperaturas máximas e mínimas na zona térmica 04 entre os meses de setembro a dezembro.....	63
Figura 32: Temperaturas máximas e mínimas na zona térmica 07 entre os meses de setembro a dezembro.....	65
Figura 33: Temperaturas máximas e mínimas na zona térmica 01 entre os meses de janeiro a abril.....	65

Figura 34: Temperaturas máximas e mínimas na zona térmica 02 entre os meses de janeiro a abril.....	65
Figura 35: Temperaturas máximas e mínimas na zona térmica 04 entre os meses de janeiro a abril.....	66
Figura 36: Temperaturas máximas e mínimas na zona térmica 07 entre os meses de janeiro a abril.....	66
Figura 37: Temperaturas máximas e mínimas na zona térmica 01 entre os meses de maio a agosto.....	68
Figura 38: Temperaturas máximas e mínimas na zona térmica 02 entre os meses de maio a agosto.....	68
Figura 39: Temperaturas máximas e mínimas na zona térmica 04 entre os meses de maio a agosto.....	68
Figura 40: Temperaturas máximas e mínimas na zona térmica 07 entre os meses de maio a agosto.....	69
Figura 41: Temperaturas máximas e mínimas na zona térmica 01 entre os meses de setembro a dezembro.....	71
Figura 42: Temperaturas máximas e mínimas na zona térmica 02 entre os meses de setembro a dezembro.....	72
Figura 43: Temperaturas máximas e mínimas na zona térmica 04 entre os meses de setembro a dezembro.....	72
Figura 44: Temperaturas máximas e mínimas na zona térmica 07 entre os meses de setembro a dezembro.....	72
Figura 45: Variação de temperatura nas zonas 1 e 2 de janeiro a dezembro.....	74
Figura 46: Variação de temperatura nas zonas 4 e 7 de janeiro a dezembro.....	75
Figura 47: Cálculo luminotécnico da zona térmica 1	76
Figura 48: Cálculo luminotécnico da zona térmica 2	76
Figura 49: Cálculo luminotécnico da zona térmica 4	77
Figura 50: Cálculo luminotécnico da zona térmica 7	78
Figura 51: Cálculo luminotécnico da zona térmica 1	80
Figura 52: Cálculo luminotécnico da zona térmica 2	81
Figura 53: Cálculo luminotécnico da zona térmica 4	82
Figura 54: Cálculo luminotécnico da zona térmica 7	82
Figura 55: Comparação de densidade de energia entre lâmpadas fluorescentes e de LED.....	84
Figura 56: Consumo de energia no primeiro cenário decorrente da utilização de aparelhos de ar condicionado.....	85
Figura 57: Consumo de energia no segundo cenário decorrente da utilização de aparelhos de ar condicionado.....	85
Figura 58: Consumo de energia decorrente da utilização de aparelhos de ar condicionado	86
Figura 59: Consumo de energia total em ambos os cenários	86
Figura 60: Condição de conforto térmico para a zona térmica 1 no primeiro cenário	87
Figura 61: Condição de conforto térmico para a zona térmica 4 no primeiro cenário	88
Figura 62: Condição de conforto térmico para a zona térmica 1 no segundo cenário	89
Figura 63: Condição de conforto térmico para a zona térmica 4 no segundo cenário	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Consumo de energia por classe (GWh).	22
Tabela 2: Absortividade em função da cor.	24
Tabela 3: Condutividade térmica de alguns materiais.	25
Tabela 4: Comportamento térmico de vidros segundo Riveiro (1986).	28
Tabela 5: Histórico climático da cidade de Maringa - PR.....	38
Tabela 6: Valores determinados para densidade de ocupação.	41
Tabela 7: Propriedades de materiais de construção.....	44
Tabela 8: Propriedades do vidro temperado.	45
Tabela 9: Propriedades de materiais de construção para o segundo cenário.....	48
Tabela 10: Propriedades do vidro laminado.	50
Tabela 11: Vestimentas com respectivos índices de resistência térmica.....	54
Tabela 12: Temperaturas internas e umidade relativa do ar consideradas em cálculo.....	54
Tabela 13: Densidade de iluminação dos ambientes do edifício no primeiro cenário.	78
Tabela 14: Densidade de iluminação dos ambientes do edifício no segundo cenário.....	82

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1:.....	19
Equação 2:.....	21
Equação 3:.....	21
Equação 4:.....	21

SUMÁRIO

1	CAPÍTULO 1.....	12
1.1	INTRODUÇÃO.....	12
1.2	OBJETIVOS.....	13
1.2.1	Objetivo Geral	13
1.2.2	Objetivos Específicos	13
1.3	JUSTIFICATIVA.....	13
1.4	FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	14
1.5	FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE	14
1.6	DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	14
2	CAPÍTULO 2.....	16
2.1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1.1	Eficiência Energética	16
2.1.2	Benefícios da eficiência energética em edificações.....	16
2.1.3	Necessidade de edificações energeticamente eficientes	17
2.1.4	Condições de conforto térmico aos usuários	18
2.1.5	Processo de projeto para edificações com eficiência energética	19
2.1.6	Consumo de energia.....	21
2.1.7	Consumo atual	21
2.1.8	Principais fontes de energia no Brasil.....	22
2.1.9	Demanda para os próximos anos	22
2.1.10	Desempenho térmico em edificações	23
2.1.11	Desempenho térmico das paredes.....	23
2.1.12	Desempenho térmico de coberturas.....	26
2.1.13	Desempenho térmico de janelas	28
2.1.14	Desempenho térmico de edificações com condicionamento artificial	29
2.1.15	Simulação computacional relacionada as certificações LEED.....	31
2.1.16	Quesitos normativos da NBR 15220/2005 e NBR 15575/2013	31

3	CAPÍTULO 3.....	33
3.1	METODOLOGIA	33
3.1.1	Tipo de estudo e local da pesquisa	33
3.1.2	Caracterização da amostra	34
3.2	INTRUMENTOS E PROCEDIMENTOS PARA COLETAS DE DADOS.....	36
3.2.1	Modelagem computacional da edificação	36
3.2.2	Modelagem da envoltória no Google SketchUp e subdivisão em zonas térmicas no EnergyPlus.....	37
3.2.3	Zoneamento bioclimático.....	37
3.2.4	Configuração do modelo no EnergyPlus	39
3.2.5	Configuração do modelo no Domus	40
3.2.6	Materiais construtivos da envoltória do primeiro cenário	44
3.2.7	Ganhos internos no primeiro cenário	46
3.3	Materiais construtivos da envoltória do segundo cenário	47
3.3.1	Alteração dos materiais de construção.....	47
3.3.2	Alteração dos vidros	49
3.3.3	Inclusão de técnicas de sombreamento artificial	50
3.3.4	Redução da área de vidro.....	50
3.3.5	Modelagem após as alterações propostas	50
3.4	Avaliação de potenciais ações para redução no consumo de energia.....	52
3.4.1	Ganhos internos no segundo cenário	52
3.4.2	Condições de conforto térmico aos usuários	53
4	CAPÍTULO 4.....	55
4.1	Resultados e discussões.....	55
4.1.1	Análise do conforto térmico no primeiro cenário	55
4.1.2	Análise do conforto térmico no segundo cenário	64
4.1.3	Análise comparativa do conforto térmico entre os cenários.....	73
4.1.4	Análise do consumo de energia decorrente da iluminação.....	75

4.1.5	Análise do consumo de energia decorrente dos aparelhos de condicionamento artificial do ar no mês de janeiro.....	83
4.1.6	Análise do consumo de energia total da edificação	86
4.1.7	Análise do conforto térmico dos usuários.....	87
5	CAPÍTULO 5.....	91
5.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS	91
6	CAPÍTULO 6.....	83
6.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	83
7	REFERÊNCIAS	93
8	APÊNDICE	95

1 CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

Concomitantemente, devido à crise do petróleo e a incertezas de abastecimento de energia, vive-se um período em que a eficiência energética das edificações está em evidência. Dessa forma, simulações e análises energéticas nas fases iniciais projeto são cada vez mais indispensáveis (LAMBERTS; DUTRA; PEIREIRA, 2014).

É preocupante o consumo excessivo de energia elétrica em estabelecimentos comerciais e residenciais, onde necessitam permanecer boa parte do tempo com luzes acesas e aparelhos de refrigeração em funcionamento. Infelizmente, vêm-se estes cenários com frequência no dia a dia, decorrentes de projetos não otimizados, fazendo assim, edificações ineficientes do ponto de vista energético.

Estudos de eficiência energética têm seu enfoque em edificações e nos aparelhos elétricos inseridos nas mesmas, especialmente os condicionadores de ar, no caso de edificações residenciais (MAZZAFERRO, 2013).

Para Lamberts *et al.* (2011), um edifício é considerado energeticamente mais eficiente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais de conforto ao seu usuário, porém com menor consumo de energia.

Aliado a eficiência energética, também vem sendo utilizado em projetos de edifícios energeticamente eficientes fontes alternativas de energia, como por exemplo, sistemas fotovoltaicos, contribuindo para projetos mais sustentáveis, além de proporcionar redução nos custos com energia elétrica.

Com este estudo, pretendeu-se comprovar uma melhor eficiência energética e o conforto térmico de uma edificação, através de simulações computacionais comparando dois cenários: (i) utilizando técnicas e materiais convencionais de construção, e (ii) utilizando conceitos, técnicas e materiais de eficiência energética.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar a eficiência energética e o conforto térmico de um edifício comercial a ser construído na cidade de Maringá– PR.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Simular por meio dos *softwares EnergyPlus e Domus* o consumo de energia elétrica e o conforto térmico do edifício comercial;
- Comparar o consumo de energia elétrica e o conforto térmico entre dois cenários: (i) utilizando técnicas e materiais convencionais de construção e (ii) utilizando conceitos, técnicas e materiais de eficiência energética;
- Verificar se há uma melhor eficiência energética no projeto após as alterações.

1.3 JUSTIFICATIVA

O elevado consumo de energia elétrica se dá muitas vezes pela falta de otimização do projeto, onde se considera, por exemplo, o posicionamento das aberturas, fator solar dos vidros e artifícios que possam promover sombreamento nas janelas, critérios estes que influenciam diretamente no nível de luminosidade e conforto térmico de um ambiente. Quando ajustados, consegue-se reduzir o tempo de funcionamento de luminárias e aparelhos de ar condicionado, tendo uma redução significativa no consumo de energia, o emprego destas técnicas pode trazer enormes benefícios, os quais estão relacionados a custos e sustentabilidade da edificação (KEELER & BURKE, 2010).

Este trabalho teve como objetivo apresentar diversos métodos e diferentes técnicas construtivas para um aproveitamento máximo das presentes condições que o entorno natural pode nos fornecer, como por exemplo, o sol e o vento.

É de extrema preocupação o consumo demasiado de energia elétrica, que só tende a aumentar nos próximos anos com o aumento da população. Com isso fica evidente a

necessidade de se optar por novos meios de sustentabilidade. Assim, escolas, hospitais e entre outros órgãos públicos poderiam estar incorporando esses novos meios, de modo que se promova uma nova cultura sustentável dentro da sociedade presente e futura.

1.4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

A alteração das características construtivas de um edifício comercial na cidade de Maringá-PR possibilitará uma melhor eficiência energética no mesmo?

1.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE

Empreendimentos ineficientes são mais decorrentes em edificações de padrão popular e médio, por falta de conhecimento e de informação da possibilidade de beneficiar o desempenho energético da mesma. A falta de incentivo governamental também está entre os motivos do atual cenário.

Quesitos como, posicionamento das aberturas, dimensões, fator solar dos vidros e inclusão de proteções solares, são pontos relevantes quando relacionados à eficiência energética de um imóvel, visto que, garantem luminosidade sem que haja grande fluxo de calor no ambiente, proporcionando maior conforto térmico e visual. O uso de lâmpadas dimerizáveis, por exemplo, pode acarretar uma economia de até 15% no consumo de energia elétrica quando comparadas com as lâmpadas fluorescentes, podendo ter uma vida útil bem superior se comparada aos demais modelos presentes no mercado.

1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa foi limitada a análise comparativa realizada, entre o cenário do edifício que conta com características construtivas convencionais e o outro que dispõe de técnicas e elementos que apresentam um melhor desempenho térmico. Estes cenários foram simulados e comparados a partir do projeto arquitetônico de um edifício de 3 pavimentos, e de grande demanda de energia elétrica, no centro da cidade de Maringá, Paraná.

A comparação foi realizada por meio de simulações computacionais, não ocorrendo testes laboratoriais e nem análise e coleta de dados em campo. Delimita-se à pesquisa a diferença de valores de consumo energético e de temperaturas internas decorrentes das alterações atribuídas ao projeto.

2 CAPÍTULO 2

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão abordados os assuntos relacionados ao desenvolvimento deste trabalho, o capítulo se divide em conceito de eficiência energética, consumo de energia, sistema fotovoltaico de energia e desempenho térmico em edificações.

2.1.1 Eficiência Energética

A eficiência energética na construção civil pode ser entendida como uma propriedade ligada à edificação, representando sua capacidade em garantir conforto térmico, visual e acústico aos seus usuários, com redução significativa no consumo de energia. Propriedade, a qual, só é possível se obter com a alteração de técnicas e elementos construtivos em uma edificação. Portanto, um edifício é mais eficiente energeticamente quando apresenta as mesmas condições ambientais de outra edificação qualquer, com menor consumo de energia (KEELER & BURKE, 2010).

2.1.2 Benefícios da eficiência energética em edificações

Na maioria das vezes que se pensa em aumento da eficiência energética em edificações, relaciona-se com o custo benefício em longo prazo. Na prática, além de ter prós a quesitos relacionados a questões financeiras, têm-se, também, vantagens de maior relevância, como, conforto térmico, visual e acústico, assim, melhorando a qualidade de vida das pessoas, proporcionando o aumento de produtividade das mesmas (MACKRES, 2016).

Segundo Mackres (2016), aperfeiçoar a eficiência energética das edificações é uma estratégia muitas vezes deixada de lado diante das constantes transformações urbanísticas, que poderiam ajudar a amenizar muitos dos problemas que as cidades e a sociedade enfrentam, como por exemplo, das mudanças climáticas aos problemas de saúde pública, do desemprego à pobreza.

Edifícios são grandes e longevos investimentos. É garantido um melhor retorno financeiro em prédios que seus devidos projetos são direcionados para o aumento da eficiência energética. Pelo mundo, edifícios e construções são responsáveis por 60% do uso de eletricidade, 12% do uso de água, 40% do lixo e 40% dos recursos materiais. Cada um desses fatores tem um custo, mas cada melhoria em eficiência energética retira gastos das cidades e da sua população. Por exemplo, cada US\$ 1 investido em eficiência energética poupa o gasto de US\$ 2 com o fornecimento de energia. A economia gerada pela eficiência libera dinheiro para outros investimentos (MACKRES, 2016).

Empreendimentos eficientemente energéticos são edificações que, diferente dos tradicionais, fazem os recursos no entorno trabalhar a favor do conforto térmico, acústico e visual dos usuários do mesmo, com significativa redução no consumo de energia. Evitando o custo de alguns meios, para que possam ser injetados em outros de maior relevância (LAMBERTS, *et al.*, 2010).

Edifícios eficientes em energia reduzem a poluição do ar internamente, pois oferecem combustão limpa e melhor ventilação do que os convencionais. Por usarem menos energia, também cooperam para a redução da poluição do ar externo. Reduzir a poluição do ar interno e externo dos edifícios pode reduzir o número de casos de doenças, como asma e câncer de pulmão, assim como reduzir as mortes prematuras. Isso não apenas salva vidas, como ainda reduz os custos na área da saúde. O aumento da produtividade também é um quesito relevante, com ambientes de ventilação e iluminação natural, tende deixá-los mais agradáveis e propícios ao bem estar dos usuários que ali estão. (MACKRES, 2016).

2.1.3 Necessidade de edificações energeticamente eficientes

Por que se preocupar com a energia consumida para operar as edificações em que se vive, trabalha e se diverte? Há quatro razões principais. Primeiramente, os combustíveis usados para gerar energia são, em sua maioria, não renováveis e suas reservas não durarão para sempre. Em segundo lugar, os depósitos de gás natural – o combustível fóssil mais limpo atualmente em uso generalizado – são limitados e, na maior parte, se encontram em áreas de grande instabilidade política. Em terceiro lugar, a demanda por combustível nos mercados globais continua crescendo, mas os níveis de produção podem cair e levar ao aumento dos preços. Em quarto lugar, o carvão mineral (o recurso energético mais abundante nos Estados Unidos, cuja queima é responsável pela maior parte da eletricidade disponível no país) emite gases para a

atmosfera, contribuindo para a alteração radical do clima do planeta (KEELER & BURKE, 2010).

Segundo Keeler & Burke (2010), na América do Norte, o uso das edificações é diretamente responsável por um terço de toda a energia consumida e por mais de 60% do consumo de eletricidade. No início do século XXI, as edificações situadas nos Estados Unidos eram responsáveis por quase 10% do consumo global de energia. Caso incluam-se as atividades industriais que produzem os recursos usados na indústria da construção, o impacto das edificações com consumo de energia será considerável.

É de extrema importância compreender a posição central que o projeto e as instalações das edificações desempenham na definição do futuro em termos de energia. Perceber a necessidade da implantação de novos conceitos, novas técnicas em fase de projeto, que influenciarão no aumento da eficiência energética como um todo (MAZZAFERRO, 2013).

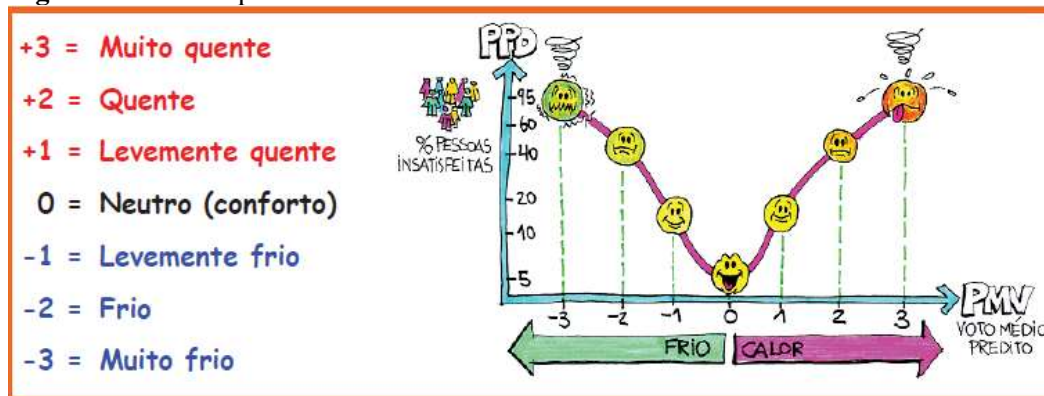
2.1.4 Condições de conforto térmico aos usuários

Segundo Lamberts, *et al.* (2010), o conforto térmico de um indivíduo está relacionado com a temperatura do ar, temperatura radiante, umidade relativa do ar, velocidade do ar, atividade física, vestimenta, metabolismo e sexo.

Segundo Lamberts, *et al.* (2010), o conforto térmico sempre foi um conceito subjetivo, pois diversos são os fatores e variáveis que influenciam no bem-estar térmico do homem no meio em que se encontra. Entre diversas tentativas de pesquisadores de buscar enquadrar este conceito de forma simplificada destaca-se o voto médio predito (PMV), do qual consiste em um valor número que traduz a sensibilidade humana ao frio e ao calor, levando em consideração a temperatura radiante média, velocidade do ar, umidade relativa, temperatura do ar, atividade física e vestimenta.

A partir daí, foi implementado o conceito de Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas (PPD do inglês *predicted percentage of dissatisfied*). A Norma ISO 7730 de 2005 adota as pesquisas de Fanger, recomendando que em espaços de ocupação humana termicamente moderados o PPD deve ser menor que 10%, para o conforto térmico o PMV é zero, para o frio é negativo e para o calor é positivo conforme Figura 01. (LAMBERTS, *et al.*, 2010).

Figura 1: Gráfico que relaciona o PMV ao PPD



Fonte: Eficiência Energética na arquitetura (2010)

2.1.5 Processo de projeto para edificações com eficiência energética

Projeto integrado de edificações é a maneira prática de projetar de maneira sustentável, visto que, projeto sustentável e projeto integrado devem ser entendidos como correspondentes. Antigamente, os projetos sustentáveis eram vistos como duvidosos em relação aos termos de viabilidade, nos dias de hoje o mesmo é notado como uma referência de projeto e edificação consolidado, que trás com si sua história – e o projeto integrado é resultante de sua evolução, pois é um tema que orienta a tomada de decisões quando diz a respeito a de consumo de energia, recursos naturais e a qualidade de vida ambiental, ou seja, uma edificação integrada é uma edificação sustentável (KEELER & BURKE, 2010).

Pode não ser possível obter um desempenho térmico satisfatório apenas com os recursos naturais do entorno de uma edificação situada em regiões climáticas muito severas, mas com certeza é possível reduzir ao máximo os efeitos não desejados que esses recursos proporcionam, ou seja, maximizar o desempenho térmico e a eficiência energética da edificação, fazendo com que se reduza o consumo de energia proveniente dos equipamentos de refrigeração ou aquecimento (FROTA & SCHIFFER, 2007).

Como mencionado anteriormente, é possível maximizar o desempenho térmico e a eficiência energética de uma edificação mesmo estando em condições climáticas severas, para isso, tem-se um processo de projeto que deve ser seguido para o objetivo esclarecido.

2.1.5.1 Propósito

Esboçar as expectativas está entre os primeiros passos para a elaboração de um projeto autossustentável. É fundamental determinar se a edificação atenderá aos padrões mínimos estabelecidos pelas normas de desempenho, ou se adequará para sobrelevar os mesmos, para tanto, os critérios a serem seguidos devem ser realistas e rigorosos o bastante para criar um desafio e cumprir com a intenção do projeto. A priorização de metas, também é importante, pois tem o fim de ajudar o projetista e o cliente a compreender o que tem maior relevância, o que pode ser descartado e quão flexível são as propostas (KWOK & GRONDZIK, 2013).

2.1.5.2 Estudos preliminares

É necessário que o projetista olhe o terreno bem de perto, como também, de longe. É preciso fazer a leitura do terreno e compreender com aquilo que é aparente, invisível e efêmero. Dados como velocidade do vento e insolação, geralmente, são encontrados de forma sucinta na internet ou em livros. Outros como níveis de ruídos e padrões de circulação devem ser observados e coletados no local (KWOK & GRONDZIK, 2013).

2.1.5.3 Definidores da forma

Os quesitos de iluminação natural e a insolação devem ser bem compreendidos. As janelas devem ser cuidadosamente dimensionadas e posicionadas para que se tenha um equilíbrio na quantidade correta de luz, para isso, é necessário que se conheça os níveis de iluminação apropriadas para as funções e necessidades que serão exercidas no local, em seguida testar e avaliar utilizando modelos de simulação de iluminação natural ou outras ferramentas, até mesmo, as cartas solares que expressam o percurso aparente do sol (KWOK & GRONDZIK, 2013).

2.1.5.4 Organização e sistemas do edifício

A organização da edificação pode aumentar a iluminação no inverno, coletar e apontar o vento, e proporcionar sombreamento. A forma e o formato da edificação são eficientes a modo de orientar o fluxo dos fenômenos naturais. A organização está diretamente ligada à vedação e ao isolamento que possuirá no edifício. Portanto, a idealização do projeto deve ser constantemente revisada ao decorrer do seu andamento, e fundamentada em um processo rigoroso quanto a escolha e ao comportamento dos seus respectivos materiais para vedações e isolamento. O desempenho exercido pelas vedações do edifício, podendo ser elas, paredes, coberturas, pisos ou aberturas, juntamente com os sistemas mecânicos, é essencial na hora de proporcionar conforto térmico e visual, visto que, com as vedações bem isoladas o projetista pode aperfeiçoar ainda mais o dimensionamento dos sistemas mecânicos para controle ambiental (KWOK & GRONDZIK, 2013).

2.1.6 Consumo de energia

Segundo Santana *et al.* (2008), atualmente, o principal apontador de quesitos, como desenvolvimento econômico e nível de qualidade de vida de qualquer sociedade, é o consumo de energia elétrica. O mesmo condiz, tanto ao ritmo de atividade dos setores industrial, comercial e de serviços, quanto à capacidade da população para adquirir bens e serviços tecnologicamente mais desenvolvidos, como automóveis, dos quais demandam combustíveis, eletrodomésticos e eletroeletrônicos, que exigem acesso a rede elétrica e impõe do consumo de energia elétrica.

2.1.7 Consumo atual

De acordo com a EPE - Empresa de Pesquisa Energética – (2016), a quantidade consumida de energia elétrica por classe, entre os anos de 2011 a 2015, conforme Tabela 1.

Tabela 1: Consumo de energia por classe (GWh)

	2011	2012	2013	2014	2015	$\Delta\%$ (2015/2014)	Part.% (2015)
Brasil	433.015	448.177	463.134	474.823	465.203	-2,0	100
Residencial	111.971	117.646	124.908	132.302	131.295	-0,8	28,2
Industrial	183.576	183.475	184.685	179.106	168.854	-5,7	36,3
Comercial	73.482	79.226	83.704	89.840	90.893	1,2	19,5
Rural	21.027	22.952	23.455	25.671	25.900	0,9	5,6
Poder púb.	13.222	14.077	14.653	15.354	15.186	-1,1	3,3
Iluminação pública	12.478	12.916	13.512	14.043	15.334	9,2	3,3
Serv. Pub.	13.983	14.525	14.847	15.242	14.730	-3,4	3,2
Próprio	3.277	3.360	3.371	3.265	3.011	-7,8	0,6

Fonte: EPE (2016)

2.1.8 Principais fontes de energia no Brasil

Segundo o Balanço Energético Nacional – BEN – (2016), 41,2% da energia gerada no Brasil provém de fontes renováveis. Aproximadamente 17% da energia gerada de fontes renováveis originam-se da biomassa da cana de açúcar, seguindo com 11,3% das hidrelétricas, 8,2% do carvão vegetal e por fim 4,7% das usinas eólicas, entre outras. A parcela correspondente a 58,8% do total de energia produzida no Brasil provém de fontes não renováveis, sendo 37,3% do petróleo e derivados, 13,7% do gás natural, 5,9% do carvão mineral, 1,3% do urânio e 0,6% de outras fontes não renováveis.

2.1.9 Demanda para os próximos anos

Um estudo de demanda realizado pela EPE (2015) analisou o consumo energético referente aos anos de 2014 e 2015, junto foi analisado o cenário econômico e o cenário demográfico, assim foi estabelecido previsões de consumo energético para os anos de 2016 a 2020. Após as análises foi previsto um aumento de 4% ao ano no consumo geral de energia elétrica.

2.1.10 Desempenho térmico em edificações

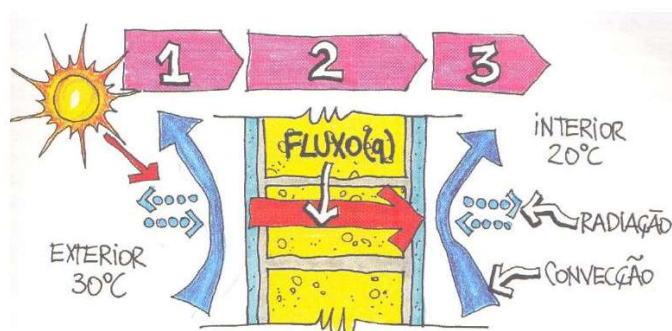
Os artifícios que envolvem uma edificação são os encarregados da divisão dos ambientes internos com o meio externo, por isso as propriedades de cada um são de extrema importância para o estudo das trocas de energia (luz ou calor) (MAZZAFERRO, 2013).

2.1.11 Desempenho térmico das paredes

Para que se tenha troca de calor é necessário, basicamente, que haja diferença de temperatura do meio interno e do externo, ou seja, o sentido deste fluxo será do meio com maior temperatura para o de menor temperatura. No caso de paredes de edificações, este fluxo pode variar, podendo ser do meio externo para o interno, como do interno para o externo. Quanto maior a variação dessas temperaturas, maior será a intensidade desse fluxo (MAZZAFERRO, 2013).

Para um melhor entendimento do fenômeno das trocas de calor, pode-se subdividi-lo em três fases (Figura 2).

Figura 2: As três fases da transmissão de calor em fechamentos opacos



Fonte: Eficiência Energética na arquitetura (2010)

2.1.11.1 Fase 1 – Troca de calor com o meio exterior

Conforme Figura 1, nota-se que a superfície externa receberá calor por convecção e radiação, caracterizando a primeira fase da transmissão de calor. A radiação incidente na parede

terá uma parcela refletida e outra absorvida, isso dependerá exclusivamente do valor da refletividade (ρ) e da absortividade (α), conforme Equação 1.

$$\alpha + \rho = 1 \quad (1)$$

Onde:

ρ - Refletividade

α - Absortividade

A principal determinante desta característica é em função da sua cor superficial. Onde a absortividade (α) varia de 0,2 a 0,9, conforme Tabela 2.

Tabela 2: Absortividade em função da cor

CORES	α
Escuras	0,7 A 0,9
Médias	0,5 A 0,7
Claras	0,2 A 0,5

Fonte: Lamberts (2010)

Por exemplo, se a absortividade de uma cor for de 0,8, significa que 80% da energia sobre ela será absorvida e 20% refletida (LAMBERTS, *et al.*, 2010).

2.1.11.2 Fase 2 – Condução através do fechamento

Com o aumento da temperatura externa, haverá um diferencial entre a temperatura da superfície interna, fazendo assim com que se tenha troca de calor entre as mesmas. Nessa fase, a troca será por condução, desse modo, dependerá exclusivamente da condutividade térmica (λ), propriedade que depende da densidade do material que compõe a parede, da qual representa sua capacidade de conduzir calor por unidade de tempo, conforme Tabela 3 (LAMBERTS, R. *et al.*, 2010).

Tabela 3: Condutividade térmica de alguns materiais

MATERIAL	λ (W/mK)
Concreto	1,50
Tijolo	0,65
Madeira	0,14
Isopor	0,03

Fonte: Lamberts (2010)

Quanto maior o valor de λ , maior será a quantidade de calor transferido entre as superfícies. Outra variável relevante neste processo é a espessura da parede ou do fechamento, através da mesma, pode se calcular o valor da resistência térmica, ou seja, propriedade do material à resistir a troca de calor, conforme Equação 2 (LAMBERTS, R. *et al.*, 2010).

$$R = L/\lambda \text{ [m}^2 \text{ K/W]} \quad (2)$$

Onde:

R – Resistência térmica [m² K/W]

λ – Condutividade térmica [W/m K]

L – Espessura do fechamento [m]

2.1.11.3 Fase 3 – Troca de calor com meio interior

Como mencionado anteriormente, cada uma das camadas de distintos materiais terão sua própria resistência térmica. Assim, o inverso da soma de todas as resistências térmicas resultará na transmitância térmica daquele fechamento opaco, sendo este o ponto mais relevante deste estudo, pois através dessa variável se pode avaliar o comportamento do mesmo (Equações 3 e 4) (LAMBERTS, R. *et al.*, 2010).

$$RT = Rse + R1 + R2 + Rn + Rsi \quad (3)$$

Onde:

RT – Resistência térmica total [m² K/W]

Rse – Resistência térmica externa [m² K/W]

R_{si} – Resistência térmica interna [$m^2 K/W$]

$$U=1/RT \text{ [W/m}^2\text{K]} \quad (4)$$

Onde:

U – Transmitância térmica [$W/m^2 K$]

RT – Resistência térmica total [$m^2 K/W$]

2.1.12 Desempenho térmico de coberturas

Um estudo realizado por Vieira *et. al.* (2010) avaliou o desempenho térmico de coberturas em telhas de aço em galpões na cidade de Cuiabá, Mato Grosso, local onde se encontra um clima tropical e úmido. A necessidade de se proteger termicamente nos galpões é de extrema relevância, pois afetam diretamente a produtividade dos colaboradores que ali exercem suas funções. O galpão utilizado para o estudo tem área de 1200,00m² com pé-direito de 7,00m. A implantação foi determinada de acordo com a orientação mais desfavorável sugerida pelo *software* utilizado, o ECOTECT, tendo em vista a média diária da radiação incidente em superfícies verticais.

Para o estudo realizado por Vieira *et. al.* (2010), foram considerados fechamentos verticais em alvenaria, piso em concreto e uma porta com 20,00 m² de área, sendo que não foi considerado que se usaria condicionamento térmico artificial. No estudo foram analisados os seguintes materiais isolantes para cobertura: Poliuretano jateado (PU), a manta refletiva aluminizada e a manta de lã de rocha. Após as análises, conclui-se que o poliuretano jateado foi o material mais viável dentre os outros especificados. O mesmo apresentou o melhor desempenho térmico, ainda que apresentasse o custo mais elevado, sua aplicabilidade e estética fazem com que seja o isolamento mais utilizado.

Um estudo elaborado por Oliveira *et. al.*, (2016) procurou determinar qual o tipo de cobertura que melhor atende aos requisitos de desempenho térmico de edificações. Para isso, foi comparado três tipos de coberturas, sendo elas: Telha cerâmica, telha de fibrocimento e o telhado verde.

Segundo Ching (2010), o telhado verde consiste na plantação de vegetação em um solo preparado sobre uma membrana de impermeabilização. Para a análise comparativa foram obtidos os dados de acordo com a literatura dos materiais especificados. Após a análise, foi constatado que o telhado verde é o mais eficaz em isolamento térmico, amplitude térmica, economia de energia e proteção dos demais componentes do sistema de cobertura. Verificou-

se que o telhado verde tem o custo mais elevado para sua implantação, pois depende de mão de obra especializada e necessita de mais elementos para sua composição, porém todos esses custos podem ser compensados com os benefícios que o mesmo irá proporcionar à edificação e aos usuários.

Pessoas e famílias morando em barracos ou em casas de alvenaria cobertos com telhas de cimento amianto é um cenário muito comum no Brasil. O maior ganho térmico em edificações provém da cobertura, especialmente coberturas com a ausência de forros.

Um experimento desenvolvido por Krüger *et. al.*, (2006) procurou analisar o ganho de carga térmica proveniente da cobertura comparando as seguintes situações: Cobertura de cimento amianto sem forro e com a utilização de isolamento constituído de mantas Tetra Park abertas; com mantas reflexivas do tipo foil; e com placas de EPS (*expandable polystyrene* – isopor). Após os testes, foi verificado que se obteve resultados mais vantajosos no uso do EPS para o controle das temperaturas mais altas, ou seja, para as máximas diárias.

Como resultados do experimento desenvolvido por Krüger *et. al.*, (2006), a cobertura com o isolamento em manta Tetra Park com a face aluminizada voltada para a telha teve um melhor desempenho no controle das temperaturas mínimas diárias, resultante do efeito da baixa emissividade da face aluminizada junto com a capacidade de isolamento térmico da própria. No caso da manta Tetra Park com a face aluminizada voltada para o interior do protótipo, verificou-se que os resultados se assimilam com os da manta foil. Notou-se para a manta foil uma boa eficácia para o efeito de amortecimento, tanto no frio como no calor, consequente do uso adequado do alumínio como material de baixa emissividade de radiação de onda longa e de isolante térmico.

A cobertura de uma edificação tem grande papel quando relacionada ao ganho de cargas térmicas, fazendo com que se torne relevante à tomada de decisões no momento da escolha da mesma. São inúmeras as opções de isolamento térmico de coberturas que podem ser encontradas no mercado, ou até mesmo a adoção de técnicas não muito comuns no Brasil, como os telhados verdes, que apesar do elevado custo, se tornam viáveis ao longo do tempo, pois possibilita uma grande redução no consumo de energia, tanto no verão quanto no inverno, promovendo tanto conforto térmico aos usuários como um ambiente mais natural e sustentável (MAZZAFERRO, 2013).

2.1.13 Desempenho térmico de janelas

Segundo Mazzaferro (2013), diferentemente dos fechamentos opacos que absorvem e refletem parcelas de calor que em si incidem, os fechamentos transparentes, ou seja, os vidros, absorvem, refletem e transmitem parcelas que radiação solar. Existem vários tipos de vidros, cada um com seus respectivos índices de absortividade (α), refletividade (ρ) e transmissividade (σ). A soma dos três índices deve ser igual a 1. Segundo a Tabela 4 é possível verificar as propriedades térmicas de alguns tipos de vidros existentes.

Tabela 4: Comportamento térmico de vidros segundo Riveiro (1986)

Tipo de vidro	σ	α	ρ
Comum	0,85	0,07	0,08
Absorvente claro	0,52	0,41	0,07
Absorvente médio	0,31	0,63	0,06
Absorvente escuro	0,09	0,86	0,05
Refletor médio	0,25	0,42	0,33

Fonte: Lamberts *et al.*, (2010)

Segundo Lamberts (2010), a orientação e as dimensões da abertura irão estabelecer sua exposição ao sol. Quanto maior forem as dimensões da abertura, consequentemente maior será a quantidade que poderá adentrar ou sair do ambiente. Os vidros possuem alta transmitância térmica (U), ou seja, são excelentes condutores de calor, porém, são os únicos materiais na construção civil duráveis, com capacidade de controlar significativamente e de forma racional a radiação solar, ou melhor, tanto a luz como o calor.

Bojic e Yik, (2007) realizaram uma simulação utilizando o programa *EnergyPlus*. Os autores visavam verificar a energia que poderia ser poupada utilizando novas técnicas de envidraçamento em arranha-céus de Hong Kong. O estudo foi fundamentado no projeto padrão de prédio residencial, conhecido como *Harmony Block*, o mais propagado em Hong Kong.

Segundo Bojic e Yik, (2007), o clima predominante em Hong Kong é subtropical, com invernos frios e verões quentes e chuvosos. A redução do consumo de energia elétrica destinada à refrigeração foi examinada para quatro tipos de vidro: Vidro simples de baixa emissividade, vidro simples de baixa emissividade reversível, vidro duplo e vidro duplo de baixa emissividade. A economia anual de energia utilizada para o resfriamento de um pavimento tipo teve as seguintes porcentagens para os respectivos tipos de vidro, 4,2% para o primeiro, 1,9% para o segundo, 3,7% para o terceiro e até 6,6% para o último tipo de vidro.

Para a avaliação realizada por Bojic e Yik, (2007), foram considerados somente cômodos que são condicionados artificialmente, como sala e os quartos, excluindo cozinha, banheiros e área de serviço, onde foram mantidos vidros comuns, pelo fato de serem cômodos não condicionados. Obteve-se, como conclusão, que apenas o vidro simples de baixa emissividade é considerável ao ponto de vista de custo-benefício. Outras técnicas de envidraçamento seriam inviáveis decorrentes do alto custo de compra e instalação.

2.1.14 Desempenho térmico de edificações com condicionamento artificial

Segundo Costa (2004), o condicionamento de ar é o processo pelo qual a temperatura, a umidade, a movimentação e a pureza do ar são controlados simultaneamente em ambientes fechados.

Segundo Lamberts *et al.* (2011), sistemas artificiais para resfriamento ou aquecimento são estratégias a serem consideradas desde a decisão sobre o partido arquitetônico a ser adotado. O uso de climatização ativa é de certo modo obrigatório, pois a falta da mesma pode significar, em determinados casos, perda de clientes, baixa produtividade e principalmente o desconforto térmico. Assim, é de extrema importância que o projetista saiba empregar esses sistemas em seus projetos.

Segundo Roaf *et al.* (2009), no ano de 1966, em Londres, eram poucas as edificações que contavam com um sistema de climatização mecânica. Naquela época o condicionamento de ar não era considerado necessário no local.

Uma pesquisa desenvolvida por Arnold (1966) procurou saber, através dos trabalhadores dos escritórios, as condições de trabalho que poderiam ser otimizadas nos escritórios futuros, por meio de um levantamento feito de uma experiência nas edificações climatizadas em Londres. Os resultados obtidos mostrou que a maioria dos trabalhadores citou que ambientes climatizados eram mais silenciosos e limpos, e que eram preferíveis em climas quentes em edificações com ventilação natural, já em climas amenos, os edifícios com climatização artificial, eram de certa forma, menos desejáveis do que edifícios com climatização natural. Pouco tempo depois, um estudo foi publicado constatando como o mercado de escritórios estava crescendo na década de 60.

Um ensaio desenvolvido por Loudon (1968) indicou um problema que estava se tornando comum, o superaquecimento dos edifícios, resultante da instalação de enormes

vidraças nas fachadas. Era cada mais comum a construção de edifícios leves, que substituíam os tradicionais mais pesados.

Um levantamento realizado por Grey e Corlett (1948), indicou que nos escritórios construídos antes da Segunda Guerra Mundial, a área das janelas correspondia a apenas 20% da área do piso e cerca de 90% dos usuários almejavam luz natural em seu ambiente de trabalho, enquanto apenas 9% se preocupavam com o calor excessivo.

Outro levantamento realizado por Loudon e Keighley (1961) analisou os escritórios construídos após a Segunda Guerra Mundial, onde o cenário mudou muito em relação ao último levantamento realizado, 40% dos usuários sofriam com o calor excessivo, resultante do aumento de 50% na área das janelas, além disso, as paredes internas eram leves e finas, contribuindo para o rápido aquecimento. O estudo concluiu que em edificações tradicionais, consideradas pesadas poderiam ter até 50% de suas paredes externas envidraçadas, porém contando com um sistema de controle de insolação. As edificações com paredes e lajes leves, deveriam ter no máximo 20% de área de vidro em suas paredes externas, sem sombreamento e voltadas para o sul. Caso houvesse a necessidade da inclusão de maior área de vidro por questões de iluminação, esse excesso deveria ser ressarcido com condicionamento de ar, mas essa deveria ser a última opção, por conta do alto custo de instalação e funcionamento.

2.1.14.1 Desempenho térmico de edificações sem condicionamento artificial

Segundo Kwol e Grondizik (2013) o método mais eficaz de se reduzir o consumo de energia na refrigeração mecânica é excluir sua necessidade por meio de um projeto conciliado ao clima local. Mas nem sempre isso é possível, estratégias adotadas em projeto podem reduzir drasticamente o tempo de uso e dimensionamento destes aparelhos, fazendo com que se tenha uma redução significativa no consumo de energia elétrica.

Segundo Lamberts *et al.* (2011), a ventilação natural ocorre por diferença de pressão no ar, podendo ser resultante da ação dos ventos ou da diferença de temperatura do ar. Além desses dois fatores, é necessário, também, que haja um posicionamento adequado das aberturas na edificação para que se tenham correntes de ar no meio interno da mesma.

Papst e Lamberts (2012) compararam o desempenho térmico de três dormitórios naturalmente ventilados de uma residência em Florianópolis - SC, para isso, eles realizaram durante nove medições de temperatura de bulbo seco, onde os dormitórios diferenciavam entre

si em orientação, inércia térmica e dimensões. Para poder comparar os ambientes, foi utilizado o método dos graus hora e horas de desconforto. Dentre as simulações, foi analisada a situação onde a temperatura se encontrava na base de 27°C, o ambiente que apresentou o pior desempenho térmico foi o dormitório 3, pois possui aberturas na orientação oeste, tinha relativos ganhos térmicos pela cobertura e possuía pouca inércia térmica. O dormitório 2 teve o melhor desempenho energético, pois possui a principal abertura voltada para o norte, não tem ganhos térmicos provenientes da cobertura e inércia térmica advinda da pedra. O dormitório 1 apresentou quantidade de horas com temperaturas acima da base de 27°C, inferiores aos outros ambientes e ao ambiente externo, além de ter tido um grau médio inferior aos outros ambientes, não chegando a 0.2°C acima de 27°C.

2.1.15 Simulação computacional relacionada as certificações LEED

Segundo Fraianeli, 2014, o benefício imediato trazido pela simulação computacional, é que a simulação pode trazer as melhores soluções em termos de engenharia. Os diversos sistemas como iluminação, ar condicionado e até mesmo o impacto da envoltória, são bastante complexos para cálculos manuais. No fundo, o processo de simulação fará os mesmos cálculos que um humano faria para escolha dos melhores sistemas, com a diferença de que poderá fazer cálculos com alta precisão para cada hora do ano, sem aproximações ou simplificações.

Segundo Fraianeli, 2014, a simulação é a principal ferramenta do crédito de maior pontuação da certificação LEED. Além disso, também é possível reduzir custos do desenvolvimento do empreendimento, pois o próprio processo de cálculo, quando introduzido no início da etapa de projeto, poderá ser também benéfico para reduzir o tempo e o esforço gasto nesta etapa, trazendo não apenas a melhor solução, mas também em um tempo menor.

2.1.16 Quesitos normativos da NBR 15220/2005 e NBR 15575/2013

Foi desenvolvida a primeira norma de desempenho térmico no Brasil, a NBR 15220/2005 que estabelece critérios de acordo com parâmetros adequados à realidade brasileira. Posteriormente, em razão, da limitação da primeira norma em atender somente edificações unifamiliares de interesse social, foi publicada uma nova norma, a NBR 15575. Esta

estabelece requisitos mínimos de vida útil e de garantia para os sistemas que compõem as edificações. (SORGATO, M, J.; MELO, A. P. e LAMBERTS, R., 2013).

Segundo a NBR 15575, 2013, a edificação deve reunir características que possam atender às exigências de desempenho térmico, considerando a zona bioclimática em que está inserida, avaliada sob as condições naturais da edificação. Neste sentido, a Norma de Desempenho estabelece dois procedimentos de avaliação de desempenho térmico, o primeiro, chamado de simplificado (normativo), verifica o atendimento dos requisitos e critérios para os sistemas de vedação e coberturas. Em caso de atendimento insatisfatório, a norma recomenda para este caso a aplicação do método de simulação computacional. O segundo procedimento, chamada de Medição in loco, verifica o atendimento dos requisitos e critérios, realizado por meio de medições realizadas com a obra (ou protótipo) já concluída.

3 CAPÍTULO 3

3.1 METODOLOGIA

3.1.1 Tipo de estudo e local da pesquisa

Trata-se de uma simulação que foi realizada a partir dos *softwares*, *EnergyPlus* e *Domus*, do projeto do edifício comercial Claudino Cerutti, localizado no centro da cidade de Maringá, Paraná.

O *EnergyPlus* é um programa computacional, distribuído pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, desenvolvido para simulação de carga térmica e análise energética de edificações e seus sistemas (MELO *et. al.*, 2009).

O *Domus* é um importante instrumento de auxílio ao desenvolvimento do programa brasileiro de Regulamentação de eficiência energética, desenvolvido e distribuído gratuitamente pela Eletrobrás Procel (PROCEL INFO, 2013).

O *Lumisoft* é um software distribuído pela empresa Lumicenter, que tem como finalidade o cálculo luminotécnico de ambientes de maneira otimizada (LUMICENTER, 2008).

O *software Thermal Comfort Tool* é uma ferramenta desenvolvida e distribuída pela *Center For The Built Environment* (CBE), que tem como finalidade calcular os valores do Voto Médio Predito (PMV do inglês *Predicted Mean Vote*) e a Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas (PPD do inglês *Predicted Percentage of Dissatisfied*), dos quais, apresentam a sensação em relação ao conforto térmico dos usuários em determinado ambiente.

A pesquisa foi classificada como sendo de natureza aplicada, com abordagem qualitativa e desenvolvimento baseado em estudo de caso, pois foram verificadas as áreas de maior fluxo térmico, ou seja, quais parcelas do edifício sofrerão perda de calor excessivas no inverno e também ganhos elevados no verão. Posteriormente a verificação, foram averiguados os materiais e elementos construtivos que influenciaram nessa troca de calor não coesa, assim se alteraram os mesmos.

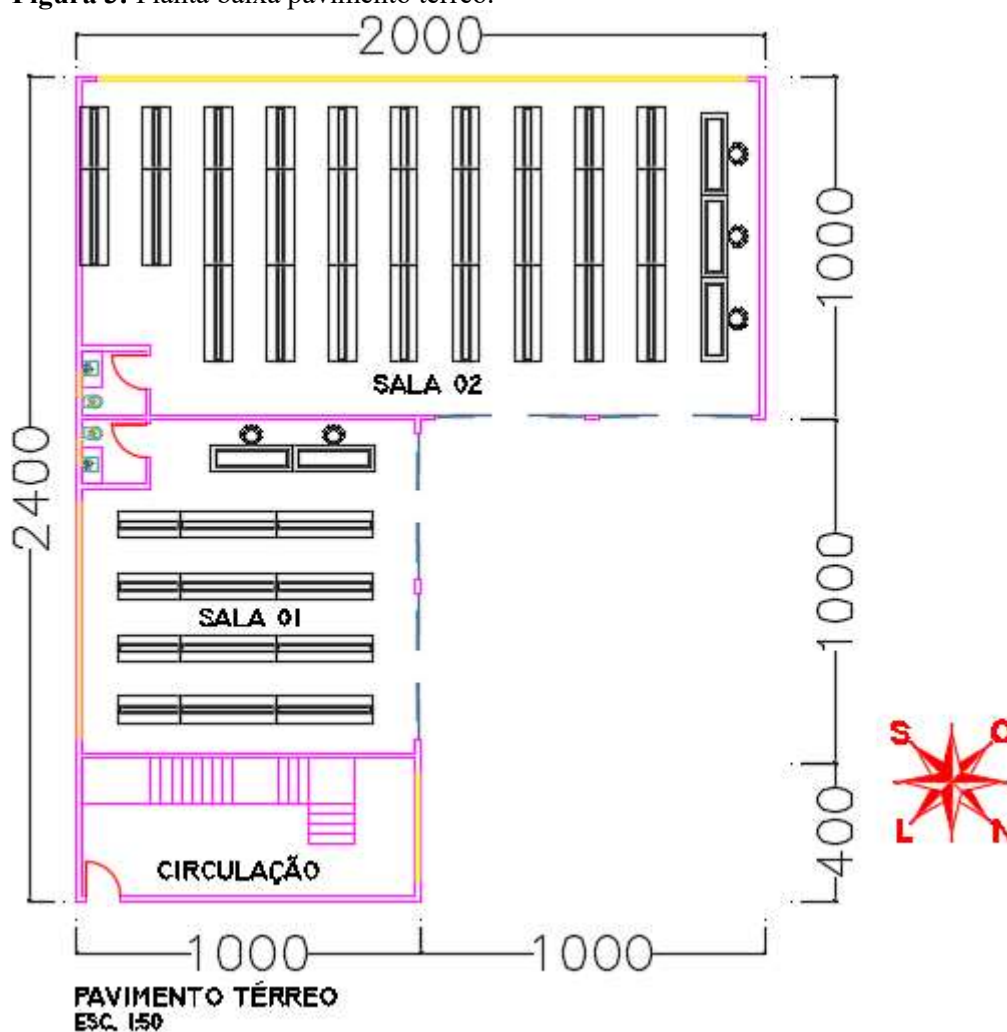
3.1.2 Caracterização da amostra

O estudo de caso foi realizado por meio dos *Softwares EnergyPlus e Domus*, com um projeto em modelagem 3D de um edifício comercial situado no Centro da cidade de Maringá, Paraná.

Para as simulações, foi considerado o funcionamento da edificação em horário comercial, de segunda a sexta-feira das 8h00 às 17h30min.

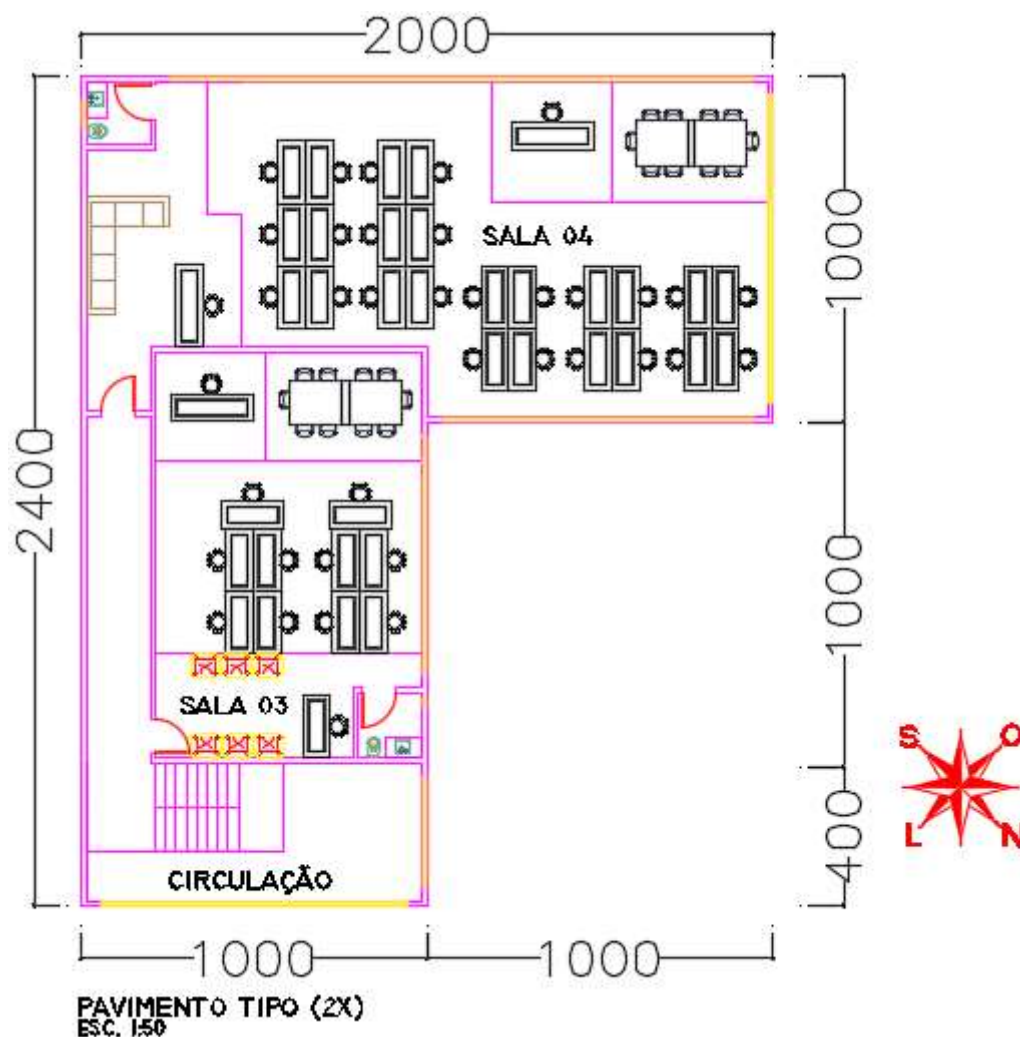
O projeto do empreendimento possui 3 pavimentos, sendo o térreo, do qual conta com duas salas comerciais, e dois pavimentos tipo com duas salas comerciais conforme Figura 3 e 4.

Figura 3: Planta baixa pavimento térreo.



Fonte: Autor (2017)

Figura 4: Planta baixa pavimento tipo.



Fonte: Autor (2017)

Para o projeto inicial deste estudo, não foi considerada nenhuma técnica de sombreamento nas aberturas. Os elementos e materiais construtivos convencionais utilizados, tais como suas devidas propriedades apresenta a Tabela 7.

Para o cenário II, foi utilizada uma envoltória composta por materiais de alto desempenho térmico e energético, junto com as técnicas artificiais de sombreamento conforme apresenta a Tabela 9 e 10.

3.2 INSTRUMENTOS E PROCEDIMENTOS PARA COLETA DE DADOS

Por se tratar de uma simulação nos *softwares EnergyPlus* e *Domus* os dados foram obtidos por meio do mesmo, assim como também imagens das parcelas com maior fluxo de calor, tal como seu índice e causa.

3.2.1 Modelagem computacional da edificação

A modelagem da fôrma e da envoltória do edifício pode ser feita em aplicativos de desenhos tridimensionais que tenham compatibilidade com os aplicativos de simulação energética, ou diretamente nos aplicativos de simulação. Para tal tarefa, foi utilizado neste trabalho o *Google SketchUp*, por apresentar uma área de interação de fácil manuseio.

Para efetuar as análises de cargas térmicas e temperaturas internas da edificação, foi utilizado o *software EnergyPlus*, aplicativo distribuído gratuitamente pelo Departamento americano de energia (U.S. *DEPARTMENT OF ENERGY*, 2010), uma ferramenta completa e eficiente no que diz a respeito à geração e consumo de energia, com ele é possível efetuar cálculos de carga térmica e consumo de energia de uma determinada edificação nele configurado. O *EnergyPlus*, apresenta uma extensão chamada *OpenStudio*, que cria compatibilidade entre arquivos gerados no *Google SketchUp* para serem utilizados no *EnergyPlus*, facilitando a configuração da envoltória.

Já para efetuar o consumo de energia proveniente dos sistemas de condicionamento de ar artificial e iluminação foi utilizado o *software Domus*, uma nova ferramenta computacional apresentando alto poder de resolução e flexibilidade para simulação dinâmica, do ponto de vista energético, de edificações comerciais.

Introduzindo as informações da geometria, da ocupação, dos materiais que compõe a envoltória do edifício no *software EnergyPlus*, é possível obter uma estimativa do condicionamento térmico do mesmo, porém, são necessários alguns ajustes e calibrações do modelo para que fique coerente com a realidade.

No *software Domus*, os dados inseridos a respeito do condicionamento de ar artificial e iluminação são de simples dimensão, com resultados claros e objetivos.

3.2.2 Modelagem da envoltória no Google *SketchUp* e subdivisão em zonas térmicas no *EnergyPlus*

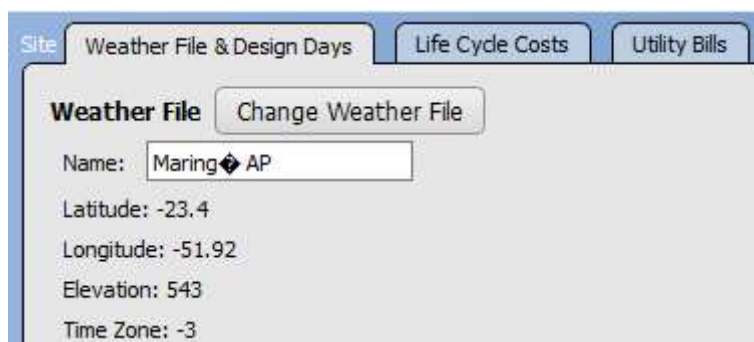
Visando obter um modelo simplificado da edificação, foi necessário subdividir os pavimentos, classificando cada ambiente com uma zona térmica para análise dos dados. Pode-se dividir os andares em três subgrupos. Esses subgrupos são: Térreo, Primeiro Tipo e Segundo Tipo.

3.2.3 Zoneamento bioclimático

A NBR 15220/2005 estabelece um zoneamento bioclimático brasileiro, assim, entre todos disponibilizados, foi escolhido o da cidade de Maringá – PR, pelo fato de ser o local onde o projeto está implantado.

Para inserir esta informação nos *softwares*, foi necessário realizar o download do arquivo climático, do qual, é disponibilizado nos sites dos mesmos. O arquivo tem formato EPW e foi inserido conforme Figura 5.

Figura 5: Arquivo climático inserido no software



Fonte: *Software EnergyPlus* (2017)

As temperaturas mínimas, máximas e médias da cidade de Maringá – PR, estão apresentadas na Tabela 5.

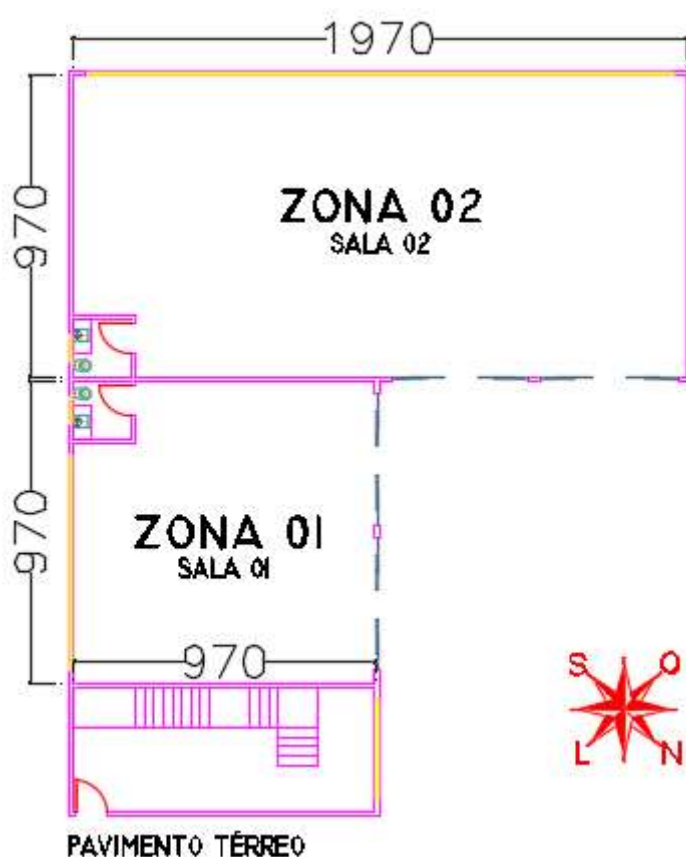
Tabela 5: Histórico climático da cidade de Maringá - PR

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Temperatura média (°C)	24,6	26,9	29,8	31,1	29,6	27,2	25,8	25,3	25,7	26,9	26,2	24,3
Temperatura mínima (°C)	15,5	18,1	21,6	23,8	23,7	22,1	21,5	21,2	21,2	20,7	17,7	15,2
Temperatura máxima (°C)	33,8	35,8	38,1	38,4	35,6	32,4	30,2	29,5	30,3	33,2	34,8	33,5

Fonte: *Climate-Data* (2017)

3.2.3.1 Térreo

O térreo será classificado com duas zonas térmicas diferentes, pois possui ambientes com diferentes tamanhos, uso e ocupação, como mostrado na Figura 6.

Figura 6: Divisão das zonas térmicas no pavimento térreo

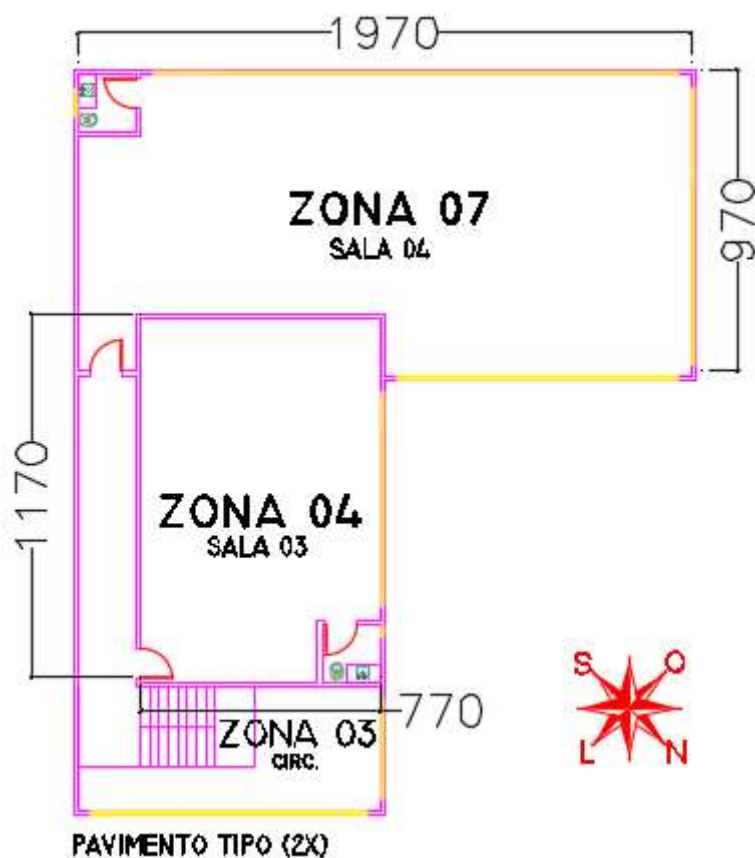
Fonte: Autor (2017)

A Zona 01 e a Zona 02 representam as salas comerciais localizadas no pavimento térreo.

3.2.3.2 Pavimento Tipo

O pavimento primeiro tipo, segue a lógica do pavimento térreo, o mesmo foi dividido em duas zonas térmicas decorrente do uso específico de cada ambiente, conforme a Figura 7.

Figura 7: Divisão das zonas térmicas no pavimento tipo



Fonte: Autor (2017)

A Zona 04 e Zona 07 são salas comerciais destinadas para escritórios, enquanto a Zona 03 corresponde a circulação do pavimento, da qual, não foi realizada alguma análise posterior.

3.2.4 Configuração do modelo no *EnergyPlus*

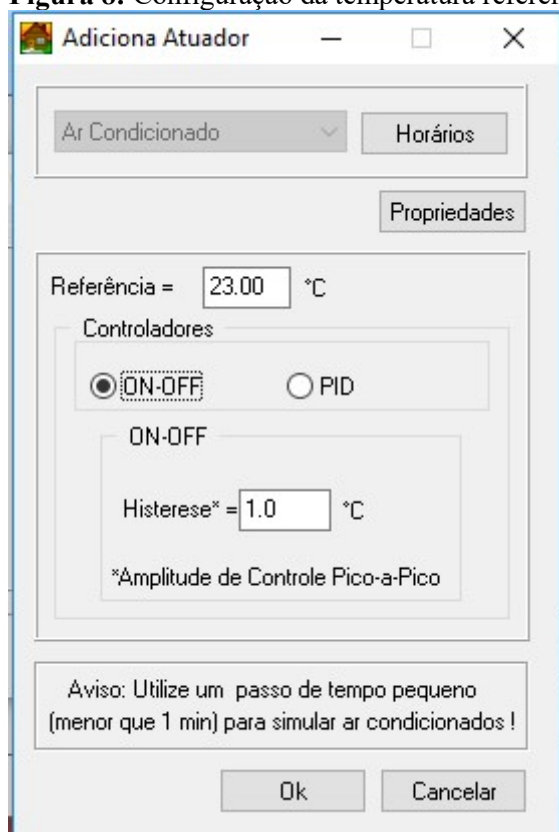
Além da modelagem da edificação, é necessário configurar os materiais de construção que serão utilizados na envoltória do edifício, as fontes externas e internas de carga térmica nos ambientes, estipular os horários de funcionamento do edifício, tais como suas intensidades e definir os períodos de simulação no *EnergyPlus*.

3.2.5 Configuração do modelo no *Domus*

Além da modelagem da edificação, foi necessário configurar dados a respeito das cargas térmicas, relacionadas a iluminação e ocupação. Os aparelhos de condicionamento de ar artificial foram configurados para manter temperatura interna de 23°C em ambos os cenários, conforme Figura 8.

Para que se pudesse obter o valor resultante do consumo de energia elétrica decorrente dos aparelhos de ar condicionado e iluminação, foi inserido no software Domus, o valor de R\$ 0,64/kWh, valor, este, cobrado pela Companhia de Energia Paranaense (COPEL).

Figura 8: Configuração da temperatura referência para aparelhos de ar condicionado



Fonte: *Software Domus* (2017)

3.2.5.1 Ocupação

Os dados referentes a ocupação são de difícil obtenção, uma vez que a edificação é inexistente. Além disso, haveria uma diversificação nas atividades, variando a ocupação de

ambiente para ambiente. Com isso, foi utilizada a Norma de procedimento técnico 011 (NPT 011) para o cálculo da ocupação da edificação.

Considerando os critérios normativos, a edificação foi classificada como grupo de ocupação “C”, assim, pode-se obter o valor de 1 pessoa a cada 5 m², totalizando 164 pessoas, obtendo os valores de ocupação para ambos os cenários conforme Tabela 6.

Tabela 6: Valores determinados para densidade de ocupação

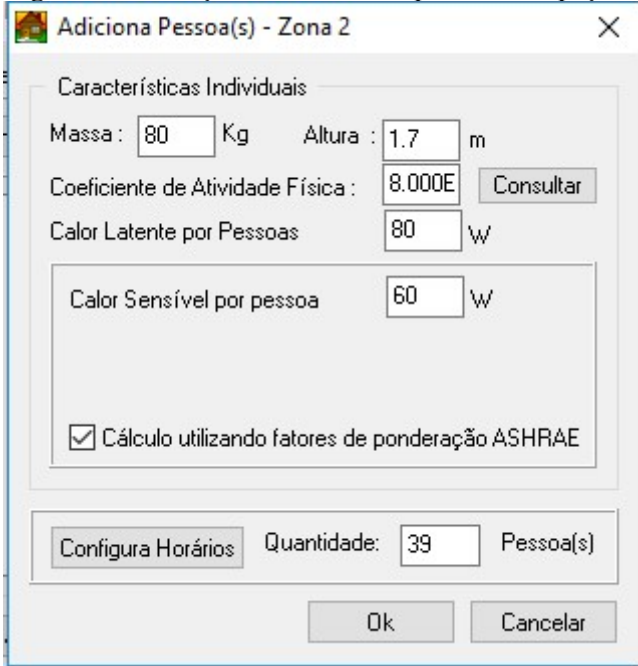
Zona térmica	Pavimento	Ambientes	Ocupação
Zona 01	Térreo	Sala comercial 01	19
Zona 02	Térreo	Sala comercial 02	39
Zona 04	Primeiro tipo	Sala comercial 03	15
Zona 07	Primeiro tipo	Sala comercial 04	39

Fonte: Autor (2017).

Tendo os valores referentes a ocupação da edificação, foi possível realizar a configuração no *software Domus*, inserindo os dados das zonas térmicas 1, 2, 4 e 7, conforme apresenta respectivamente as Figura 9, 10, 11 e 12.

Figura 9: Inserção de dados a respeito da ocupação na zona 1

Fonte: *Software Domus* (2017)

Figura 10: Inserção de dados a respeito da ocupação na zona 2

Adiciona Pessoa(s) - Zona 2

Características Individuais

Massa : 80 Kg Altura : 1.7 m

Coeficiente de Atividade Física : 8.000E Consultar

Calor Latente por Pessoas : 80 W

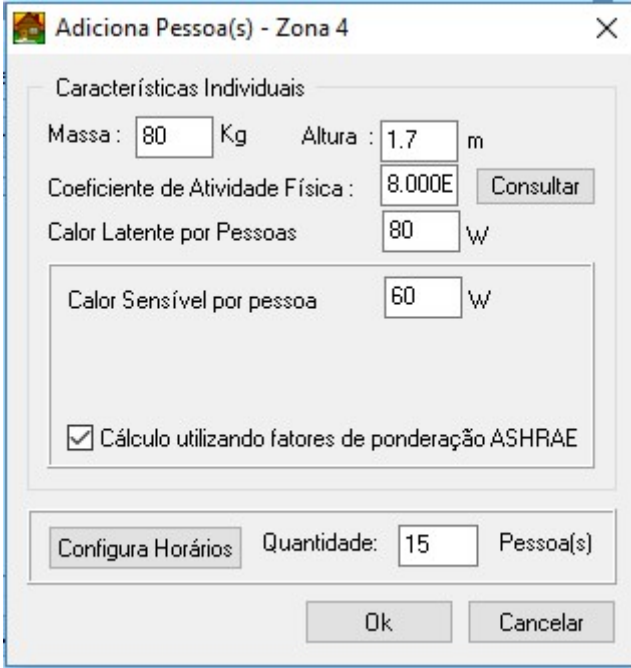
Calor Sensível por pessoa : 60 W

☒ Cálculo utilizando fatores de ponderação ASHRAE

Configura Horários Quantidade: 39 Pessoa(s)

Ok Cancelar

Fonte: *Software Domus* (2017)

Figura 11: Inserção de dados a respeito da ocupação na zona 4

Adiciona Pessoa(s) - Zona 4

Características Individuais

Massa : 80 Kg Altura : 1.7 m

Coeficiente de Atividade Física : 8.000E Consultar

Calor Latente por Pessoas : 80 W

Calor Sensível por pessoa : 60 W

☒ Cálculo utilizando fatores de ponderação ASHRAE

Configura Horários Quantidade: 15 Pessoa(s)

Ok Cancelar

Fonte: *Software Domus* (2017)

Figura 12: Inserção de dados a respeito da ocupação na zona 7

Adiciona Pessoa(s) - Zona 7

Características Individuais

Massa : 80 Kg Altura : 1.7 m

Coeficiente de Atividade Física : 8.000E Consultar

Calor Latente por Pessoas : 80 W

Calor Sensível por pessoa : 60 W

☒ Cálculo utilizando fatores de ponderação ASHRAE

Configura Horários Quantidade: 39 Pessoa(s)

Ok Cancelar

Fonte: *Software Domus* (2017)

Após a inserção de dados a respeito da ocupação nas zonas térmicas, foi configurado os dados referentes às atividades exercidas pelos usuários, conforme Figura 13.

Figura 13: Inserção de dados a respeito das atividades dos usuários

Coeficiente de Atividade Física

Descansando

☐ Dormindo

☐ Reclinado

☐ Sentado

☒ Em pé, relaxado

Andando

☐ 0.89 m/s

☐ 1.34 m/s

☐ 1.79 m/s

Atividades de Escritório

☐ Lendo, Sentado

☐ Escrevendo

☐ Digitando

☐ Arquivando, Sentado

☐ Arquivando, Em pé

☐ Passeando

Lazer

☐ Dançando

☐ Ginástica

☐ Tênis

☐ Basquete

☐ Lutando

Outros

☐ Cozinhando

☐ Limpando a casa

☐ Operando moto-serra

☐ Operando máquina pesada

☐ Carregando bolsa (50kg)

Valor : 70 W/m²

Ok Cancelar

Fonte: *Software Domus* (2017)

3.2.6 Materiais construtivos da envoltória do primeiro cenário

A lista de materiais constituintes de paredes, pisos, e forros é apresentada na Tabela 7. Nela é possível verificar também as propriedades apresentadas por esses materiais.

Tabela 7: Propriedades de materiais de construção

Construção	Materiais de construção	Espessura (m)	Condutividade térmica (W/m.K)	Densidade (Kg/m³)	Calor específico (J/Kg.K)	Resistência térmica (m².K/W)
Parede Externa	Concreto Maciço	0,12	1,75	2400	1000	0,114
Parede Interna	Concreto Maciço	0,12	1,75	2400	1000	0,114
Piso	Concreto	0,12	1,75	2400	1000	0,114
	Argamassa mista	0,025	1,15	2000	1000	0,022
	Gesso Monolítico	0,002	0,032	80	1000	0,04
Forro	Lacuna de ar	-	-	-	-	0,21
	Concreto	0,25	1,75	2400	1000	0,114
Telhado	Zinco	0,0005	116	7100	0,39	-
	Concreto	0,25	1,75	2400	1000	0,114

Fonte: Ordenes, M. *et. al.*, (2003)

Todas as portas e janelas de vidro são constituídos por vidro temperado incolor com espessura de 3mm, do qual suas propriedades são apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8: Propriedades do vidro temperado

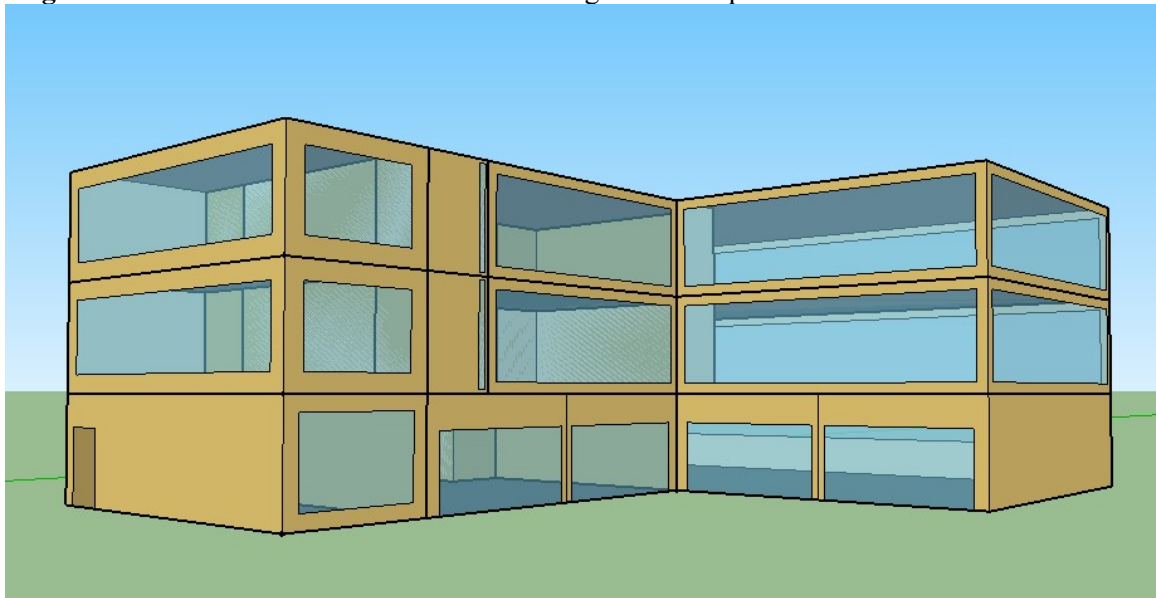
Propriedades	Vidro temperado
Transmitância Solar	0,75
Reflectância solar frontal	0,07
Reflectância solar anterior	0,07
Transmitância visível	0,87
Reflectância visível frontal	0,08
Reflectância visível anterior	0,08
Transmitância infra-vermelha	0
Emissividade infra-vermelha frontal	0,84
Emissividade infra-vermelha anterior	0,84
Condutividade térmica (W/m.k)	1

Fonte: Designbuilder Software (2011)

Tendo os materiais que compõe a envoltória do primeiro cenário, foi possível realizar a modelagem no aplicativo *Google SketchUp*, da edificação. As dimensões da modelagem são fíeis as apresentadas no projeto arquitetônico, assim como as dimensões e a localização das

janelas presentes na edificação. Na Figura 14 é apresentado o modelo da envoltória do primeiro cenário.

Figura 14: Modelo virtual da envoltória no Google SketchUp

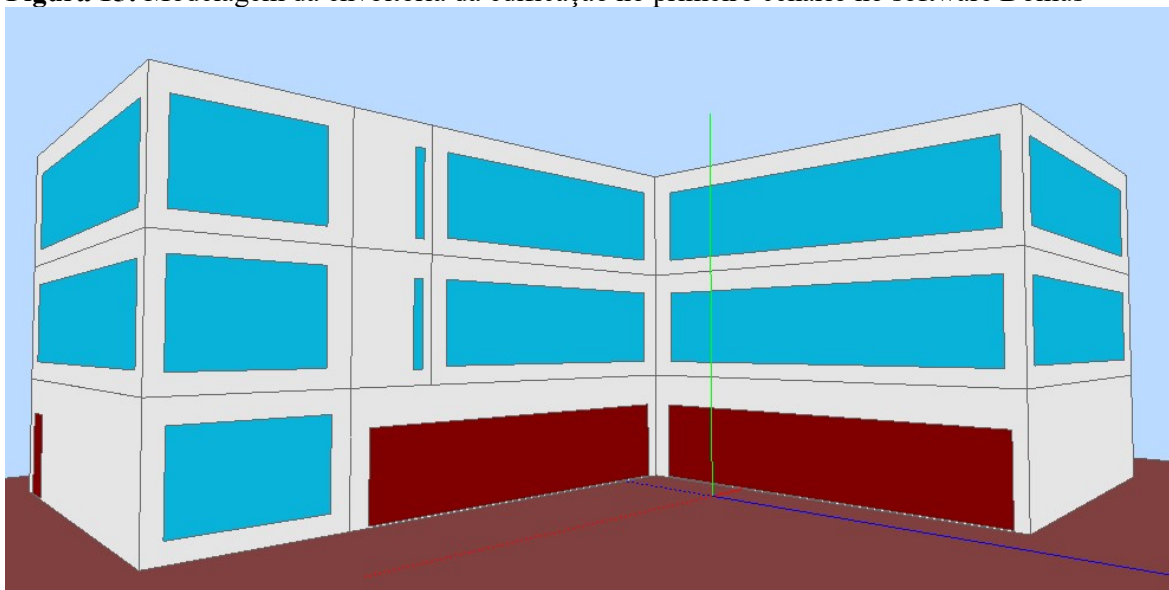


Fonte: Autor (2017)

Após a modelagem no *software EnergyPlus*, foi realizada a modelagem da edificação no *Domus*, com o fim de apresentar o consumo de energia decorrente da utilização dos aparelhos de ar condicionado.

A modelagem da envoltória da edificação no primeiro cenário no *software Domus*, apresentou-se como no *EnergyPlus*, conforme Figura 15.

Figura 15: Modelagem da envoltória da edificação no primeiro cenário no software Domus



Fonte: Autor (2017)

3.2.7 Ganhos internos no primeiro cenário

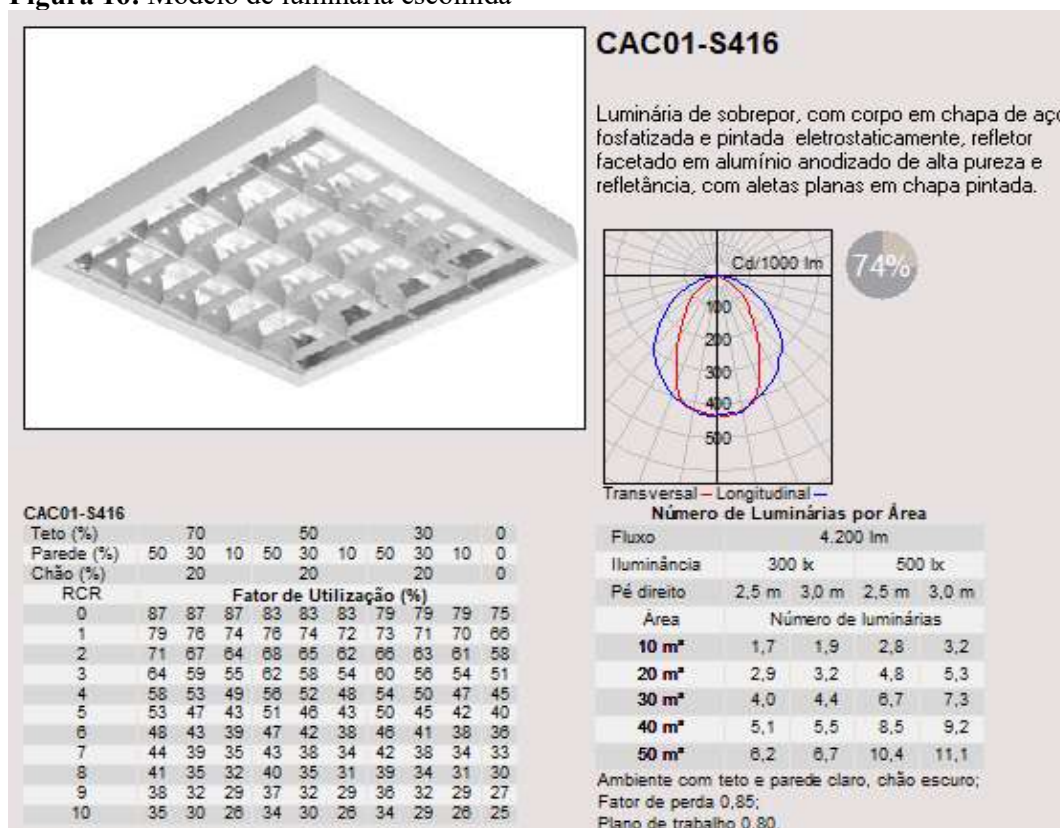
3.2.7.1 Iluminação

Foi utilizado o *software Lumisoft* para a obtenção de dados referente a iluminação da edificação, com ele foi possível calcular o número de luminárias necessárias para cada ambiente.

Para o cálculo do consumo de energia são necessárias três variáveis: a potência, o número de horas e os dias de uso. É um cálculo muito simples: basta multiplicar a potência conhecida pelo número de horas da lâmpada ligada e pela quantidade de dias de uso.

Optou-se pelo modelo de luminária CAC01-S416 da fabricante Lumicenter, que se refere a uma luminária de sobrepor, com quatro lâmpadas fluorescentes de 80 W, conforme Figura 16.

Figura 16: Modelo de luminária escolhida



Lumisoft (2017)

Tendo o modelo de luminária escolhida, pode-se calcular a quantidade das mesmas para cada ambiente analisado.

3.3 MATERIAIS CONSTRUTIVOS DA ENVOLTÓRIA DO SEGUNDO CENÁRIO

Tendo o modelo configurado, pode-se implementar os métodos propostos, e verificar seus desempenhos quando relacionado ao conforto térmico. Todas as concepções propostas dependem, basicamente, da edificação, dos equipamentos já instalados, do seu uso, e das tecnologias dispostas no mercado.

3.3.1 Alteração dos materiais de construção

Foi listada uma série de novos possíveis materiais de alto desempenho energético para compor a envoltória da edificação. As paredes externas e as aberturas com materiais translúcidos ganharam atenção maior, uma vez que são os principais responsáveis pelos fluxos

de radiação e calor não coesos, ou seja, responsáveis pelo ganho excessivo de calor em épocas quentes, e a perda excessiva do mesmo em épocas frias.

Baseando-se na revisão bibliográfica, foram escolhidos os materiais que formaram a envoltória do segundo cenário, dos quais, estão apresentados na Tabela 9.

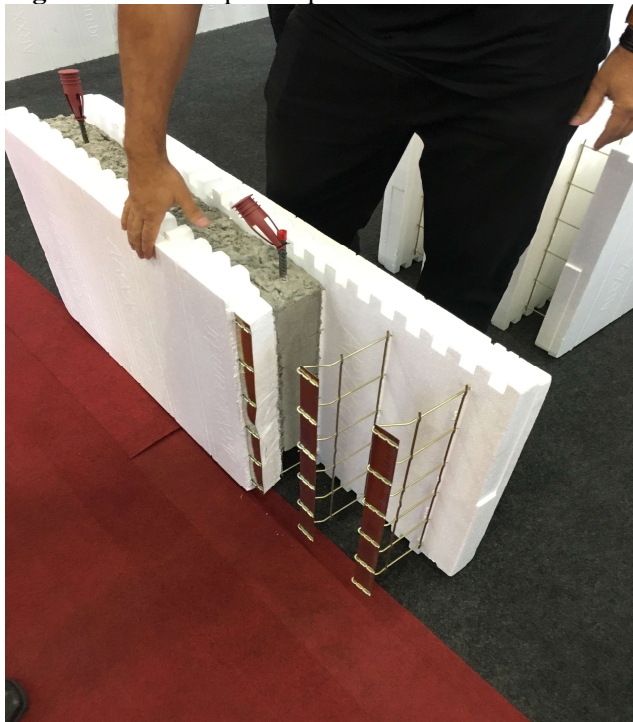
Tabela 9: Propriedades de materiais de construção para o segundo cenário.

Construção	Materiais de construção	Espessura (m)	Condutividade térmica (W/m.K)	Densidade (Kg/m ³)	Calor específico (J/Kg.K)	Resistência térmica (m ² .K/W)
Parede Externa	EPS	0,065	0,24	20	1213,36	0,036
	Concreto Maciço	0,10	1,75	2400	1000	0,114
	EPS	0,065	0,24	20	1213,36	0,036
Parede Interna	Drywall	0,02	0,35	750	837	0,04
	Lacuna de ar	0,04	-	-	-	0,21
	Drywall	0,02	0,35	750	837	0,04
	Concreto	0,12	1,75	2400	1000	0,114
Piso	Argamassa mista	0,025	1,15	2000	1000	0,022
	Gesso Monolítico	0,002	0,032	80	1000	0,04
Forro	Lacuna de ar	-	-	-	-	0,21
	Concreto	0,25	1,75	2400	1000	0,114
Telhado	Zinco	0,0005	116	7100	0,39	-
	EPS	0,03	0,24	20	1213,36	0,036
	Concreto	0,25	1,75	2400	1000	0,114

Fonte: Autor (2017)

O tipo de vedação utilizada para as paredes externas especificada na Tabela 12 é de uso incomum, A Figura 17 apresenta um protótipo da mesma para uma melhor visualização.

Figura 17: Protótipo das paredes externas EPS – Concreto maciço – EPS



Fonte: Autor (2016)

3.3.2 Alteração dos vidros

Para os vidros, optou-se pela utilização do laminado em todas as aberturas. Nas portas das salas comerciais foi priorizado que se utilizasse um vidro laminado com visibilidade de aproximadamente 80%, reduzindo até 43% da energia solar incidente. Para as demais aberturas, foi optado por um vidro laminado com visibilidade por volta dos 40%, reduzindo até 83% da energia solar incidente. As propriedades dos vidros especificados estão apresentadas na Tabela 10.

Tabela 10: Propriedades do vidro laminado

Propriedades	Vidro laminado térreo	Vidro laminado demais aberturas
Transmitância Solar	0,67	0,27
Reflectância solar frontal	0,28	0,28
Reflectância solar anterior	0,28	0,28
Transmitância visível	0,8	0,4
Reflectância visível frontal	0,28	0,28
Reflectância visível anterior	0,23	0,23
Transmitância infra-vermelha	0	0
Emissividade infra-vermelha frontal	0,84	0,84
Emissividade infra-vermelha anterior	0,84	0,84
Condutividade térmica (W/m.k)	1	1

Fonte: Autor (2017)

3.3.3 Inclusão de técnicas de sombreamento artificial

Além da alteração da composição das paredes externas e do tipo de vidro, dos quais formam a envoltória da edificação. Foi optado pela inclusão de técnicas de sombreamento artificial, para que isso fosse possível, foi inserido na modelagem, marquises em todas as aberturas, das quais, possibilitaram um fator de proteção solar próximo de 60%.

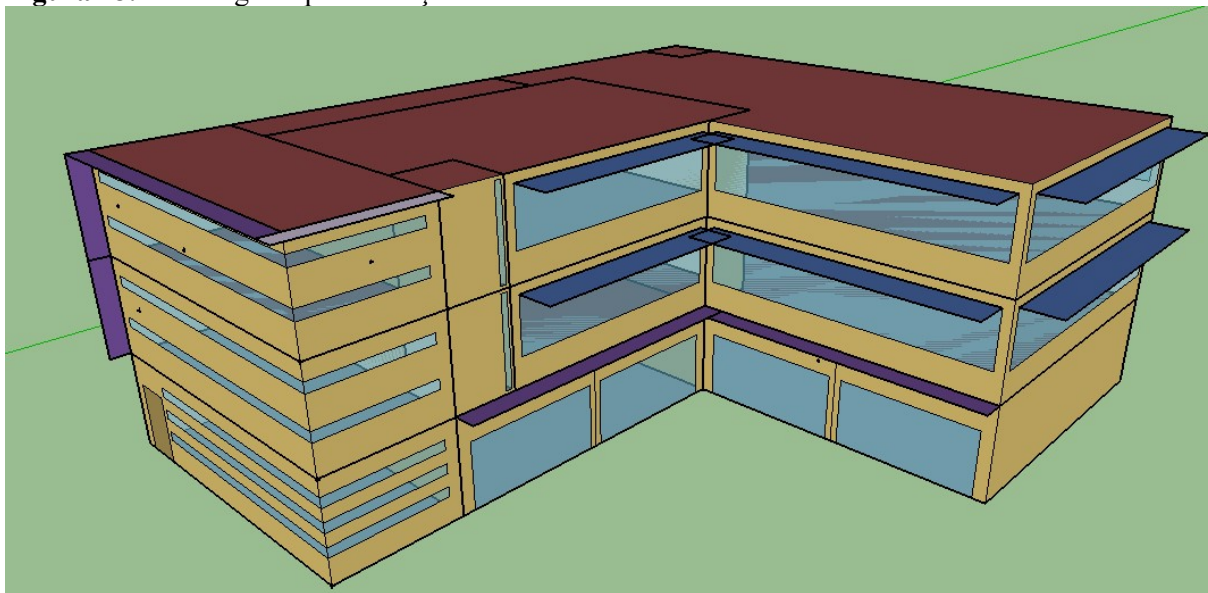
3.3.4 Redução da área de vidro

Optou-se pela redução da área de aberturas já que esta normalmente é uma das principais responsáveis pela entrada de calor. No primeiro e segundo pavimento tipo, foi reduzida de forma que amenizasse a entrada de calor, sem que prejudicasse a entrada de iluminação natural. Já nas áreas de circulação do condomínio, das quais, incluem corredores e escadas, optou-se pela redução da área de vidro, junto com uma melhor distribuição das aberturas, possibilitando a entrada de iluminação natural de forma que atendesse as solicitações para as devidas atividades exercidas nestes ambientes.

3.3.5 Modelagem após as alterações propostas

As alterações propostas foram configuradas no *EnergyPlus* e incluídas na modelagem tridimensional, conforme Figura 18.

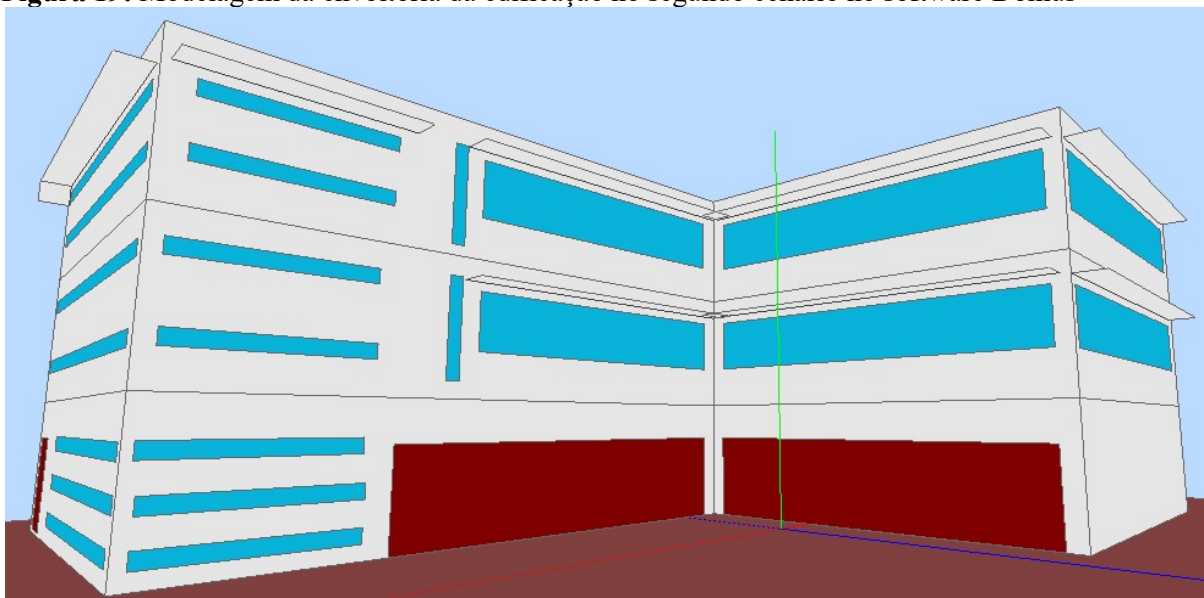
Figura 18: Modelagem após alterações na sua envoltória



Fonte: Autor (2017)

Tendo a modelagem no software EnergyPlus, em seguida, a edificação foi modelada no software Domus, com as mesmas características da envoltória, conforma Figura 19.

Figura 19: Modelagem da envoltória da edificação no segundo cenário no software Domus



Fonte: Autor (2017)

3.4 AVALIAÇÃO DE POTENCIAIS AÇÕES PARA REDUÇÃO NO CONSUMO DE ENERGIA

Tendo obtido as temperaturas internas e o consumo de energia, foram analisadas propostas que aperfeiçoasse as condições térmicas e energéticas da edificação.

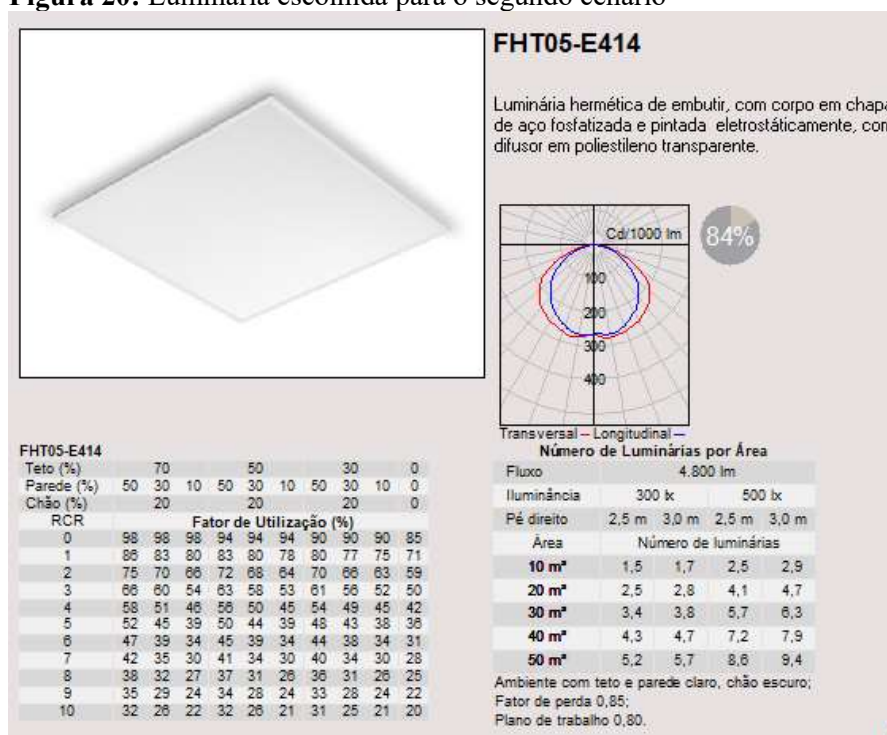
3.4.1 Ganhos internos no segundo cenário

3.4.1.1 Alteração das lâmpadas

Com o objetivo de redução no consumo de energia elétrica e consequentemente na carga térmica gerada pelas lâmpadas fluorescentes, foi optado por lâmpadas de LED. Para isso, realizou-se um cálculo luminotécnico para cada ambiente, considerando as mesmas refletâncias do teto, das paredes e do chão.

Para o cálculo luminotécnico, escolheu-se uma luminária do tipo plafon de embutir, com uma lâmpada de LED com potência de 37W, conforme a Figura 20.

Figura 20: Luminária escolhida para o segundo cenário



3.4.2 Condições de conforto térmico aos usuários

Após a obtenção de dados a respeito das temperaturas internas nas zonas térmicas analisadas, foi necessário verificar se as condições apresentadas foram, ou não adequadas ao conforto térmico dos usuários.

Para isso, foi utilizado o *software Thermal Comfort Tool*, uma ferramenta desenvolvida e distribuída pela *Center For The Built Environment* (CBE), que tem como finalidade calcular os valores do Voto Médio Predito (PMV do inglês *Predicted Mean Vote*) e a Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas (PPD do inglês *Predicted Percentage of Dissatisfied*), dos quais, apresentam a sensação em relação ao conforto térmico dos usuários em determinado ambiente.

Diversos são os fatores e variáveis que influenciam no bem-estar térmico do homem no meio em que se encontra. Por esse motivo foi utilizado um mesmo perfil de pessoa em ambos os cenários para que fosse possível verificar as condições de conforto térmico no ambiente.

O perfil adotado, foi de uma pessoa do sexo masculino com 30 anos de idade, exercendo a atividade específica do ambiente, da qual foi considerada como estar em pé relaxado ou atividade sedentária, relacionada às práticas exercidas em escritórios e escolas, tendo uma atividade metabólica de 1,2 met. Características de vestimenta, estão apresentados conforme Tabela 11.

Tabela 11: Vestimentas com respectivos índices de resistência térmica

Vestimenta	Índice de resistência térmica (Iclo)
Camisa fina com mangas compridas	0,2
Calça média	0,25
Cueca	0,03
Meia fina	0,03
Sapatos	0,04
Total	0,55

Fonte: Lamberts (2010)

As temperaturas internas e umidade relativa do ar utilizadas para os cálculos, foram obtidas nas simulações e estão apresentadas conforme Tabela 12.

Tabela 12: Temperaturas internas e umidade relativa do ar consideradas em cálculo

Cenário	Zona térmica	Temperatura interna (°C)	Temperatura radiante (°C)	Umidade do ar (%)
1	1	42	44,5	55
2	1	36	31	55
1	4	36	40,3	55
2	4	24	27,5	55

Fonte: Autor (2017)

4 CAPÍTULO 4

4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo divide-se em 3 seções. A primeira apresenta os resultados obtidos referente ao conforto térmico, na simulação do primeiro cenário, que utiliza materiais e técnicas convencionais na envoltória da edificação, sendo subdividido em três partes, apresentando a temperatura interna dos ambientes, entre os meses de janeiro a abril, maio a agosto e de setembro a dezembro.

A segunda seção apresenta os resultados obtidos no segundo cenário, que utiliza materiais de alto desempenho energético na envoltória da edificação, junto com técnicas de sombreamento nas aberturas. O mesmo divide-se entre as mesmas épocas do ano do qual o primeiro cenário foi simulado.

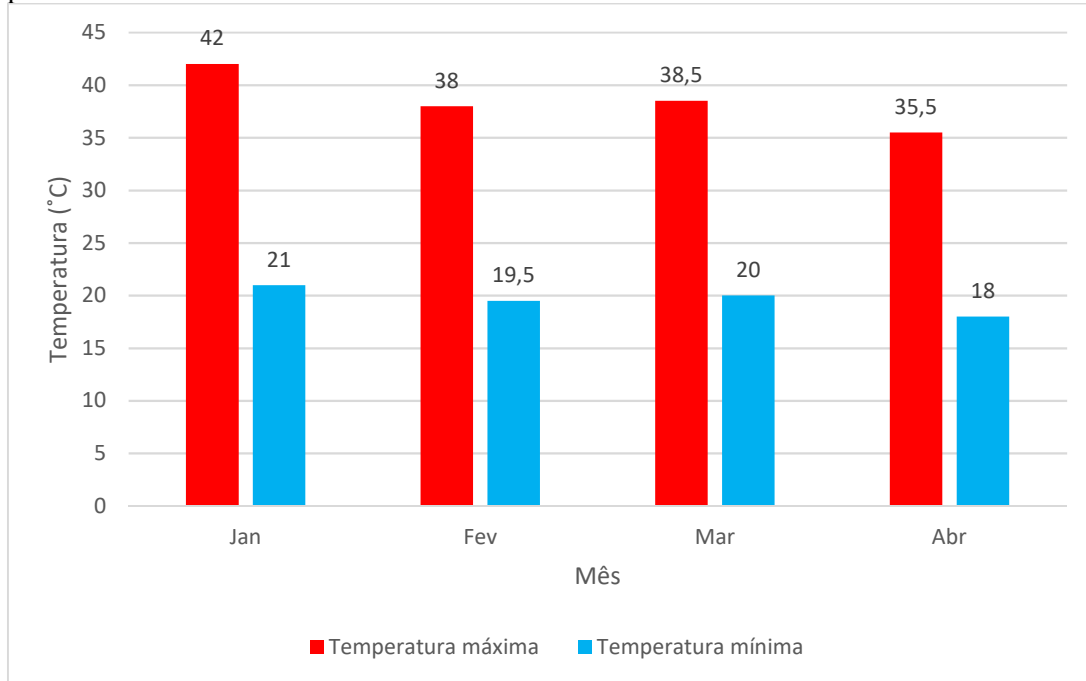
A terceira e última seção combina os resultados das duas primeiras, nela, toma-se uma análise comparativa entre o primeiro cenário, do qual se refere a edificação com uma envoltória formada por materiais e técnicas convencionais de construção, e o segundo cenário, do qual diz a respeito da edificação com uma envoltória composta por materiais de alto desempenho térmico e energético, junto com técnicas artificiais de sombreamento nas aberturas.

4.1.1 Análise do conforto térmico no primeiro cenário

Os gráficos a seguir apresentam a temperatura interna das zonas térmicas 01, 02, 04 e 07, da qual se referem respectivamente às salas comerciais 01 e 02, situadas no pavimento térreo, e as salas comerciais 03 e 04, situadas no primeiro pavimento tipo. As mesmas possuem a envoltória formada pelos materiais apresentados na Tabela 8 e 9.

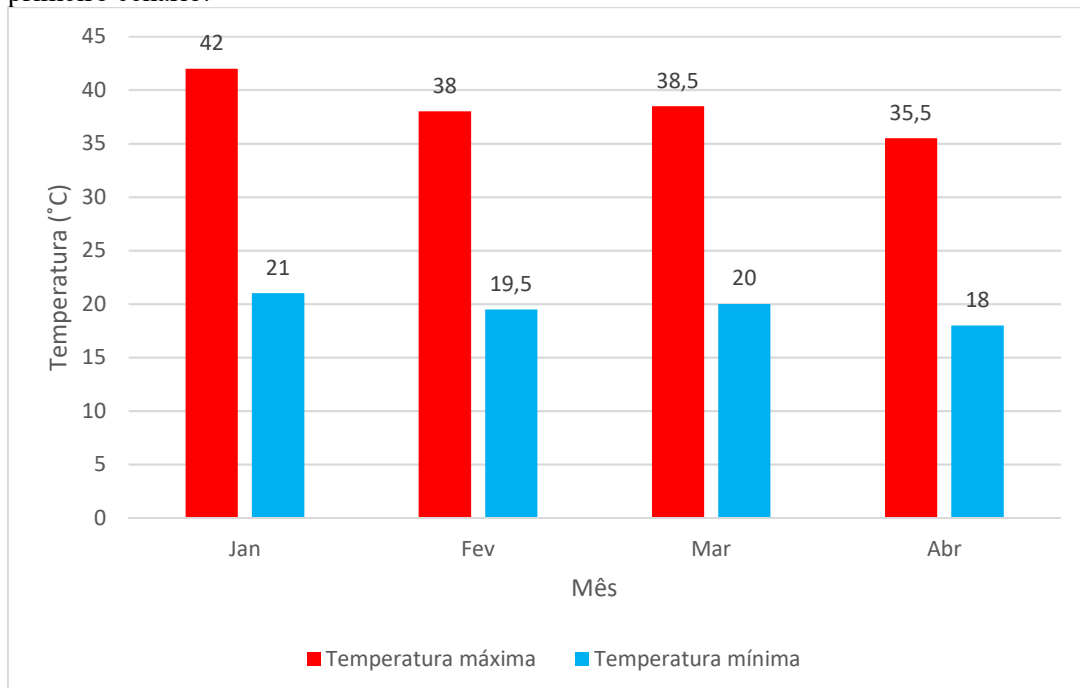
4.1.1.1 Análise do conforto térmico entre os meses de janeiro a abril

Figura 21: Temperaturas máximas e mínimas na zona térmica 01 entre os meses de janeiro a abril no primeiro cenário.



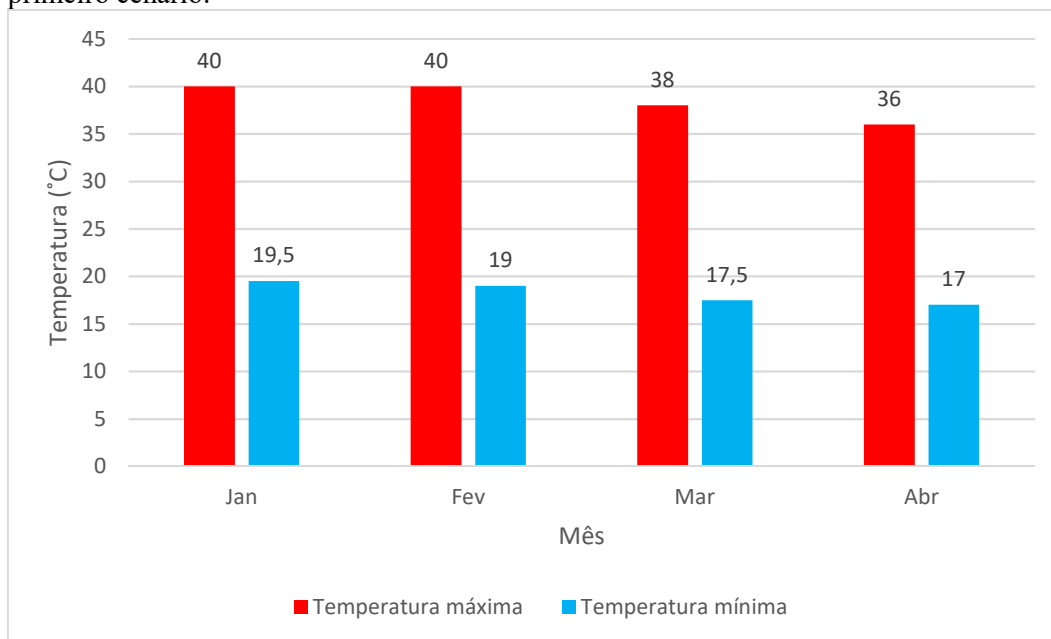
Fonte: Autor (2017)

Figura 22: Temperaturas máximas e mínimas na zona térmica 02 entre os meses de janeiro a abril no primeiro cenário.



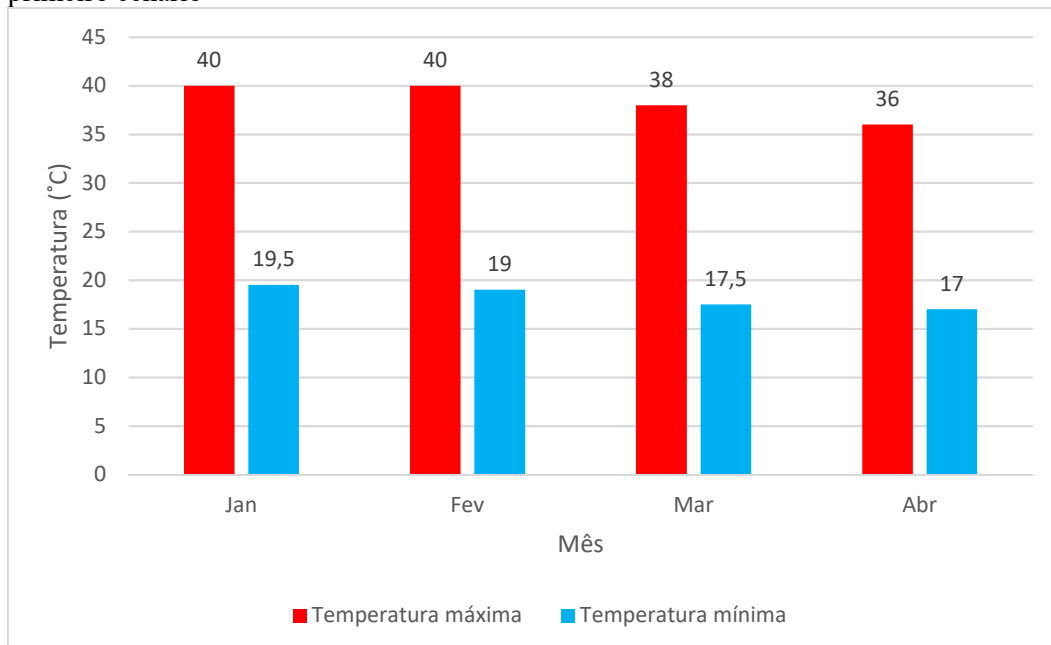
Fonte: Autor (2017)

Figura 23: Temperaturas máximas e mínimas na zona térmica 04 entre os meses de janeiro a abril no primeiro cenário.



Fonte: Autor (2017)

Figura 24: Temperaturas máximas e mínimas na zona térmica 07 entre os meses de janeiro a abril no primeiro cenário



Fonte: Autor (2017)

As simulações foram realizadas com o funcionamento da edificação em horário comercial, ou seja, 8 horas diárias, das 8h00min às 12h00min, e das 13h30min às 17h30min,

obtendo as temperaturas máximas entre 15h00min – 16h00min, e as mínimas entre 8h00min – 9h00min, considerando a máxima e mínima ocupação respectivamente.

Nota-se que as zonas térmicas 1 e 2, referentes as salas comerciais no térreo, chegaram a apresentar temperatura máxima por volta dos 42°C. As zonas térmicas 4 e 7, referentes as salas comerciais do primeiro e segundo pavimento tipo, apresentaram a temperatura máxima de aproximadamente 40°C.

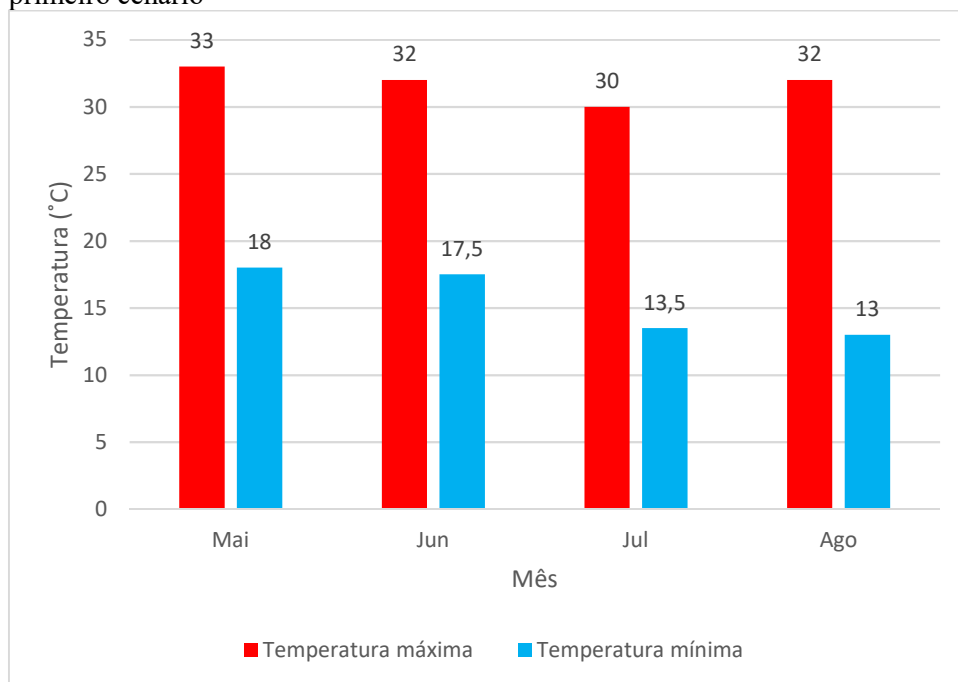
As quatro zonas térmicas apresentaram temperaturas mínimas por volta dos 18°C, apesar de parecer desejada em períodos quentes do ano, essa temperatura permaneceu constante em um pequeno intervalo de tempo e foi se elevando conforme a incidência solar ia aumentando junto com a ocupação e funcionamento da edificação.

As variáveis responsáveis pelas elevadas temperaturas estão relacionadas a envoltória da edificação, sendo o vidro e as paredes externas de concreto armado maciço, os principais responsáveis pela entrada de calor desordenada. Por se tratar de um vidro comum, incolor e sem qualquer artifício externo que possibilite o seu sombreamento, o mesmo propiciou a entrada de quase 100% da radiação solar. As paredes externas em concreto armada maciço, permitiram a entrada de pouco calor quando comparado aos vidros, mas como se trata de um material sem grande capacidade de condução de calor, ele demora a ser aquecido, mas, também demora a ser resfriado, fazendo com que o ambiente, ainda permaneça aquecido durante algumas horas no período noturno.

As temperaturas máximas apresentadas tornam-se impróprias para as atividades do dia a dia dos usuários. Dependendo da idade e da condição do mesmo, possa vir a apresentar um serie de desconfortos, ocasionando o seu mal-estar. Nas condições apresentadas, seria inevitável o uso de aparelhos responsáveis para o condicionamento de ar, elevando o consumo de energia na época do ano apresentada.

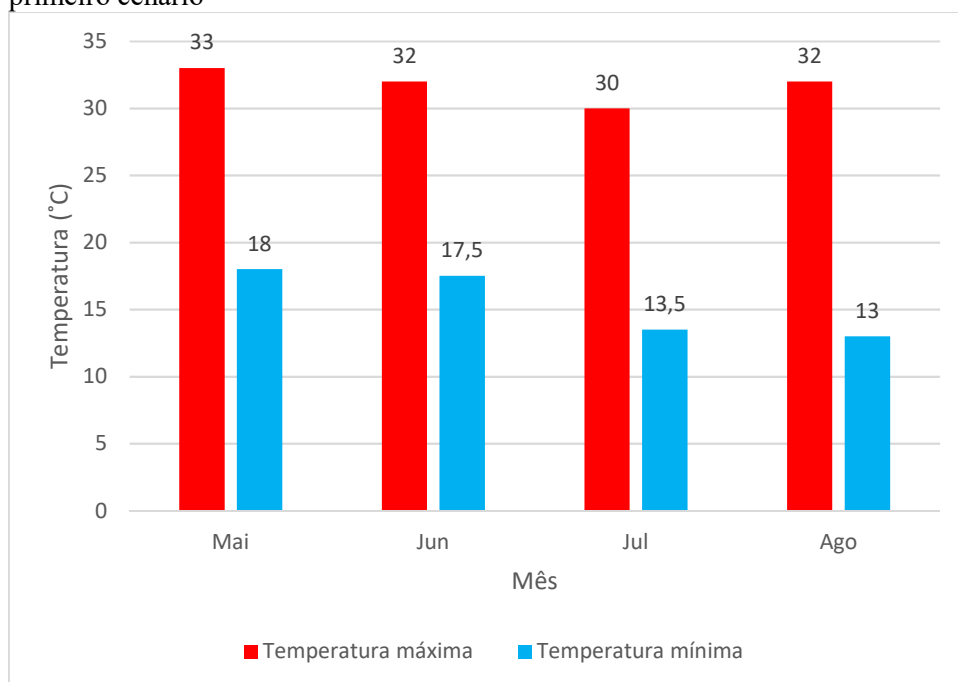
4.1.1.2 Análise do conforto térmico entre os meses de maio e agosto

Figura 25: Temperaturas máximas e mínimas na zona térmica 01 entre os meses de maio a agosto no primeiro cenário



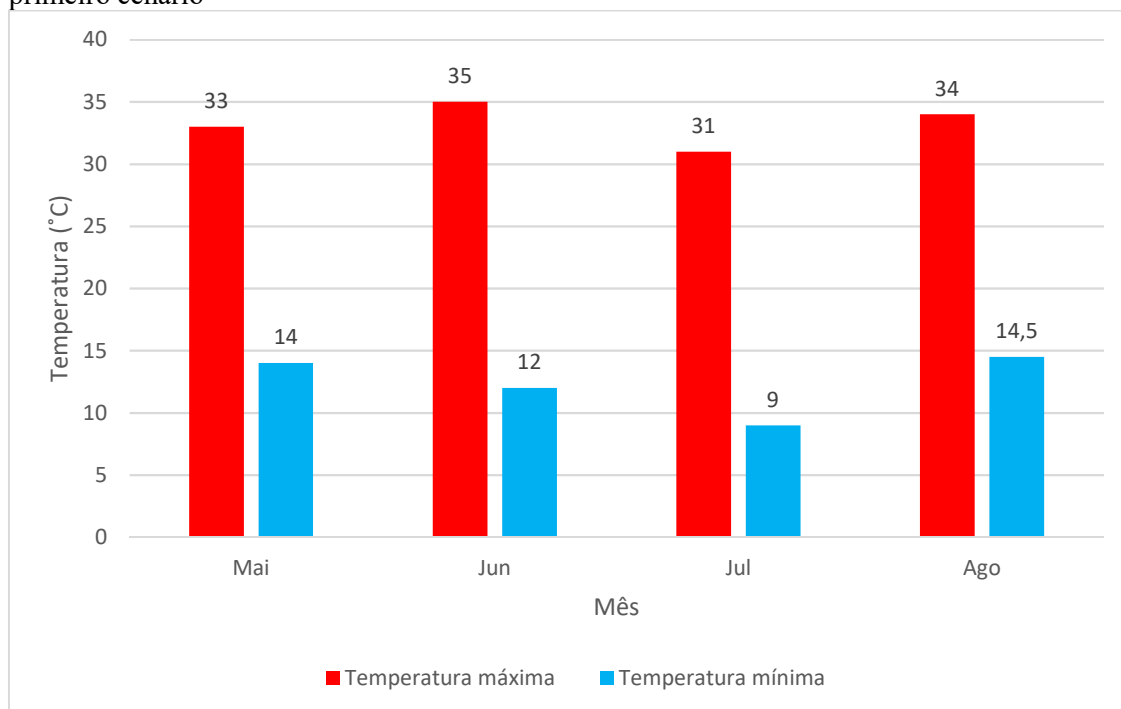
Fonte: Autor (2017)

Figura 26: Temperaturas máximas e mínimas na zona térmica 02 entre os meses de maio a agosto no primeiro cenário



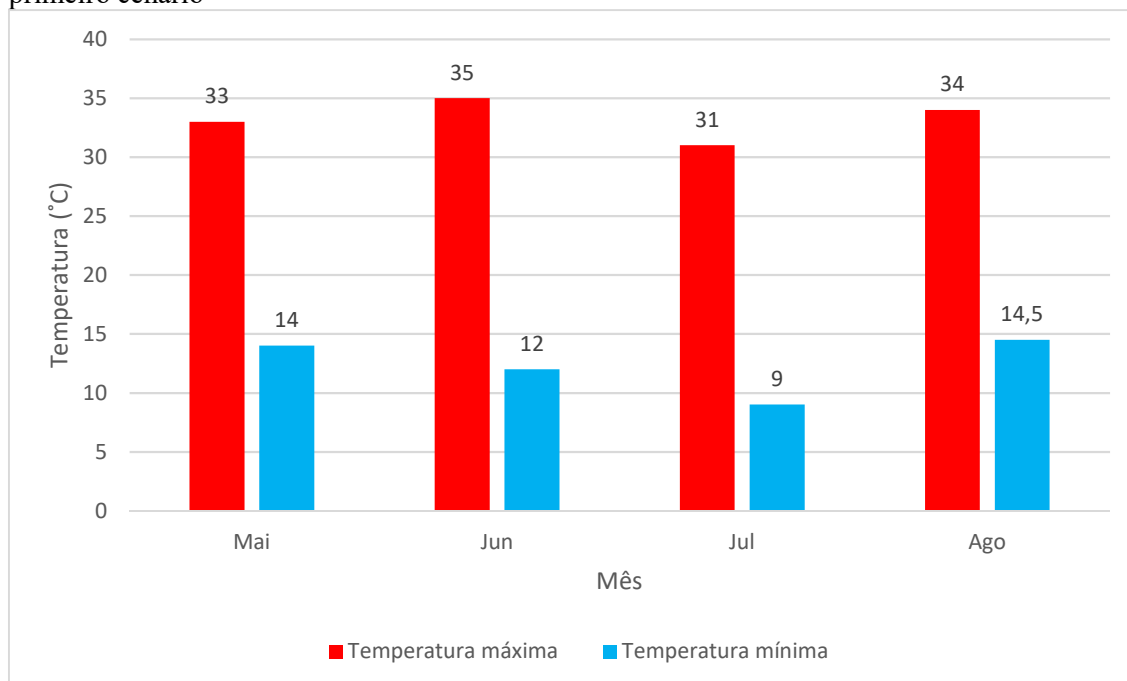
Fonte: Autor (2017)

Figura 27: Temperaturas máximas e mínimas na zona térmica 04 entre os meses de maio a agosto no primeiro cenário



Fonte: Autor (2017)

Figura 28: Temperaturas máximas e mínimas na zona térmica 07 entre os meses de maio a agosto no primeiro cenário



Fonte: Autor (2017)

Os meses de maio a agosto remetem ao término do outono e ao início do inverno, em decorrência disso, as temperaturas obtidas nesta simulação variaram intensamente quando

comparadas a simulação anterior. Por se tratar de um período de baixas temperaturas. Esta simulação teve como objetivo, observar o comportamento da edificação quando exposta a climas frios.

As zonas térmicas 1 e 2, referentes as salas comerciais no pavimento térreo, apresentaram a temperatura mínima por volta dos 13°C, enquanto as zonas térmicas 4 e 7, referentes as salas comerciais no primeiro e segundo pavimento tipo, apresentaram a temperatura mínima por volta dos 9°C.

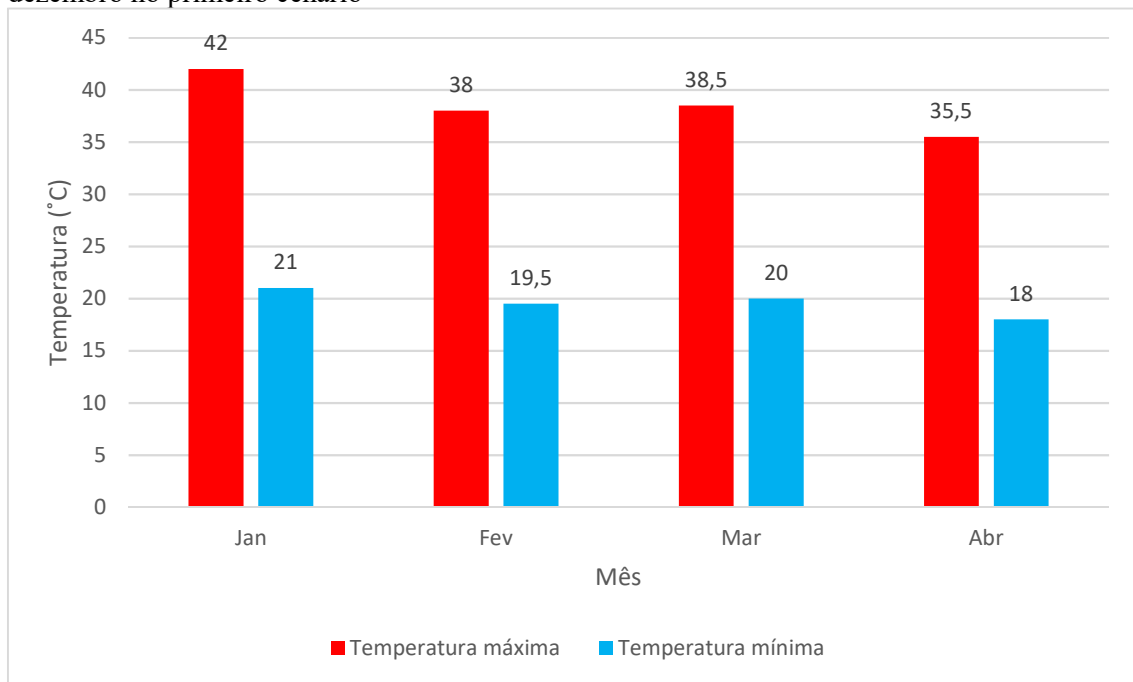
As variáveis que ocasionaram as baixas temperaturas nos ambientes estão sem dúvidas ligadas à envoltória da edificação. Como as paredes externas são de concreto armado maciço, sem qualquer tipo de isolamento térmico, as mesmas, além de permitirem que as baixas temperaturas atuassem na parte interna da edificação, passando o calor de dentro para fora, elas fizeram com que as baixas temperaturas se mantivessem no meio interior, pelo fato de terem uma péssima condução de calor. Os vidros, sendo excelentes condutores de calor, e não tendo nenhum tipo de isolamento como, cortinas e venezianas, ou propriedades de isolamento, fez com que o calor presente dentro da edificação, se transmitisse de maneira desordenada para o ambiente externo.

As salas comerciais no térreo ficaram com uma temperatura 4°C superior, quando comparadas as salas dos pavimentos tipos, isso se dá pelo fato do contra piso do térreo, assumir comportamento de isolante térmico, uma vez que, abaixo dele, há presença de solo. Já nos pavimentos superiores, têm-se as lajes, onde, abaixo delas, há presença de ar, ou seja, os pavimentos superiores possuem uma área a mais para o fluxo de calor, fazendo com que suas temperaturas se reduzem ainda mais.

Temperaturas muito baixas não representam apenas o desconforto do usuário, mas também, a queda significativa da produtividade. Neste caso, deveria ser implantado um sistema de aquecimento, resultando no aumento do consumo de energia.

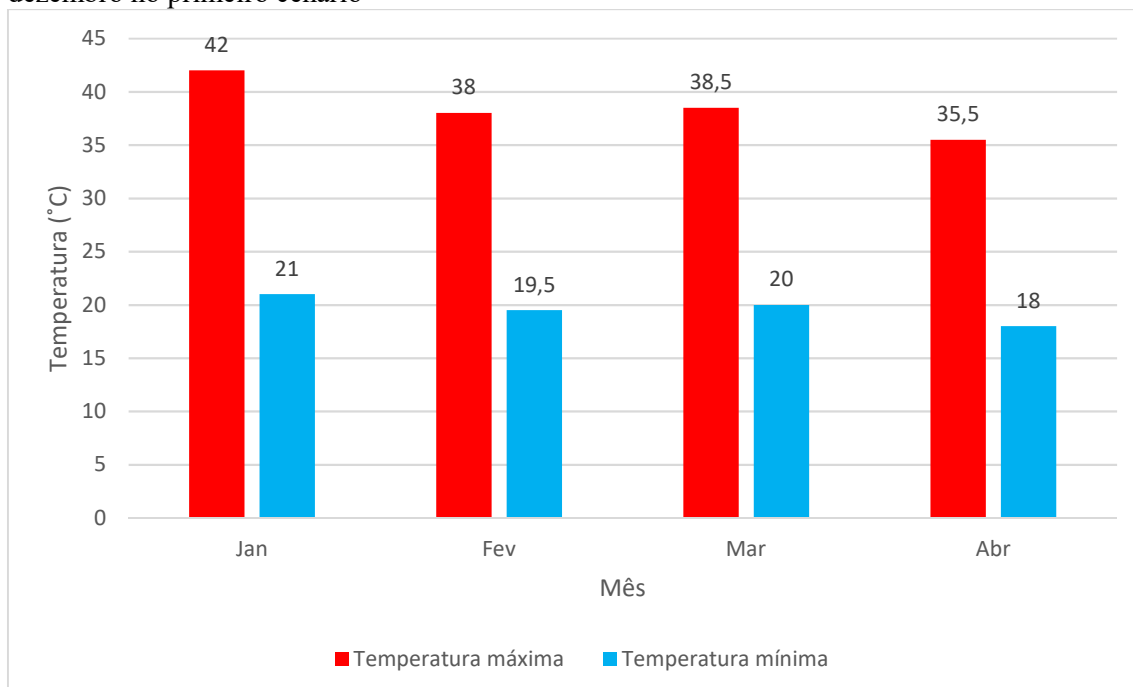
4.1.1.3 Análise do conforto térmico entre os meses de setembro e dezembro.

Figura 29: Temperaturas máximas e mínimas na zona térmica 01 entre os meses de setembro a dezembro no primeiro cenário



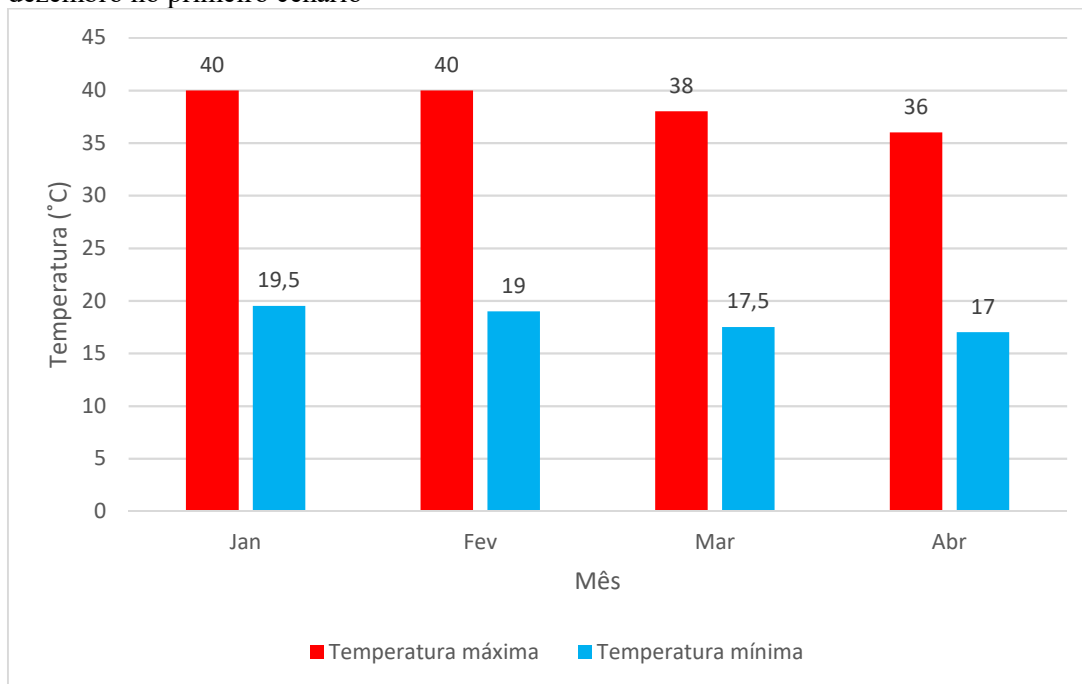
Fonte: Autor (2017)

Figura 30: Temperaturas máximas e mínimas na zona térmica 02 entre os meses de setembro a dezembro no primeiro cenário



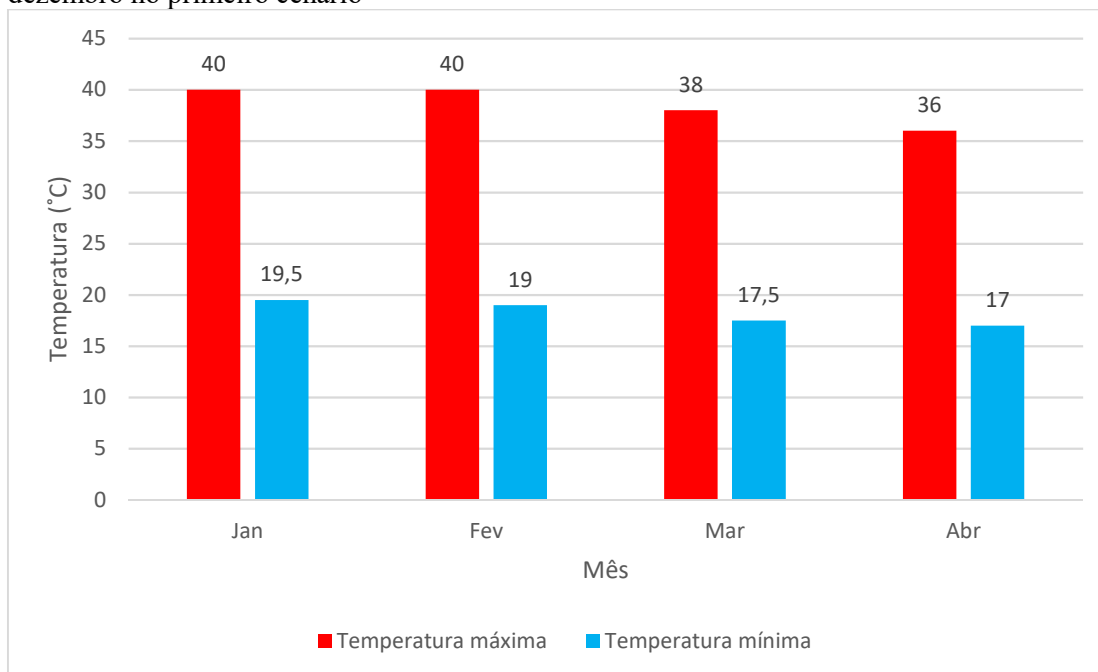
Fonte: Autor (2017)

Figura 31: Temperaturas máximas e mínimas na zona térmica 04 entre os meses de setembro a dezembro no primeiro cenário



Fonte: Autor (2017)

Figura 32: Temperaturas máximas e mínimas na zona térmica 07 entre os meses de setembro a dezembro no primeiro cenário



Fonte: Autor (2017)

Os meses de setembro a dezembro remetem ao término da primavera e ao início do verão. Nesta época do ano as temperaturas costumam aumentar significativamente quando comparadas aos meses de maio a agosto, mas permanecem equivalentes em relação aos meses

de janeiro a abril.

As zonas térmicas 1 e 2, referentes as salas comerciais no térreo, chegaram a apresentar temperatura máxima por volta dos 42°C. As zonas térmicas 4 e 7, referentes as salas comerciais do primeiro e segundo pavimento tipo, apresentaram a temperatura máxima por volta dos 40°C. As quatro zonas térmicas apresentaram temperaturas mínimas por volta dos 15°C.

As variáveis responsáveis pelas elevadas temperaturas estão relacionadas à envoltória da edificação, sendo o vidro e as paredes externas de concreto armado maciço, os principais responsáveis pela entrada de calor desordenado.

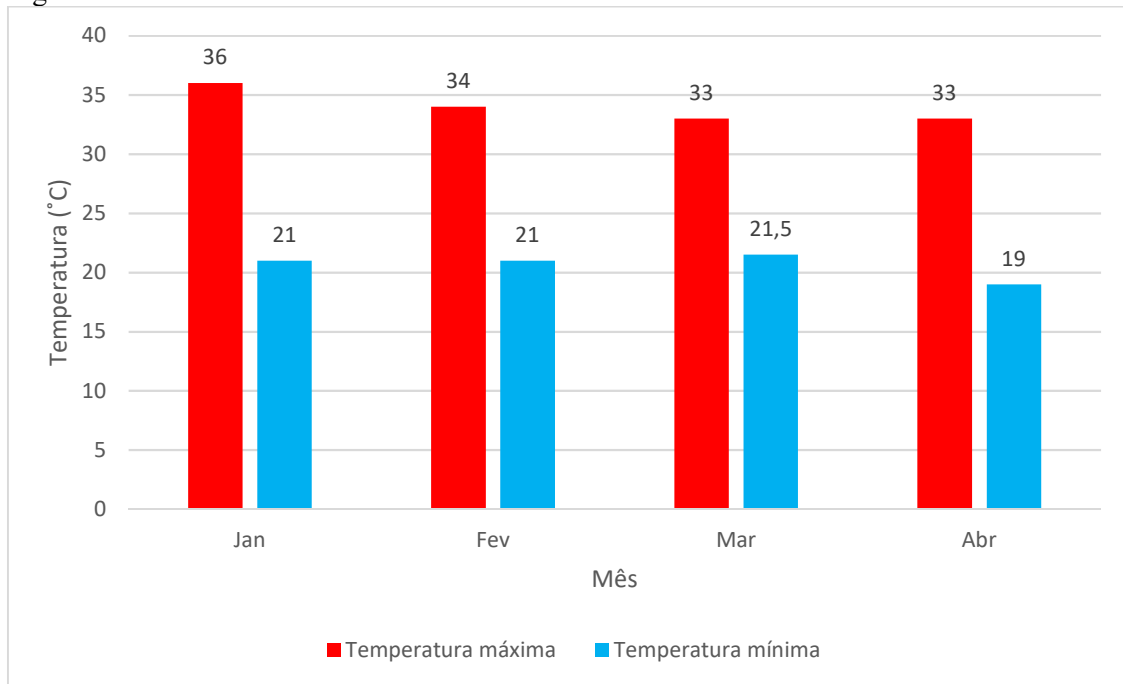
As temperaturas máximas apresentadas tornam-se impróprias para as atividades do dia a dia dos usuários. Dependendo da idade e da condição do mesmo, possa vir a apresentar uma série de desconfortos, ocasionando o seu mal-estar. Nas condições apresentadas, seria inevitável o uso de aparelhos responsáveis para o condicionamento de ar, elevando o consumo de energia na época do ano apresentada.

4.1.2 Análise do conforto térmico no segundo cenário

Os gráficos a seguir apresentam a temperatura interna das zonas térmicas 01, 02, 04 e 07, da qual se referem respectivamente às salas comerciais 01 e 02, situadas no pavimento térreo, e as salas comerciais 03 e 04, situadas no primeiro pavimento tipo. As mesmas possuem a envoltória formada pelos materiais apresentados na Tabela 12 e 13.

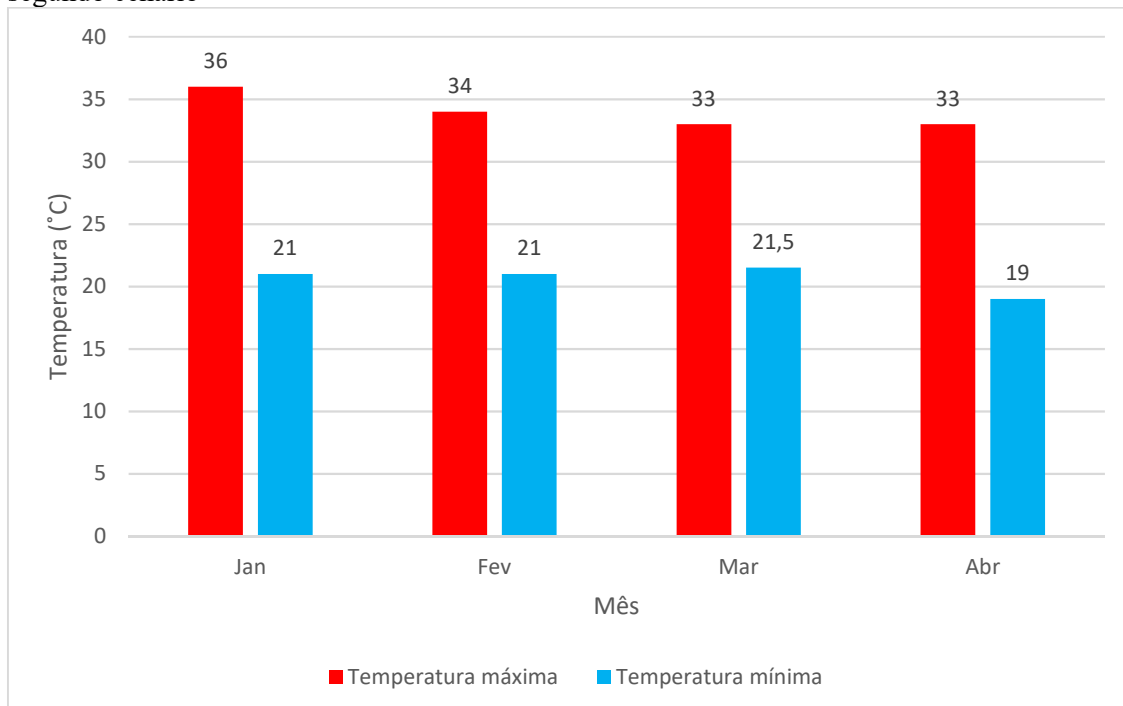
4.1.2.1 Análise do conforto térmico entre os meses de janeiro a abril

Figura 33: Temperaturas máximas e mínimas na zona térmica 01 entre os meses de janeiro a abril no segundo cenário



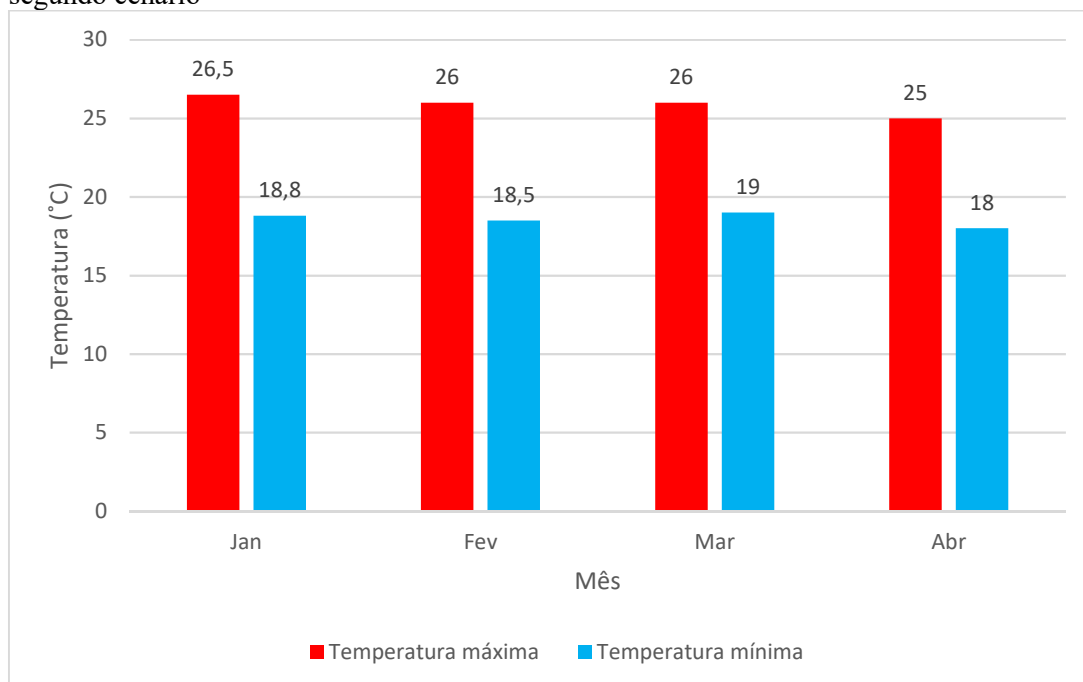
Fonte: Autor (2017)

Figura 34: Temperaturas máximas e mínimas na zona térmica 02 entre os meses de janeiro a abril no segundo cenário



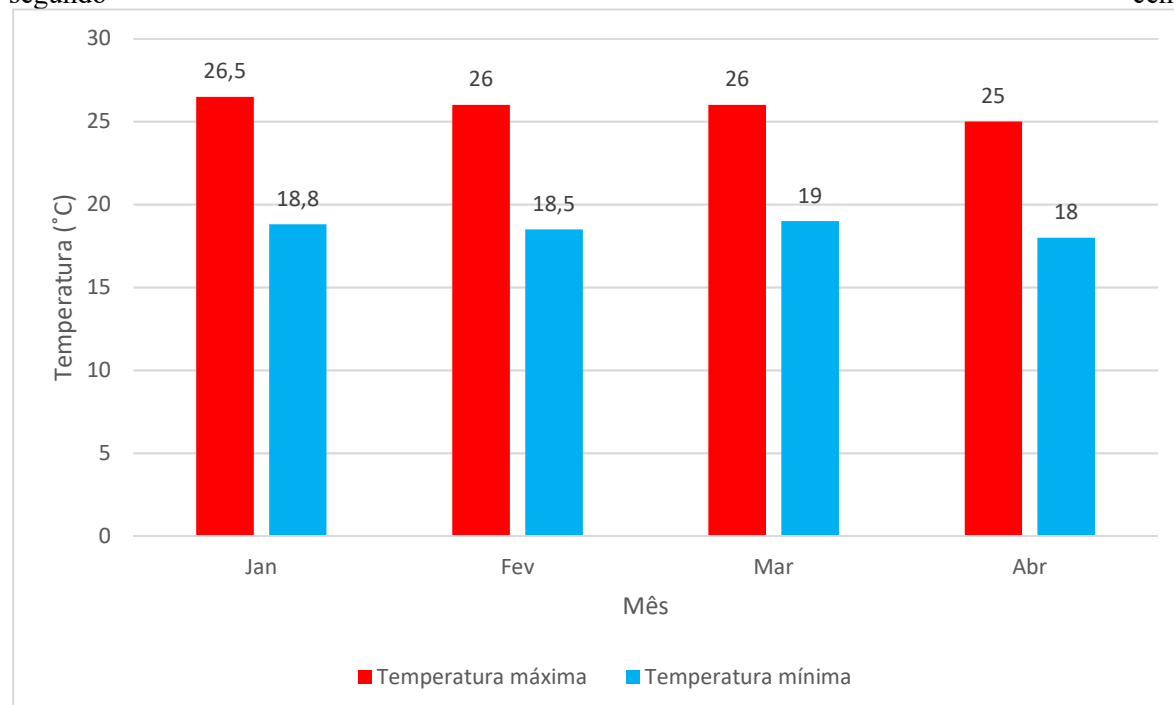
Fonte: Autor (2017)

Figura 35: Temperaturas máximas e mínimas na zona térmica 04 entre os meses de janeiro a abril no segundo cenário



Fonte: Autor (2017)

Figura 36: Temperaturas máximas e mínimas na zona térmica 07 entre os meses de janeiro a abril no segundo cenário



Fonte: Autor (2017)

As simulações do segundo cenário foram realizadas com o funcionamento da edificação em horário comercial, assim, como a primeira simulação.

Nota-se que as zonas térmicas 1 e 2, referentes as salas comerciais no térreo, chegaram a apresentar temperatura máxima por volta dos 36°C. As zonas térmicas 4 e 7, referentes as salas comerciais do primeiro e segundo pavimento tipo, apresentaram a temperatura máxima por volta dos 26°C, porém, as mesmas apresentaram temperatura constante de 24°C.

As temperaturas mínimas obtidas nas quatro zonas térmicas ficaram entre 18°C e 19°C, mesmo sendo almejadas em períodos quentes são consideradas muito baixas, ressaltando que as mesmas foram obtidas entre 8h00min e 9h00min, horário este que não há grande incidência solar ou ocupação no ambiente.

Nas zonas térmicas 1 e 2 a temperatura máxima obtida de 36°C, ainda é considerada alta quando relacionada ao conforto térmico diante do exercício das atividades do ambiente, porém, esta temperatura foi registrada em um intervalo de um a dois dias, nota-se que a temperatura se manteve a maior parte do tempo por volta dos 31°C a 33°C.

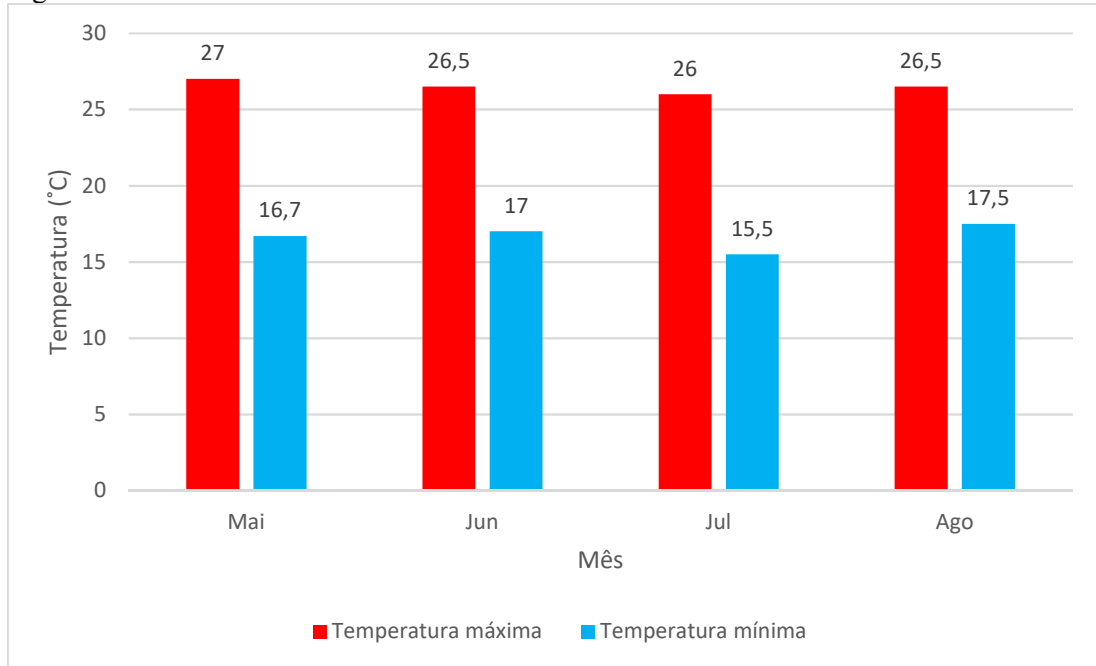
A grande variação de temperatura entre o térreo e os demais pavimentos, no segundo cenário se dá pelo fato que no térreo possui uma maior quantidade de área de vidro, com um vidro que possui cerca da metade do desempenho térmico e energético do qual foi inserido nos demais pavimentos. As atividades exercidas no pavimento térreo exigem maior esforço físico, pois se trata de estabelecimentos comerciais para vendas, fazendo assim, com que se tenha maior calor gerado pelo gasto metabólico dos usuários.

Nas zonas térmicas 4 e 7, a temperatura média foi de 24°C, considerada excelente para as atividades exercidas naquele ambiente. Os fatores que possibilitaram essa condição estão diretamente ligados à envoltória. Como mencionado anteriormente, os vidros laminados, considerados de alto desempenho térmico e energético, promoveram por si só, a redução de cerca de 80% na entrada de calor, sendo importante ressaltar, que os mesmos ainda contaram com o sombreamento das marquises, com fator de proteção solar de aproximadamente 70%. As paredes externas compostas de concreto maciço e isolamento duplo em EPS colaboraram significativamente para a situação, pois as mesmas fizeram a edificação trabalhar como uma caixa térmica, impedindo a entrada de calor para o meio interior.

Tendo em vista as temperaturas obtidas nas zonas 4 e 7, ainda assim, seria necessário a instalação de um aparelho para o condicionamento artificial do ar, porém, teria o seu acionamento apenas em situações esporádicas, como, dias de extremo calor, excesso da ocupação junto com o esforço físico. Para as zonas 1 e 2, também, seria necessário a instalação de um aparelho para o condicionamento artificial do ar, porém, com um acionamento mais contínuo quando comparado as outras zonas.

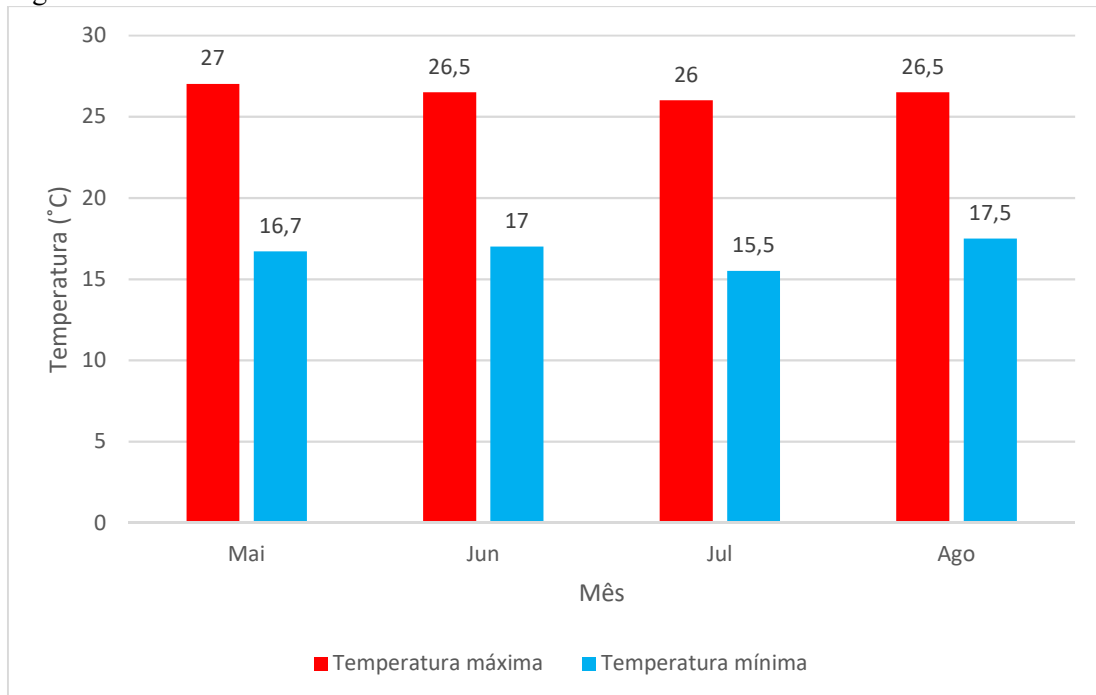
4.1.2.2 Análise do conforto térmico entre os meses de maio a agosto

Figura 37: Temperaturas máximas e mínimas na zona térmica 01 entre os meses de maio a agosto no segundo cenário



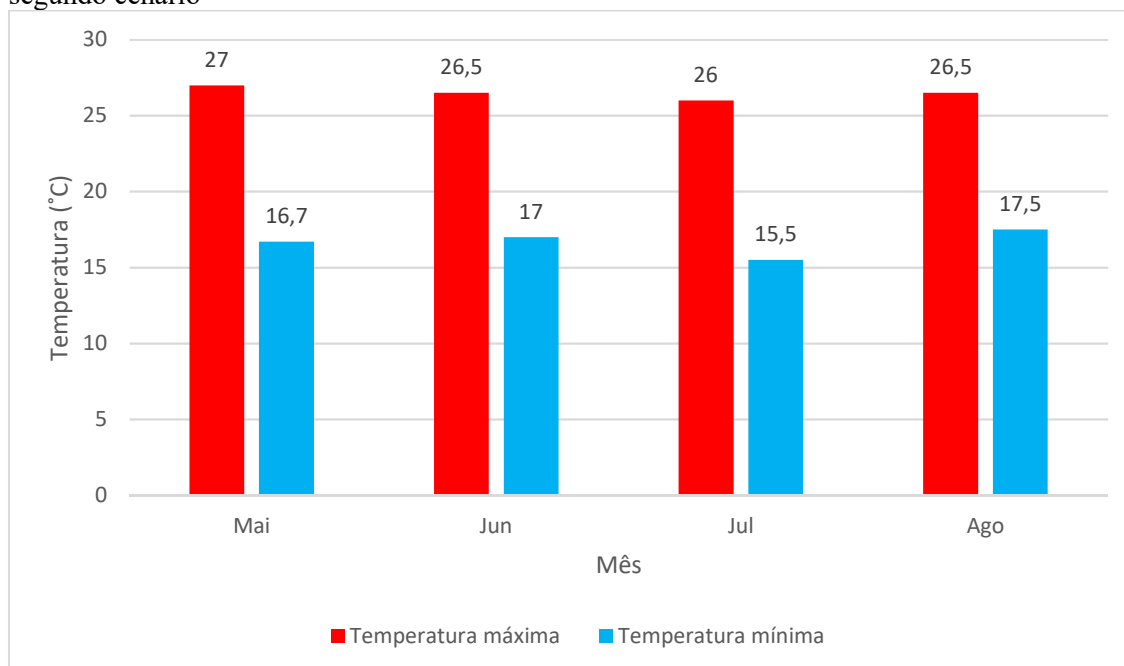
Fonte: Autor (2017)

Figura 38: Temperaturas máximas e mínimas na zona térmica 02 entre os meses de maio a agosto no segundo cenário



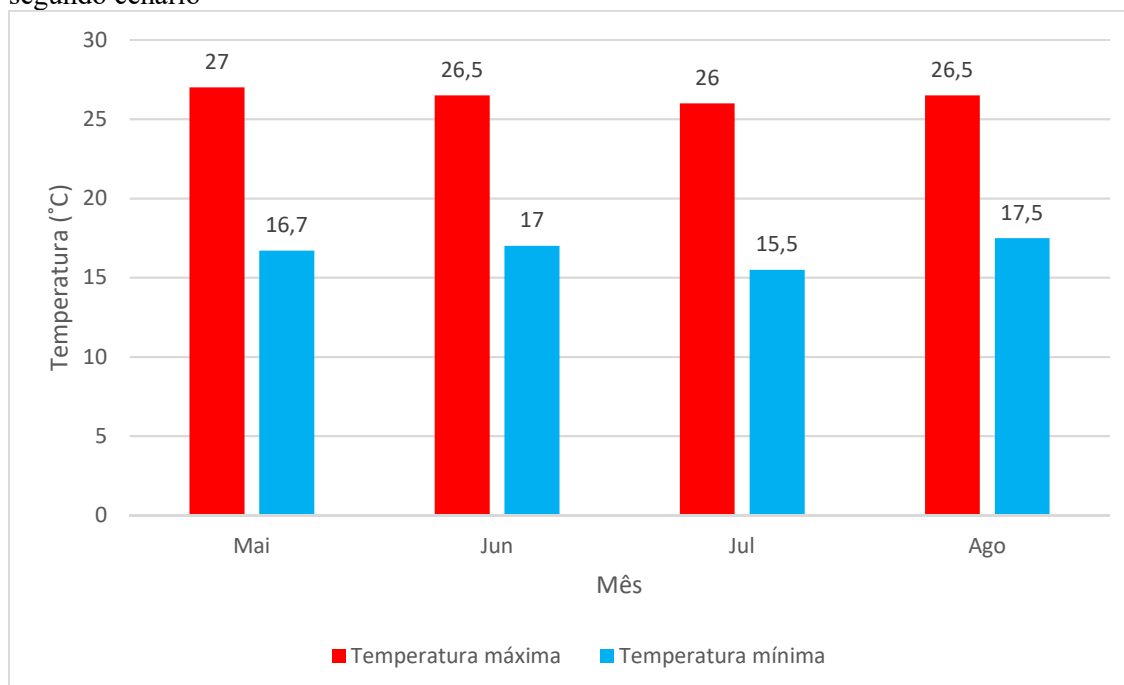
Fonte: Autor (2017)

Figura 39: Temperaturas máximas e mínimas na zona térmica 04 entre os meses de maio a agosto no segundo cenário



Fonte: Autor (2017)

Figura40: Temperaturas máximas e mínimas na zona térmica 07 entre os meses de maio a agosto no segundo cenário



Fonte: Autor (2017)

Para simulação realizada entre os meses de maio a agosto convém analisar o comportamento da edificação quando exposta a climas frios.

As zonas térmicas 1 e 2, referente as salas comerciais no pavimento térreo, apresentou temperatura mínima de 18°C, a mesma ainda é considerada baixa quando se refere ao conforto térmico dos usuários. As temperaturas médias ficaram entre 19°C e 22°C.

As zonas 4 e 7, referente as salas comerciais no primeiro e segundo pavimento tipo, apresentaram temperatura mínima de 15,5°C, considerada muito baixa quando se refere ao conforto térmico dos ocupantes, porém, a temperatura média foi por volta de 21°C.

As zonas térmicas 1 e 2 obtiveram um melhor desempenho nesta época do ano, pois a área e o tipo de vidro, permitiu uma maior entrada de calor, possibilitando que as temperaturas variassem entre 19°C e 22°C na maior parte do tempo. O fato de ter presença de solo abaixo do piso colaborou para esta condição, fazendo com que o mesmo atuasse como um isolante térmico, impedindo a entrada do frio e a saída do calor.

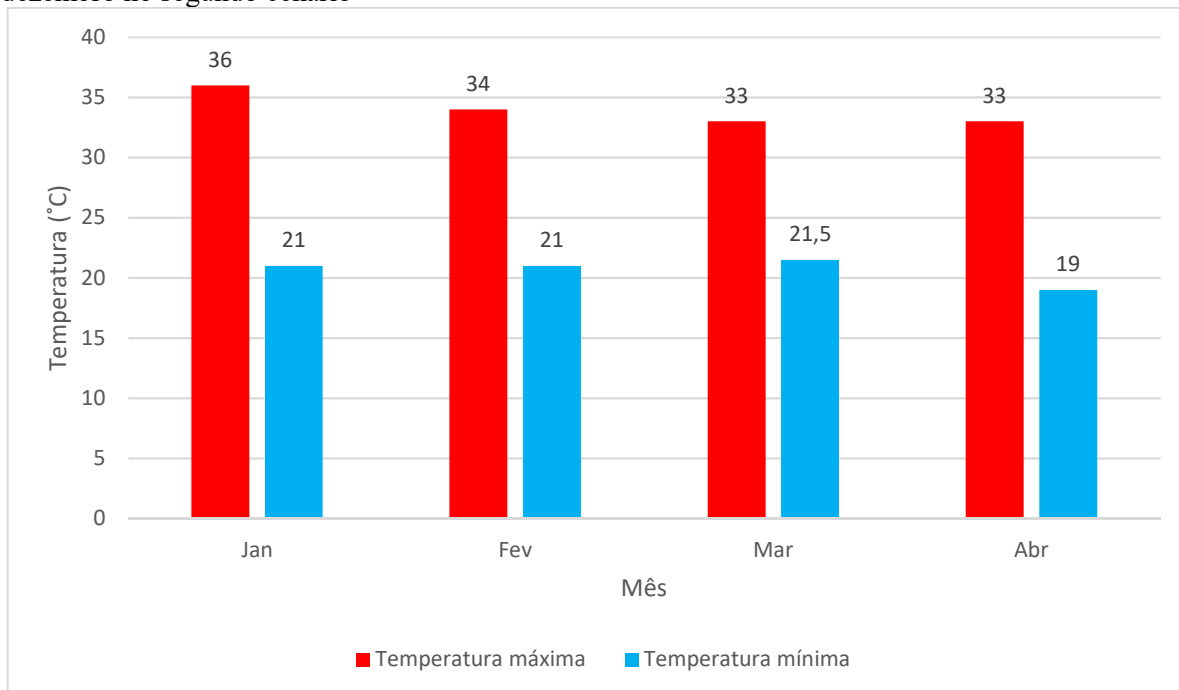
A temperatura de 15,5°C registrada nas zonas 4 e 7 referente as salas comerciais do primeiro e segundo pavimento tipo, se dá, por dois motivos principais. O primeiro está relacionado com laje, pois diferente do térreo, não há solo abaixo, fazendo com que se tenha uma área superficial maior para a perda de calor. O segundo está relacionado com o sombreamento das aberturas. Como dito anteriormente, o vidro tem propriedades de isolamento térmico, impedindo cerca de 90% a entrada de calor. Somando o fator de proteção solar de 70% que as marquises propiciam, o resultado é uma baixa entrada de calor.

As paredes externas em ambas as zonas, propiciaram um bom desempenho nesta época do ano, atuando como um recipiente térmico, isolando e mantendo as temperaturas internas.

Por mais que se obtiveram temperaturas consideradas baixas em alguns dias na simulação, já seria cabível a possibilidade de instalação de um sistema de aquecimento.

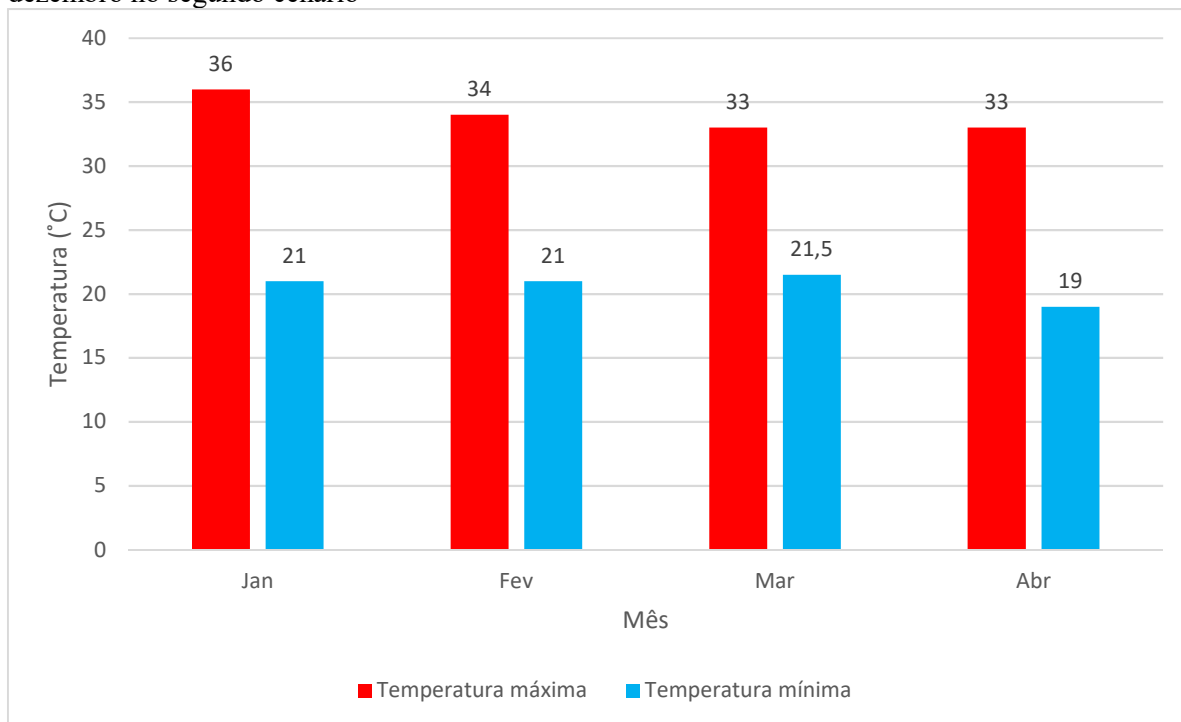
4.1.2.3 Análise do conforto térmico entre os meses de setembro a dezembro

Figura 41: Temperaturas máximas e mínimas na zona térmica 01 entre os meses de setembro a dezembro no segundo cenário



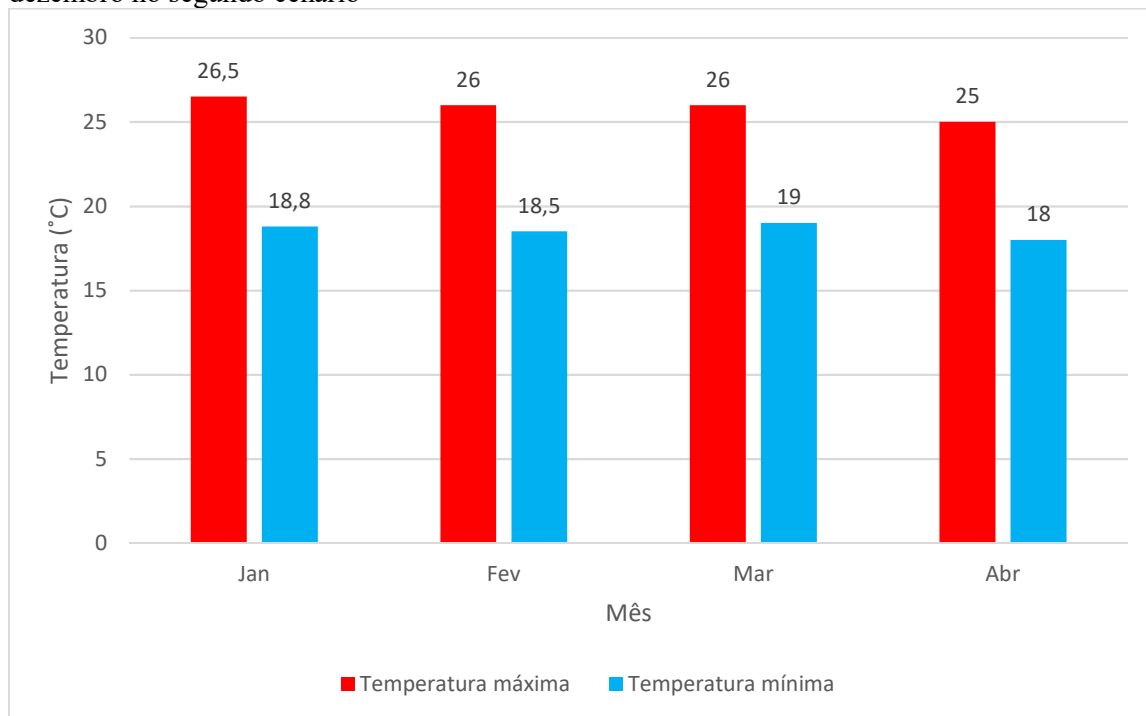
Fonte: Autor (2017)

Figura 42: Temperaturas máximas e mínimas na zona térmica 02 entre os meses de setembro a dezembro no segundo cenário



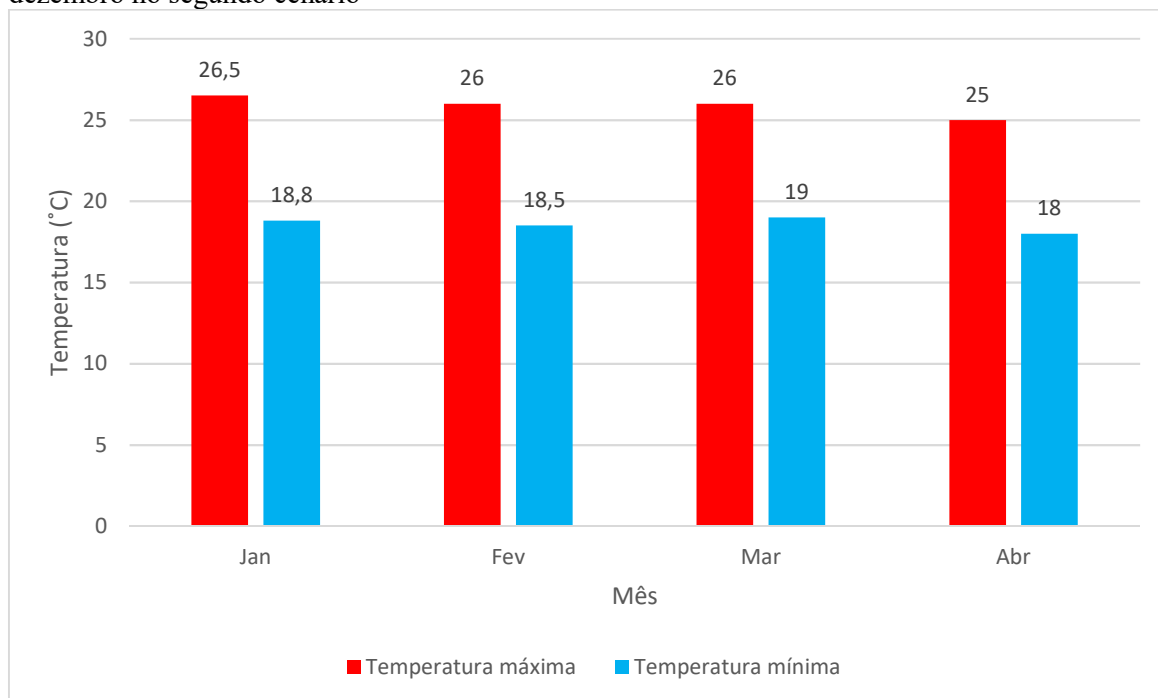
Fonte: Autor (2017)

Figura 43: Temperaturas máximas e mínimas na zona térmica 04 entre os meses de setembro a dezembro no segundo cenário



Fonte: Autor (2017)

Figura 44: Temperaturas máximas e mínimas na zona térmica 07 entre os meses de setembro a dezembro no segundo cenário



Fonte: Autor (2017)

Os resultados obtidos na simulação referente aos meses de setembro a dezembro foram os mesmos dos obtidos nos meses de janeiro a abril, mantendo as mesmas temperaturas

máximas, mínimas e médias nos ambientes analisados.

4.1.3 Análise comparativa do conforto térmico entre os cenários

Os resultados apresentados pelo software de simulação energética *EnergyPlus*, foram obtidos através da sua configuração, considerando os materiais constituintes da sua envoltória, ocupação, funcionamento e equipamentos. Tudo isso resultou nas temperaturas máximas, mínimas e médias de cada ambiente analisado.

As zonas térmicas 1 e 2, referentes as salas comerciais do pavimento térreo, obtiveram temperatura máxima de 42°C e mínima de 13°C na simulação do primeiro cenário. As aberturas compostas por um vidro comum e incolor, sem qualquer propriedade térmica, junto com a falta de técnicas de sombreamento permitia o fluxo de calor não coeso no ambiente. As paredes externas compostas de concreto armado maciço, além de favorecer o fluxo térmico, fazia com que a edificação se mantivesse aquecida ou resfriada durante algumas horas do período noturno, pelo fato de se tratar de um péssimo condutor de calor, demorando tanto para aquecer como para se resfriar.

As mesmas zonas no segundo cenário, do qual se embasa em materiais de alto desempenho energético, junto com técnicas de sombreamento, obteve temperatura máxima de 36°C e mínima de 18°C. A variação de 6°C na temperatura máxima de um cenário para o outro, pode ainda não ser bom quando relacionado ao conforto térmico dos usuários, mas pode ser relevante quando relacionada a um sistema de condicionamento de ar artificial, fazendo com que o aparelho chegue na temperatura desejada em menos tempo, consequentemente, com um menor consumo de energia. Quanto a variação de 5°C na temperatura mínima, pode se considerar relevante em questões de conforto térmico, dependendo das condições e classificações do usuário.

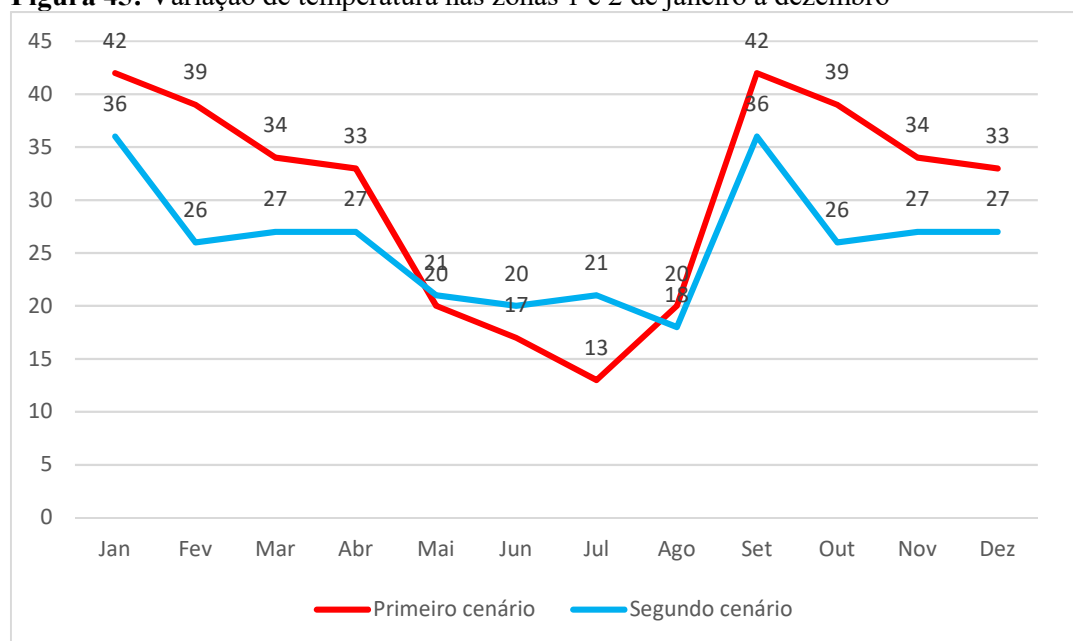
As zonas térmicas 4 e 7, referentes as salas comerciais do primeiro e segundo pavimento tipo, obtiveram temperatura máxima de 40°C e mínima de 9°C na simulação do primeiro cenário, decorrente da vasta área de vidro, junto com o tipo do mesmo e a inexistência de qualquer artifício de sombreamento. As paredes de concreto armado maciço sem qualquer tipo de isolamento térmico favoreceram a entrada e saída de calor.

No segundo cenário, as zonas 4 e 7 obtiveram excelentes resultados. A temperatura máxima obtida foi de 26°C, porém a temperatura se manteve por volta dos 24°C na maior parte do tempo analisado. A temperatura mínima foi de 15,5°C, mantendo a maior parte do tempo,

por volta dos 21°C. A redução da área de vidro, junto com a utilização de um mesmo de alto desempenho térmico e energético, contribui significativamente para as condições obtidas. As técnicas de sombreamento utilizadas reduziram em cerca de 70% a incidência solar das aberturas. As paredes externas de concreto armado maciço com isolamento duplo em EPS regulou e isentou o fluxo de calor em algumas parcelas da envoltória, fazendo com que se mantivesse temperaturas ideais para o conforto térmico dos usuários, neste caso, não sendo necessária a utilização de um sistema de condicionamento de ar artificial.

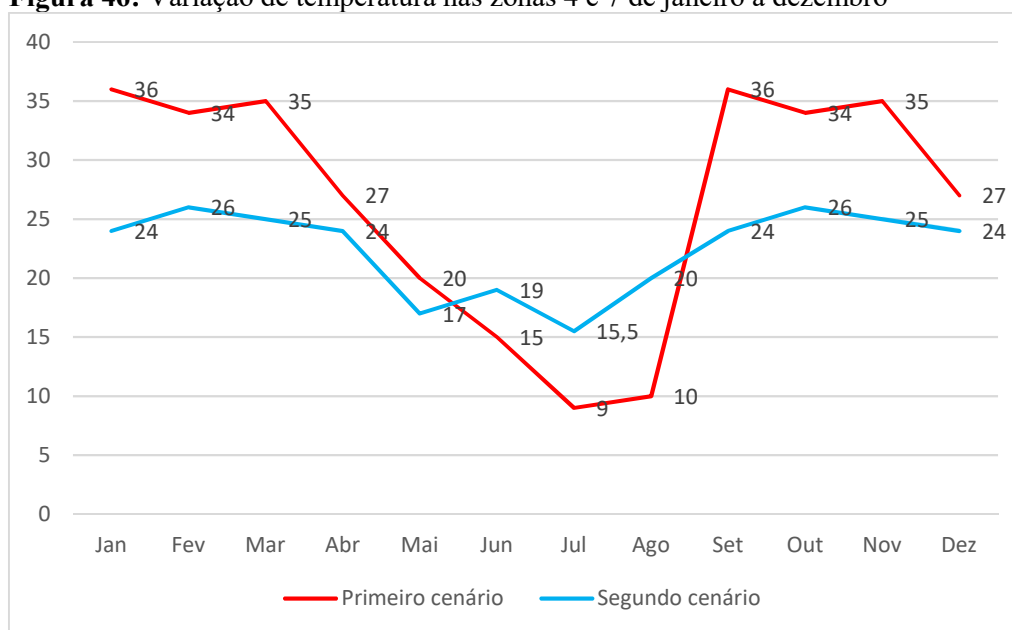
A Figura 45 representa a variação de temperaturas médias nas zonas 1 e 2, entre o primeiro e segundo cenário, entre os meses de janeiro a dezembro.

Figura 45: Variação de temperatura nas zonas 1 e 2 de janeiro a dezembro



Fonte: Autor (2017)

A Figura 46, representa a variação de temperatura nas zonas 4 e 7, entre o primeiro e segundo cenário, entre os meses de janeiro a dezembro.

Figura 46: Variação de temperatura nas zonas 4 e 7 de janeiro a dezembro

Fonte: Autor (2017)

Nota-se, no primeiro cenário, uma variação alta de temperaturas. Durante o ano, as temperaturas podem variar de 42°C a 13°C e de 36°C a 9°C. No segundo cenário, ainda aparecem variações, porém, com menos intensidade. Durante o ano, as temperaturas podem variar de 36°C a 18°C e de 24°C a 15,5°C, ou seja, no primeiro cenário pode haver uma variação térmica máxima de até 29°C, enquanto no segundo, a máxima variação, chega aos 18°C durante o ano.

Com menos variação térmica, além do conforto térmico dos usuários, pode-se ter uma menor frequência de manutenções da edificação, com o surgimento de pequenas patologias decorrentes da trabalhabilidade térmica da mesma, otimizando o seu uso e reduzindo custos.

4.1.4 Análise do consumo de energia decorrente da iluminação

Conforme foi descrito na metodologia, no primeiro cenário, foi inserido luminárias com 4 lâmpadas fluorescentes de 20W. Após os cálculos no *software Lumisoft*, foi obtido os seguintes resultados para as zonas 1, 2, 4 e 7 do primeiro cenário, respectivamente apresentados pelas Figura 47, 48, 49 e 50 valores de densidade de iluminação no primeiro cenário, conforme Tabela 13.

Figura 47: Cálculo luminotécnico da zona térmica 1



Lumisoft (2017)

Para a zona térmica 02, referente a sala comercial 02 no pavimento térreo, foi calculado o total de 32 luminárias do modelo escolhido, conforme Figura 48.

Figura 48: Cálculo luminotécnico da zona térmica 2



Lumisoft (2017)

Para a zona térmica 04, referente a sala comercial 03 no pavimento tipo 1, foi calculado o total de 18 luminárias do modelo escolhido, conforme Figura 49.

Figura 49: Cálculo luminotécnico da zona térmica 4



Lumisoft (2017)

Para a zona térmica 07, referente a sala comercial 04 no pavimento tipo, foi calculado o total de 32 luminárias do modelo escolhido, conforme Figura 50.

Figura 50: Cálculo luminotécnico da zona térmica 7

Informe dados do ambiente

Nome do ambiente: Sala 2 - Pav. Tipo

Largura: 19,7 metros

Comprimento: 9,7 metros

Altura: 3 metros

Plano de trabalho: 0,8 metros

Refletância Teto: 70 %

Refletância Parede: 50 %

Refletância chão: 50 %

Fator de perda: 0,85

Distribuição da(s) luminária(s)

Illuminância: 500

Nº de Luminárias: 30,48

Linhas x Colunas: 4 x 8

Ângulo de instalação: 0

Altura de instalação: 2,6

☒ Inserir luminárias

Modulação de forro

☒ sem modulação

☐ 0,625m x 0,625m

☐ 1,25m x 0,625m

☐ 0,625m x 1,25m

Escala de cores

Visualizar

CAC01-S416

Fluxo: 4200 lux

iluminância média: 532,79 lux

32 luminária(s) modelo CAC01-S416

Lumisoft (2017)

Tendo os resultados obtidos pelo *software Lumisoft*, foi possível determinar a densidade de iluminação no primeiro cenário, conforme Tabela 13.

Tabela 13: Densidade de iluminação dos ambientes do edifício no primeiro cenário

Zona térmica	Pavimento	Ambientes	Densidade de Iluminação (W/m ²)
Zona 01	Térreo	Sala comercial 01	17,76
Zona 02	Térreo	Sala comercial 02	13,68
Zona 04	Pavimento tipo	Sala comercial 03	16,72
Zona 07	Pavimento tipo	Sala comercial 04	13,68

Fonte: Autor (2017)

só as lâmpadas consumiriam em média 97,28 kWh/dia, totalizando R\$1.245.18 por mês, de acordo com o valor cobrado pela Companhia Paranaense de Energia (COPEL).

Conforme descrito na metodologia, no segundo cenário, foi inserido luminárias com uma lâmpada de LED de 37W. Levando em consideração o cálculo luminotécnico, obteve os seguintes resultados para as zonas 1, 2, 4 e 7 no segundo cenário, respectivamente apresentados nas Figuras 51, 52, 53 e 54.

Para a zona térmica 1, referente a sala comercial 01, situada no pavimento térreo, foi calculado o total de 20 luminárias, conforme Figura 51.

Figura 51: Cálculo luminotécnico zona térmica 01 – pavimento térreo



Fonte: Lumisoft (2017)

Para a zona térmica 2, referente a sala comercial 02, situada no pavimento térreo, foi calculado o total de 32 luminárias, conforme Figura 52.

Figura 52: Cálculo luminotécnico zona térmica 02 – pavimento térreo

Informe dados do ambiente

Nome do ambiente: Sala 02 - térreo

Largura: 19,70 metros

Comprimento: 9,7 metros

Altura: 3 metros

Plano de trabalho: 0,8 metros

Refletância Teto: 70 %

Refletância Parede: 50 %

Refletância chão: 50 %

Fator de perda: 0,85

Distribuição da(s) luminária(s)

Iluminância: 500

Nº de Luminárias: 30,63

Linhas x Colunas: 4 x 8

Ângulo de instalação: 0

Altura de instalação: 2,7

☒ Inserir luminárias

Modulação de forro

☒ sem modulação

☐ 0,625m x 0,625m

☐ 1,25m x 0,625m

☐ 0,625m x 1,25m

Escala de cores

Visualizar

FHT05-E414

clique aqui para escolher a luminária

Fluxo: 3880 lux

iluminância média : 535,44 lux

1000

750

500

250

0

32 luminária(s) modelo FHT05-E414

Fonte: Lumissoft (2017)

Para a zona térmica 4, referente a sala comercial 03, situada no pavimento tipo, foi calculado o total de 15 luminárias, conforme Figura 53.

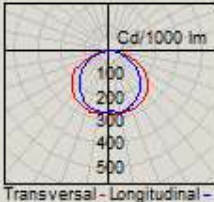
Figura 53: Cálculo luminotécnico zona térmica 04 – pavimento tipo

Informe dados do ambiente

Nome do ambiente	Sala 03 - Pav. Tipo		Distribuição da(s) luminária(s)	Modulação de forro
Largura	7,7	metros	Iluminância	500
Comprimento	9,7	metros	Nº de Luminárias	13,83
Altura	3	metros	Linhas x Colunas	5 x 3
Plano de trabalho	0,8	metros	Ângulo de instalação	0
Refletância Teto	70	%	Altura de instalação	2,7
Refletância Parede	50	%	☒ Inserir luminárias	☒ sem modulação ☐ 0,625m x 0,625m ☐ 1,25m x 0,625m ☐ 0,625m x 1,25m
Refletância chão	50	%		 Escala de cores  Visualizar  
Fator de perda	0,85			

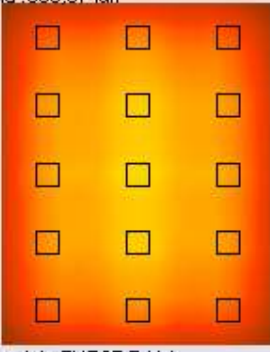
FHT05-E414

clique aqui para
escolher a luminária



Fluxo lux

iluminância média : 566,07 lux
 1000
750
500
250
0



15 luminária(s) modelo FHT05-E414

Fonte: Lumisoft (2017)

Para a zona térmica 7, referente a sala comercial 04, situada no pavimento tipo, foi calculado o total de 32 luminárias, conforme Figura 54.

Figura 54: Cálculo luminotécnico zona térmica 07 – pavimento tipo

Informe dados do ambiente

Nome do ambiente: Sala 04 - Pav. Tipo

Largura: 19,7 metros

Comprimento: 9,7 metros

Altura: 3 metros

Plano de trabalho: 0,9 metros

Refletância Teto: 70 %

Refletância Parede: 50 %

Refletância chão: 50 %

Fator de perda: 0,85

Distribuição da(s) luminária(s)

Iluminância: 500

Nº de Luminárias: 30,12

Linhas x Colunas: 4 x 8

Ângulo de instalação: 0

Altura de instalação: 2,6

☒ Inserir luminárias

Modulação de forro

☒ sem modulação

☐ 0,625m x 0,625m

☐ 1,25m x 0,625m

☐ 0,625m x 1,25m

Escala de cores

Visualizar

FHT05-E414

Fluxo: 3880 lux

iluminância média : 544,40 lux

32 luminária(s) modelo FHT05-E414

Fonte: Lumisoft (2017)

Com os resultados obtidos pelo *software Lumisoft*, foi possível determinar os valores de densidade de iluminação em cada ambiente, conforme Tabela 14.

Tabela 14: Densidade de iluminação dos ambientes do edifício no segundo cenário

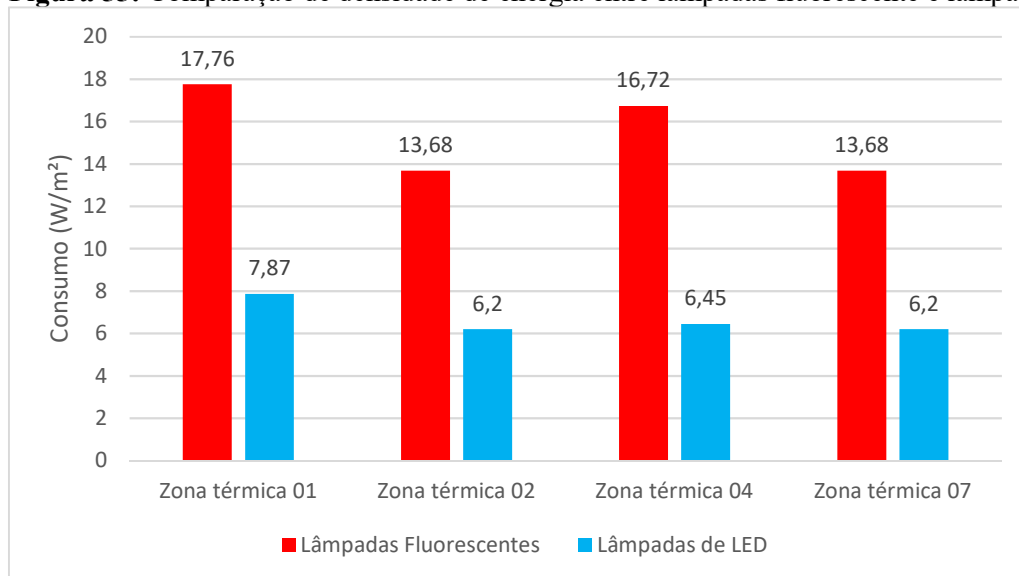
Zona térmica	Pavimento	Ambientes	Densidade de Iluminação (W/m²)
Zona 01	Térreo	Sala comercial 01	7,87
Zona 02	Térreo	Sala comercial 02	6,20
Zona 04	Pavimento tipo	Sala comercial 03	6,45
Zona 07	Pavimento tipo	Sala comercial 04	6,20

Fonte: Autor (2017)

Com a alteração do tipo das lâmpadas, obteve um consumo diário de energia de 43,22 kWh/dia, totalizando R\$553.16 por mês, de acordo com o valor cobrado pela mesma companhia de fornecimento de energia.

A Figura 55 representa a diferença no consumo de energia, entre a utilização das luminárias com lâmpadas fluorescentes e com LED nas zonas térmicas analisadas.

Figura 55: Comparação de densidade de energia entre lâmpadas fluorescente e lâmpadas de LED



Fonte: Autor (2017)

De acordo com o gráfico representado pela Figura 55, nota-se uma redução de até 55% no consumo de energia elétrica decorrente do funcionamento das luminárias internas da edificação.

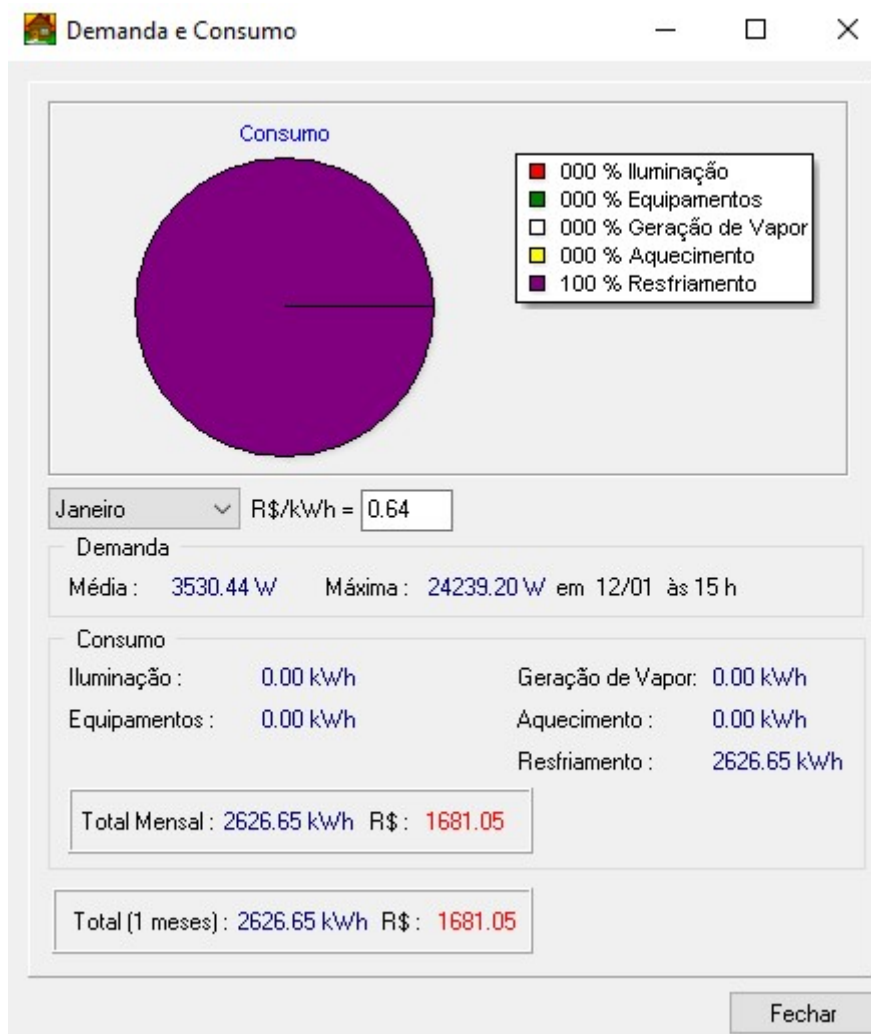
Além da redução significativa no consumo de energia elétrica, obteve-se uma redução na geração de carga térmica. Como as lâmpadas de LED consomem menos energia, consequentemente, dispersão uma menor quantidade da mesma no ambiente, contribuindo para um melhor conforto térmico sem interferir na luminosidade adequada para realização das atividades específicas do ambiente.

4.1.5 Análise do consumo de energia decorrente dos aparelhos de condicionamento artificial do ar no mês de janeiro

Para a análise do consumo de energia decorrente da utilização de aparelhos de ar condicionado, foi configurado no *software Domus* para que apresentasse os resultados do consumo no mês de janeiro, quando a utilização dos mesmos tem uma maior frequência.

Após a simulação do primeiro cenário no *software Domus*, obteve-se os resultados apresentados na Figura 56.

Figura 56: Consumo de energia no primeiro cenário decorrente da utilização de aparelhos de ar condicionado

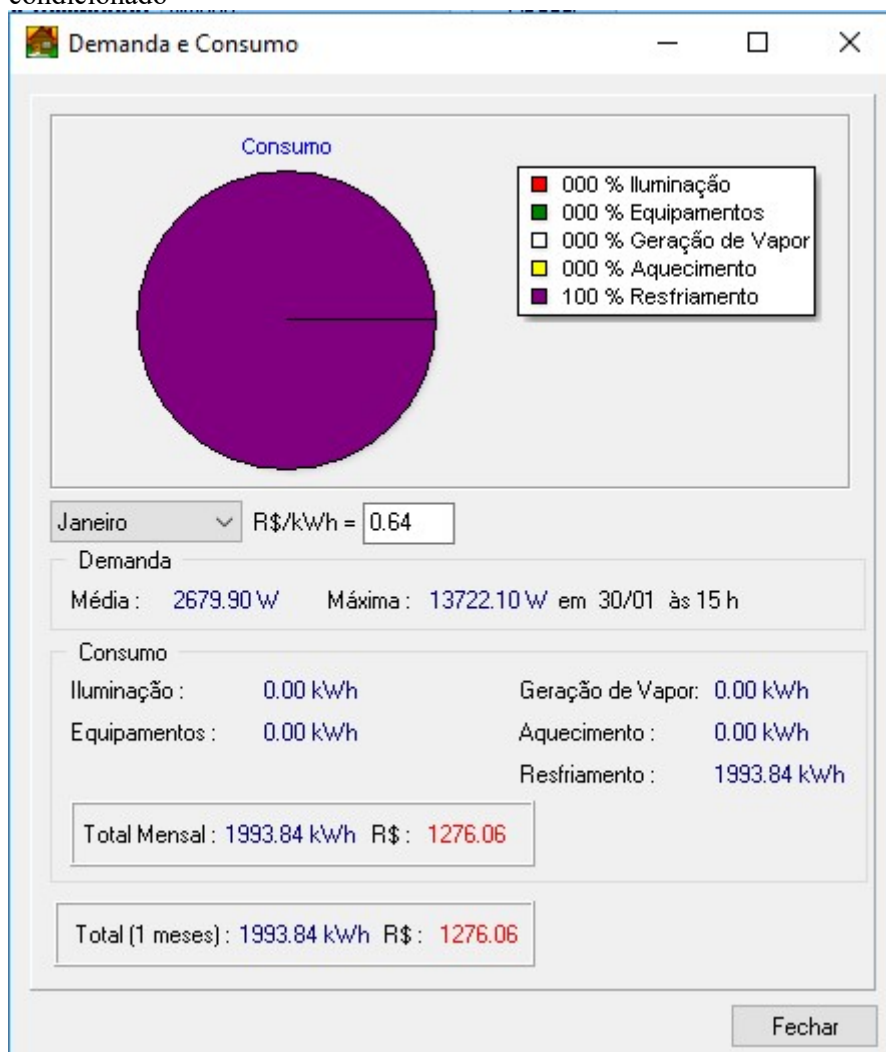


Fonte: Domus (2017)

No primeiro cenário, do qual dispõe de uma envoltória formada por materiais e técnicas convencionais de construção, apresentou os resultados em relação ao consumo de energia decorrente da utilização de aparelhos condicionadores artificiais do ar, mostrando um consumo de 2626.65 kWh, totalizando R\$1681.05 por mês.

Após a simulação do segundo cenário no *software Domus*, obteve-se os resultados apresentados na Figura 57.

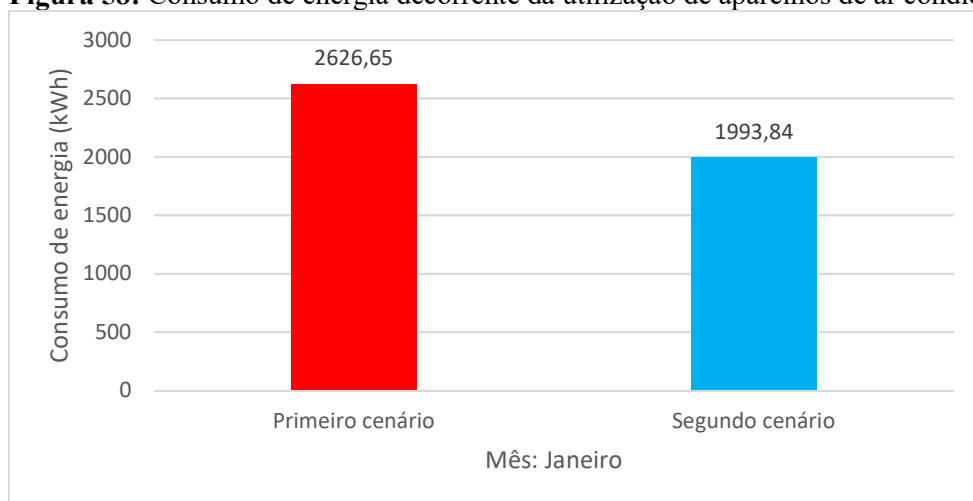
Figura 57: Consumo de energia no segundo cenário decorrente da utilização de aparelhos de ar condicionado



Fonte: Domus (2017)

No segundo cenário, do qual dispõe de uma envoltória formada por matérias de alto desempenho térmico e energético, e que, conta com técnicas de sombreamento nas aberturas, apresentou um consumo de energia mensal decorrente dos aparelhos de ar condicionado de 1993.84 kWh, totalizando R\$1276.06.

A Figura 58 apresenta em gráfico a variação no consumo de energia elétrica decorrente da utilização de aparelhos de ar condicionado.

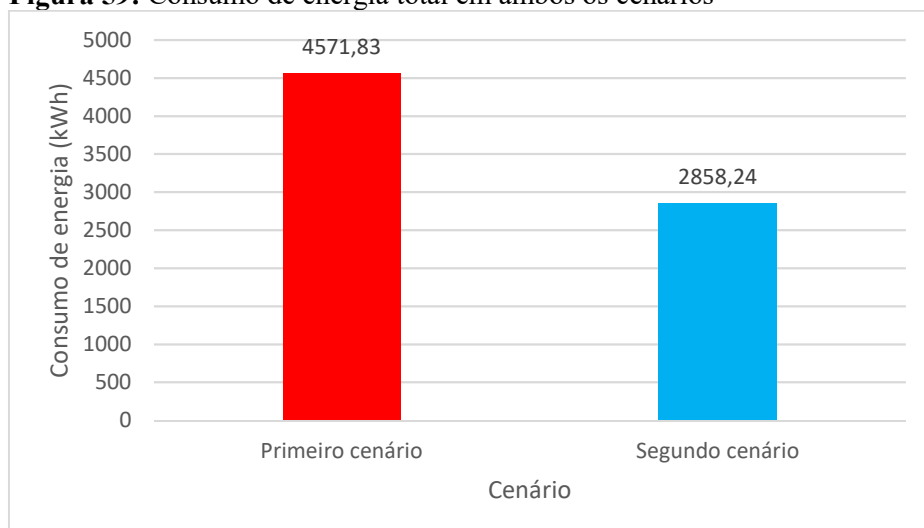
Figura 58: Consumo de energia decorrente da utilização de aparelhos de ar condicionado

Fonte: Autor (2017)

Nota-se uma redução no consumo de energia elétrica de aproximadamente 24,10% entre o primeiro e segundo cenário, resultante da redução da entrada de calor na edificação decorrente dos materiais de alto desempenho inseridos na envoltória, junto com as técnicas de sombreamento artificial.

4.1.6 Análise do consumo de energia total da edificação

Somando o consumo de energia decorrente dos aparelhos de condicionamento artificial do ar com o consumo decorrente da iluminação artificial em ambos os cenários, resultou no consumo de energia total da edificação conforme apresenta a Figura 59.

Figura 59: Consumo de energia total em ambos os cenários

Fonte: Autor (2017)

A diferença entre o consumo de energia total entre o primeiro e o segundo cenário, resultou em 1713,59 kWh/mês, considerando o valor cobrado pela Companhia de Energia Paranaense (COPEL), resultaria em uma economia de R\$1.096,68 por mês.

4.1.7 Análise do conforto térmico dos usuários

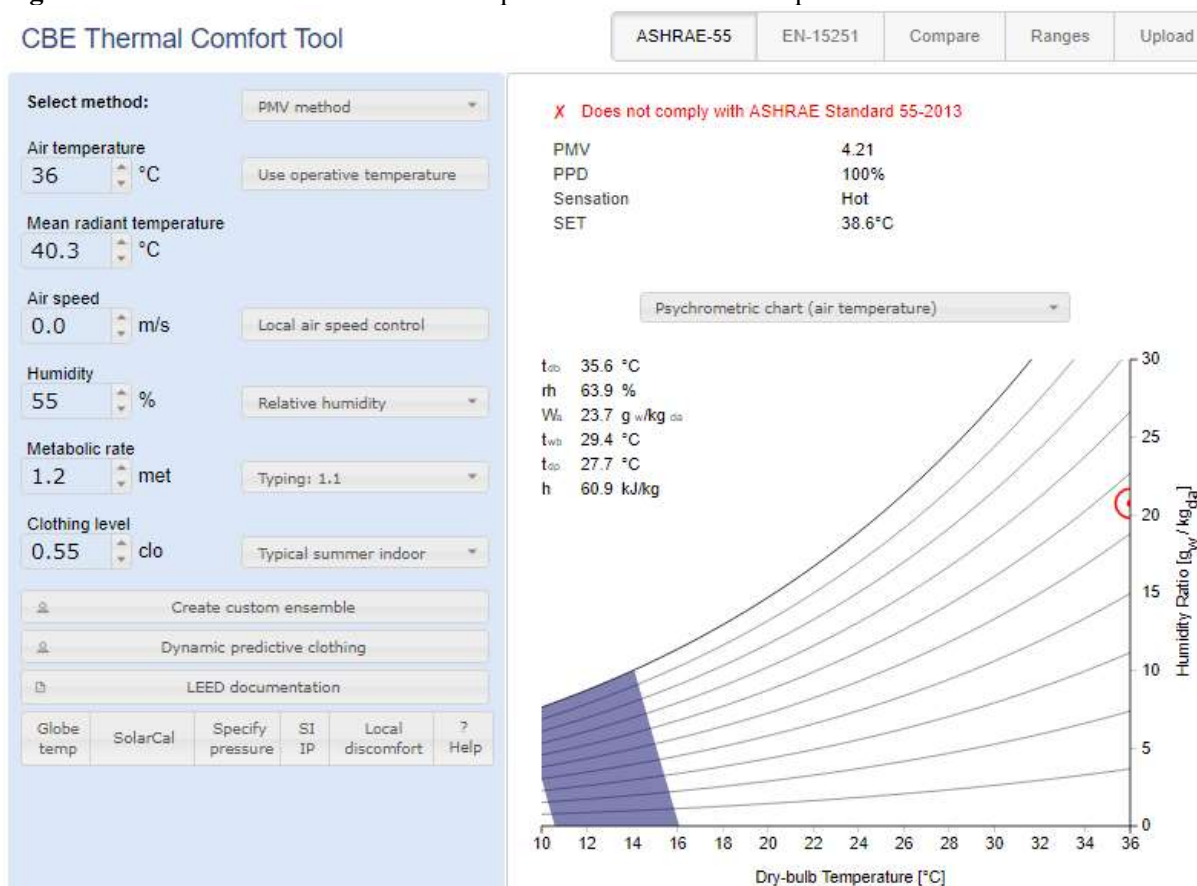
Após a inserção de dados no *software Thermal Comfort Tool*, foi obtido os seguintes resultados respectivamente para as zonas térmicas 1 e 4 do primeiro cenário conforme Figura 60 e 61.

Figura 60: Condição de conforto térmico para a zona térmica 1 no primeiro cenário



Fonte: *Thermal Comfort Tool* (2017)

Figura 61: Condição de conforto térmico para a zona térmica 4 no primeiro cenário

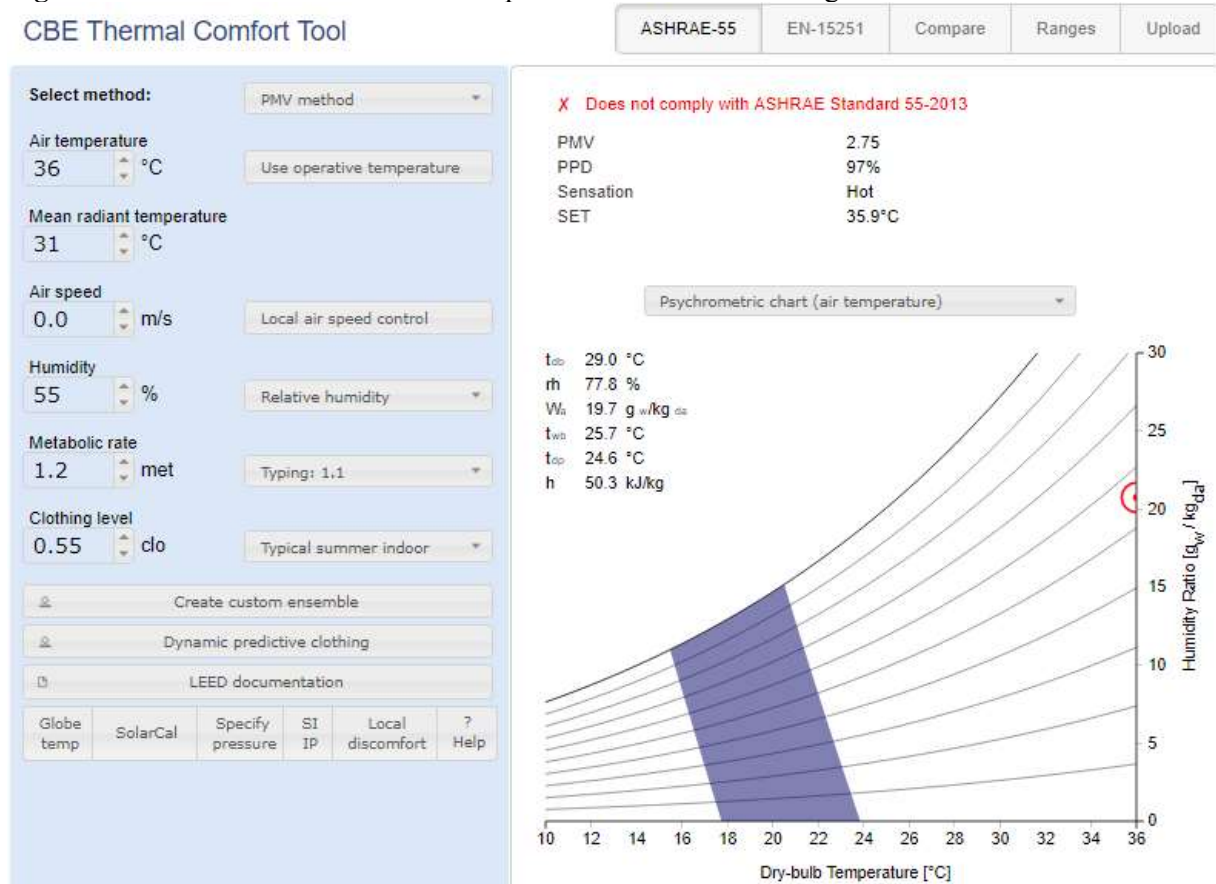


Fonte: *Thermal Comfort Tool* (2017)

De acordo com os cálculos apresentados pelo *software Thermal Comfort Tool*, os usuários teriam uma sensação quente do ambiente, tanto para a zona 1 referente a sala comercial 1 no pavimento térreo, quanto para a zona 4, referente a sala 3 no pavimento tipo.

Para o segundo cenário, foram obtidos os resultados para as zonas térmicas 1 e 4, apresentadas respectivamente pelas Figuras 62 e 63.

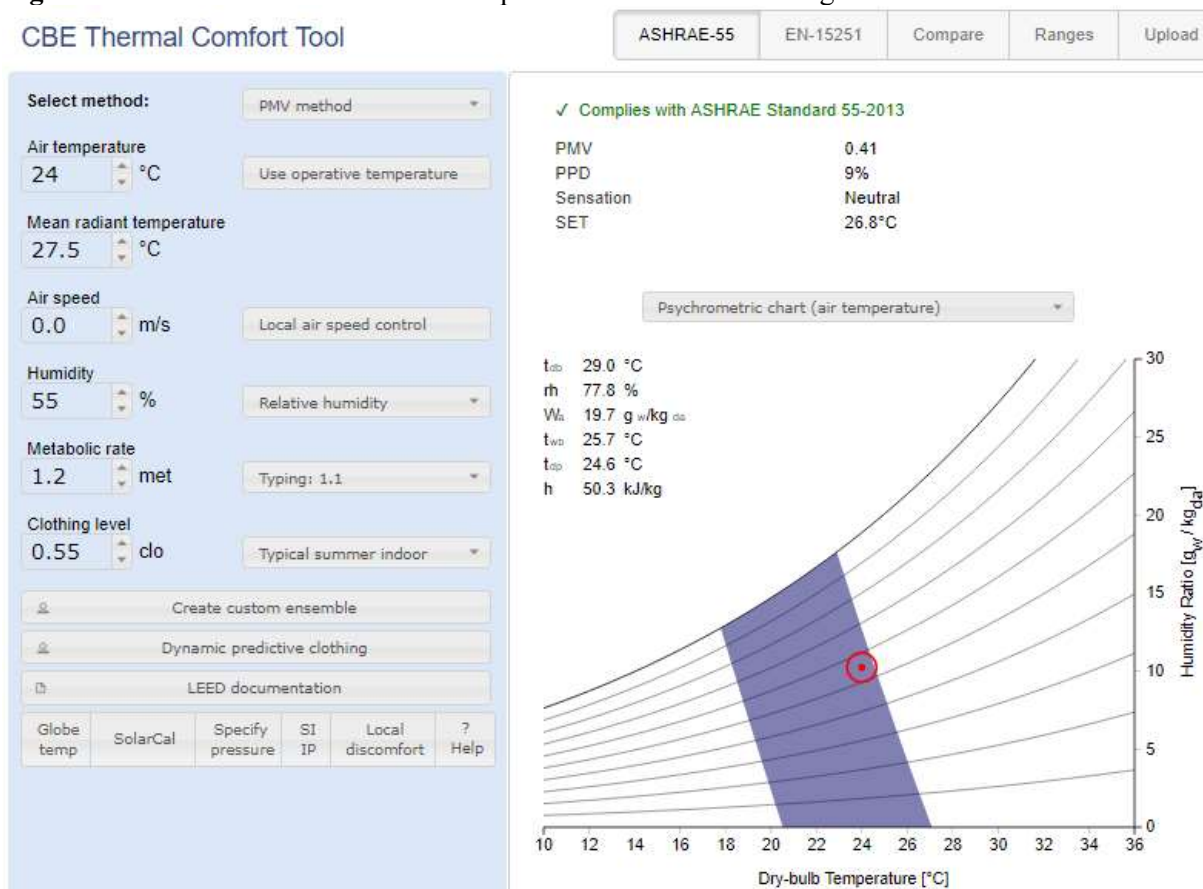
Figura 62: Condição de conforto térmico para a zona térmica 1 no segundo cenário



Fonte: *Thermal Comfort Tool* (2017)

Ainda no segundo cenário, a zona térmica apresentou condições de desconforto térmico aos usuários, retratou a sensação como quente.

Figura 63: Condição de conforto térmico para a zona térmica 4 no segundo cenário



Fonte: *Thermal Comfort Tool* (2017)

A zona térmica 4, referente a sala comercial 3 do pavimento tipo, foi a única analisada que apresentou condições adequadas de conforto térmico. O *software* classificou a sensação dos usuários como sendo neutra, ou seja, condição, esta, que dispensaria o uso de aparelho de condicionamento artificial do ar.

5 CAPÍTULO 5

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma vez criado o modelo de simulação em ambos os *softwares*, com a inserção dos dados a respeito da envoltória, iluminação, ocupação e funcionamento, foi possível obter as informações e resultados em relação às condições de conforto térmico e consumo de energia da edificação nos dois cenários apresentados.

O primeiro cenário, do qual se refere à envoltória com materiais convencionais de construção, sem isolamento térmico ou técnicas que possibilitam o sombreamento nas aberturas, apresentou condições de conforto térmico não adequadas para as atividades específicas de cada ambiente, obtendo temperatura máxima interna de até 42°C, sendo necessário a utilização de aparelhos de condicionamento artificial do ar, elevando o consumo de energia.

O segundo cenário, do qual se refere a envoltória com materiais de alto desempenho térmico e energético, com isolamento térmico nas paredes e técnicas de sombreamento nas aberturas, apresentou condições de conforto térmico favoráveis para os usuários da edificação. Em algumas zonas térmicas, foram obtidas temperaturas médias máximas de 24°C, sendo consideradas excelentes para o conforto térmico dos ocupantes. Não seria necessária a instalação de um aparelho de condicionamento artificial do ar nessas zonas, reduzindo significativamente o consumo de energia.

Nota-se uma melhor eficiência energética no segundo cenário. A utilização de materiais de alto desempenho, junto com técnicas de sombreamento nas aberturas, mostrou-se eficaz nas reduções significativas das temperaturas internas, com isso, tem-se consequentemente a diminuição na frequência do acionamento dos aparelhos de condicionamento artificial.

6 CAPÍTULO 6

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como uma continuação do trabalho presente, recomenda-se a inclusão de um sistema solar fotovoltaico para geração e energia elétrica. Seria de extrema relevância o foco para sistemas que possibilitem a redução no consumo da água na edificação, optando por reservatórios que colem a água da chuva, sistemas de aproveitamento e tratamento de água próprio instalado na edificação.

Neste trabalho foram desenvolvidos projetos fictícios em modelagens tridimensionais. Também é sugerido que se opte por realizar simulações em edificações existentes para possibilitar a realização de comparações entre a condição real e simulada, preferencialmente em edificações residencial, apontando assim meios e artifícios que possibilitem uma melhor eficiência energética, levando em consideração também as questões de viabilidade econômica.

7 REFERÊNCIAS

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Energia**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/> . Acesso em: 15 Mai. 2017.

ARNOLD, D. The evolution of modern Office buildings and air conditioning, **Ashrae Journal**, Junho, 1996.

BRACHT, K. M. **Estudo de alternativas de projeto com foco em eficiência energética utilizando BIM**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - SC, 2016.

CAVALCANTE, E. S. C.; LOPES, J. D. S. **Energia solar para aquecimento de água**. Viçosa: CPT, 2001.

CHING, F. D. K. **Técnicas de construção ilustradas**. Porto Alegre: Bookman, p. 478, 2010.

COSTA, C. E. **Ar condicionado** - Arquitetura ecológica condicionamento térmico natural. Vol. 1, p. 193, Porto Alegre, 2004

DOMUS. **Eletrobrás Procel**. Disponível em: <http://www.domus.pucpr.br/>. Acesso em 15 Mai. 2017

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Anuário estatístico de energia elétrica 2015 ano base 2014**, p. 47, Brasília, 2015.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Ministério de Minas e Energia**, Brasília. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/Forms/Anurio> . Acesso em: 10 Mai. 2017.

ENERGYPLUS. **United States Department of Energy**. Disponível em: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>. Acesso em: 10 Mai. 2017.

FERRAZ, L. I. **Desempenho térmico de um sistema de cobertura verde em comparação ao sistema tradicional de cobertura com telha cerâmica**. 2012. Dissertação de mestrado (curso de Engenharia Civil) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

KEELER, M.; BURKE, B. **Fundamentos de projeto de edificações sustentáveis**. p. 17-20, Porto Alegre, 2010.

KRUGER, L. E.; SUETAKA, Y. G.; ADRIAZOLA, O. K. M. **Comparação do desempenho térmico de coberturas constituídas de embalagens tetra pak com manta reflexiva e placas de EPS**. Florianópolis, 2006.

KWOL, G. A.; GRONDZIK, T. W. **Manual de arquitetura ecológica**. Vol. 1, n.º 2, p. 11-19. Porto Alegre, 2013.

LAMBERTS, R. *et al.* **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3 ed., Rio de Janeiro: Eletrobras/Procel, 2014.

LAMBERTS, R. *et al.* **Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios – parte 1: método prescritivo.** Vol. 10, n.º 2, p. 7-26, Porto Alegre, 2010.

LORENZO, E. **Eletricidade Solar: ingeniería os sistemas fotovoltaicos.** Espanha: Artes gráficas Galas, 1994.

LOUDON, A. G. **Window design criteria to avoid overheating by excessive solar gains.** Building Research Station Current Paper. Londres: BRS, 1968.

MACKRES, E. Quatro benefícios surpreendentes da eficiência energética das construções **The City Fix**, 2016. Disponível em: <http://thecityfixbrasil.com/2016/05/11/quatro-beneficios-surpreendentes-das-construcoes-eficientes-em-energia-para-as-cidades/> Acesso em: 12 Mai. 2017.

MAZZAFERRO, L. **Influência de elementos construtivos do envelope no desempenho térmico de edificações unifamiliares.** 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - SC, 2013.

MELO, A. P., WESTPHAL, F. S., MATOS, M. **Apostila do curso básico do programa EnergyPlus.** 2009. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro tecnológico, Departamento de Engenharia Civil. Florianópolis - SC, 2009.

OLIVEIRA, L. P.; SOARES, G. R.; SANTOS, X. S. Desempenho térmico das edificações: estudo comparativo entre o telhado verde e outros tipos de cobertura, **Revista Petra**, Vol. 2, n. 1, p. 36-55, jan./jul. 2016.

PAPST, L. A.; LAMBERTS, R. Comparação do desempenho energético de três ambientes residenciais naturalmente ventilados em Florianópolis, sul do Brasil, **Encontro Nacional da Tecnologia do Ambiente Construído.** Foz do Iguaçu, 2002.

ROAF, S.; CRICHTON, D. NICOL, F. **A Adaptação de Edificações e cidades às mudanças climáticas**, Porto Alegre: Bookman, p. 247-251, 2009.

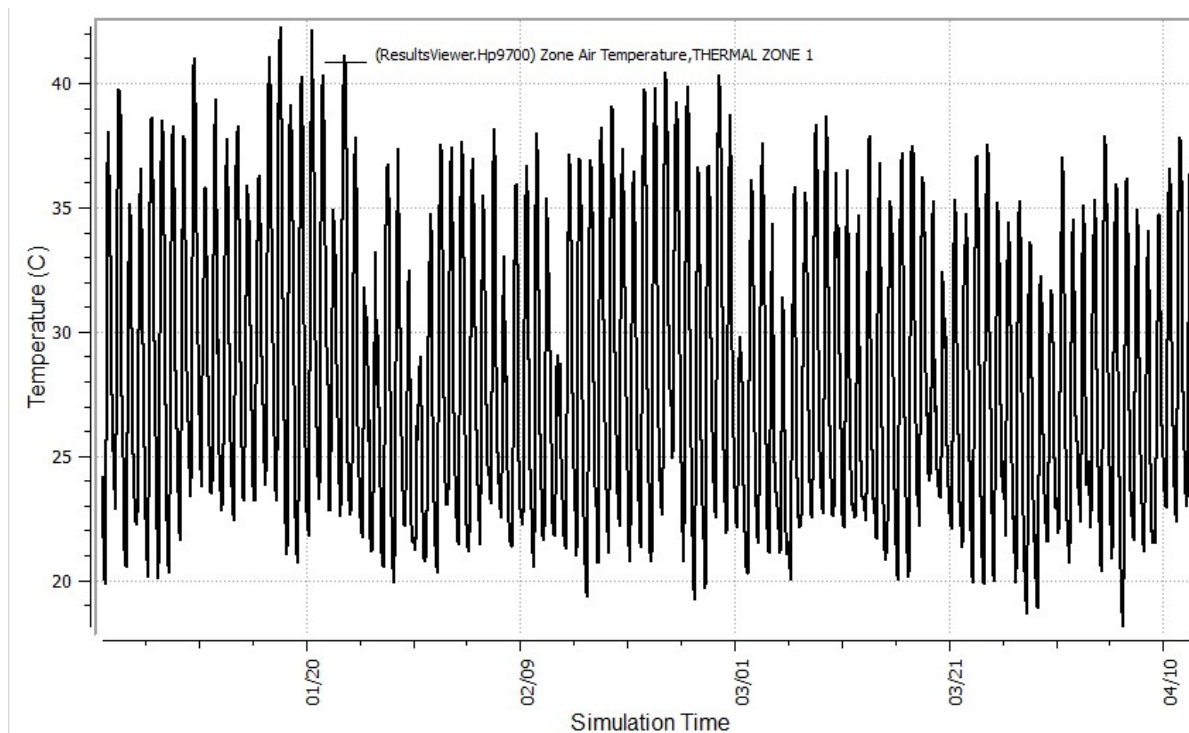
RUTHER, R. Componentes de um sistema solar fotovoltaico integrado a uma edificação urbana e interligado à rede elétrica, **Edifícios solares fotovoltaicos.** Vol. 1, p. 16-17, Florianópolis, 2004.

SANTANA, A. E.; SARAIVA, D. C. J.; SENNA, M. S. G. J.; RUFINO, D. R. **Atlas de energia elétrica no Brasil.** Vol. 1, n.º 3, p. 37-39, Brasília, 2008.

VIEIRA, K. R.; DURANTE, C. L.; NOGUEIRA, A. J. C. M.; PERES, B. M.; APOLÔNIO, M. R.; CALLEJAS, A. J. I. **Desempenho térmico de coberturas de telhas de aço galvanizadas autoportantes.** Cuiabá, 2010.

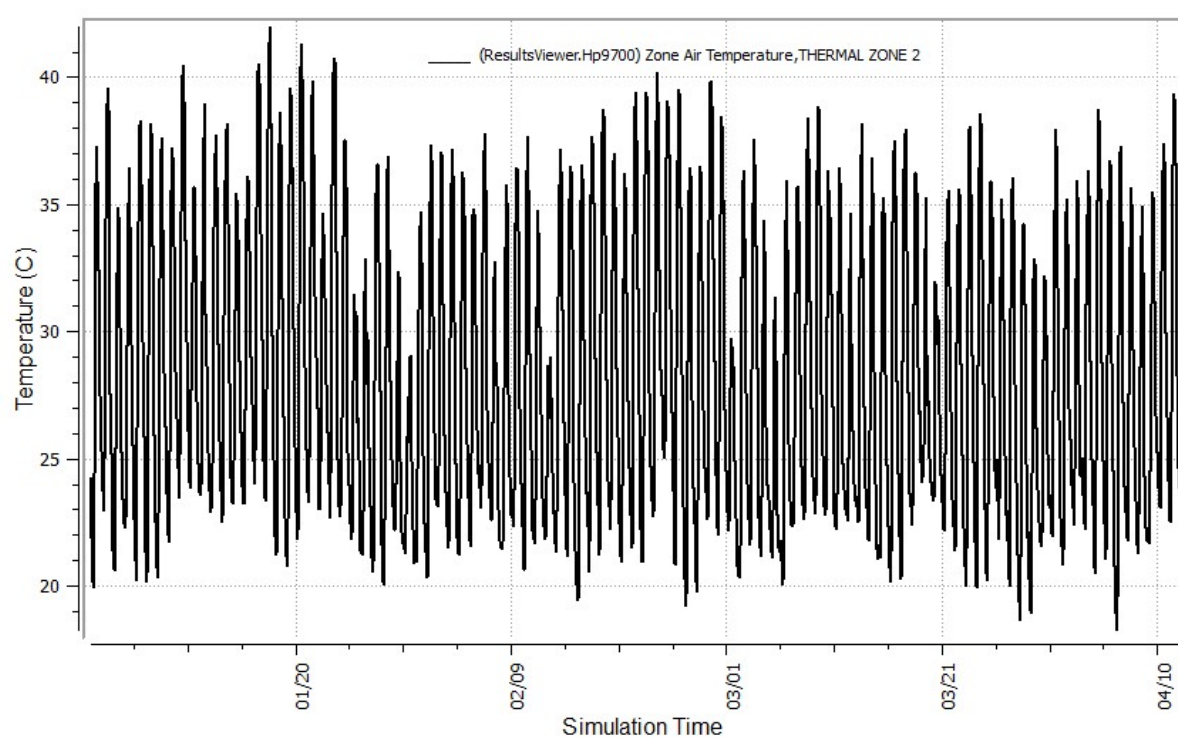
8 APÊNDICE

Figura 9: Temperatura interna da zona térmica 1 entre os meses de janeiro a abril.



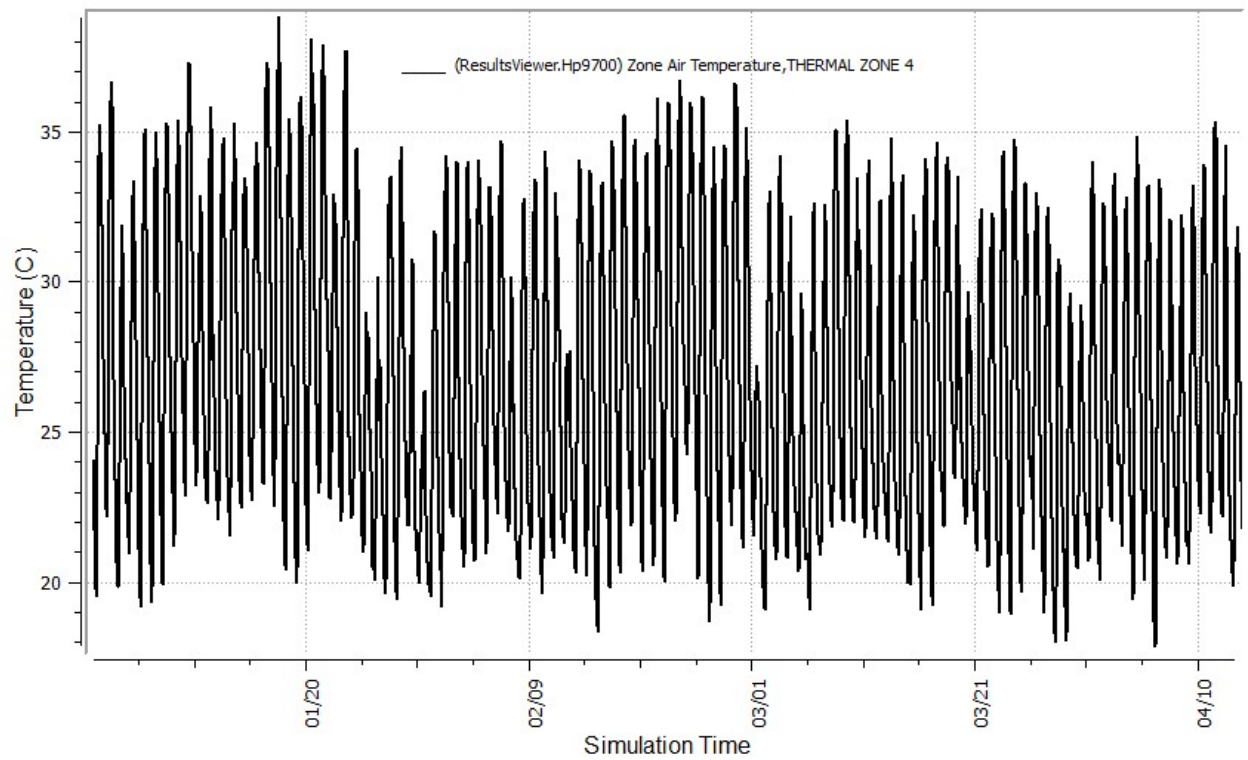
Fonte: Autor (2017)

Figura 10: Temperatura interna da zona térmica 2 entre os meses de janeiro a abril.



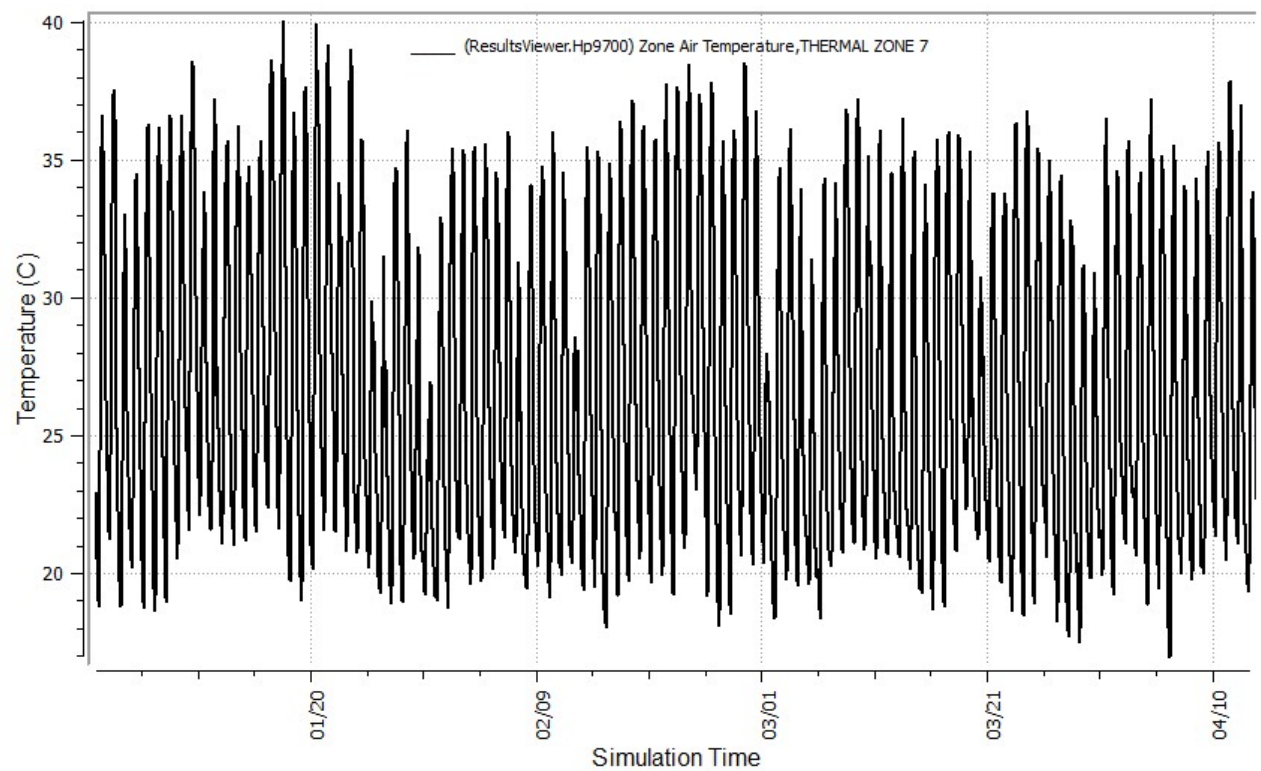
Fonte: Autor (2017)

Figura 11: Temperatura interna da zona térmica 4 entre os meses de janeiro a abril.



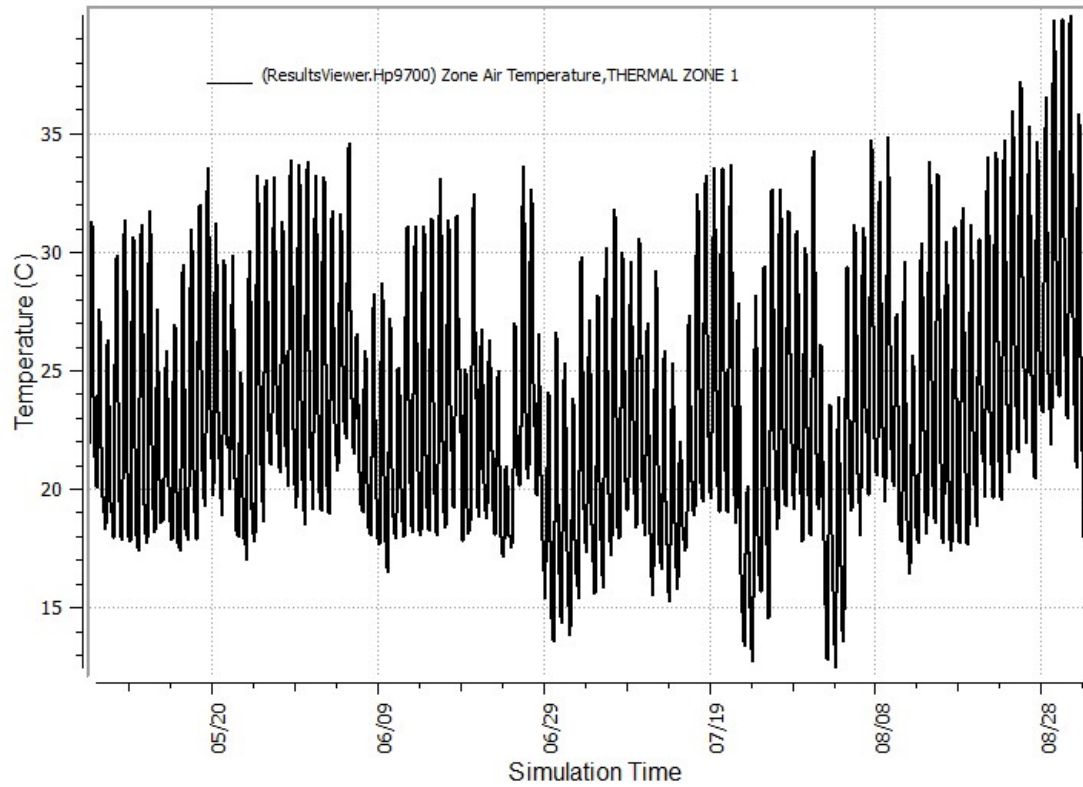
Fonte: Autor (2017)

Figura 12: Temperatura interna da zona térmica 7 entre os meses de janeiro a abril.



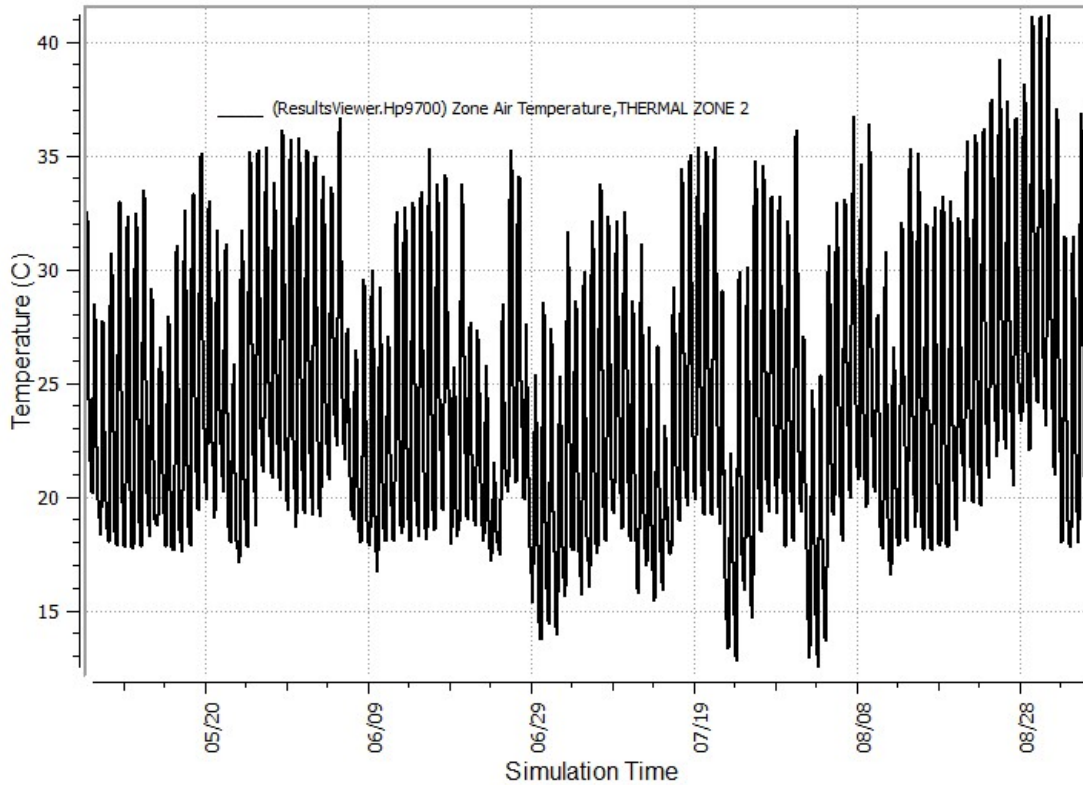
Fonte: Autor (2017)

Figura 13: Temperatura interna da zona térmica 1 entre os meses de maio a agosto.



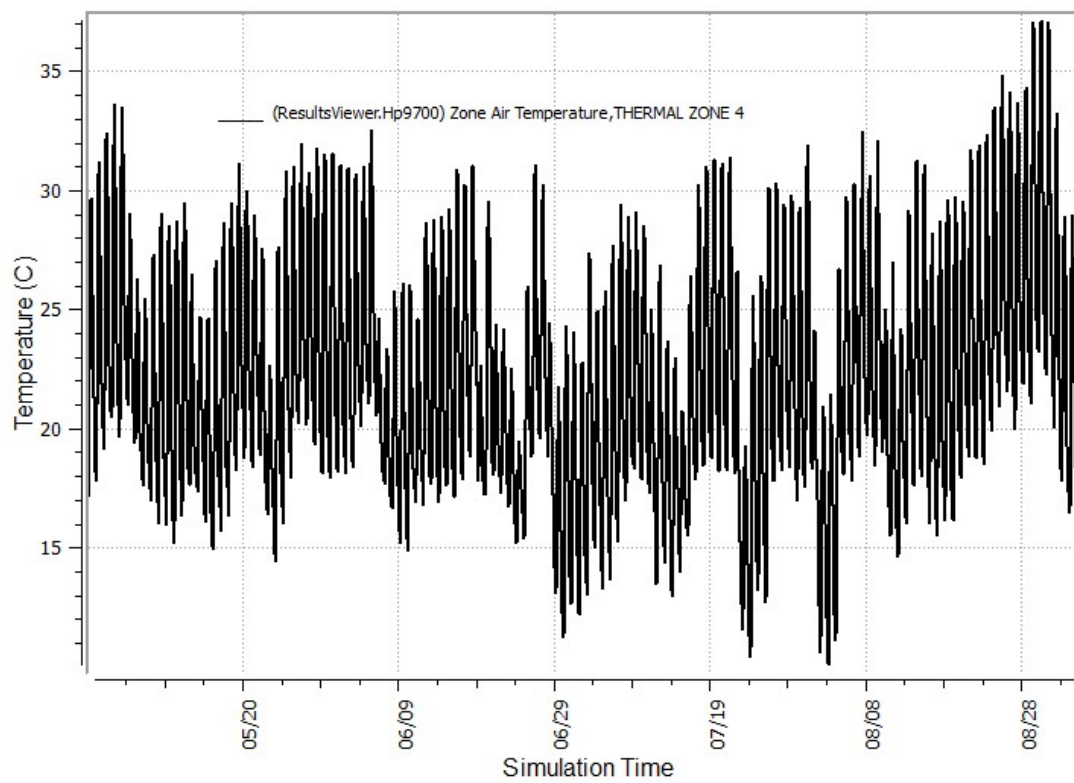
Fonte: Autor (2017)

Figura 14: Temperatura interna da zona térmica 2 entre os meses de maio a agosto



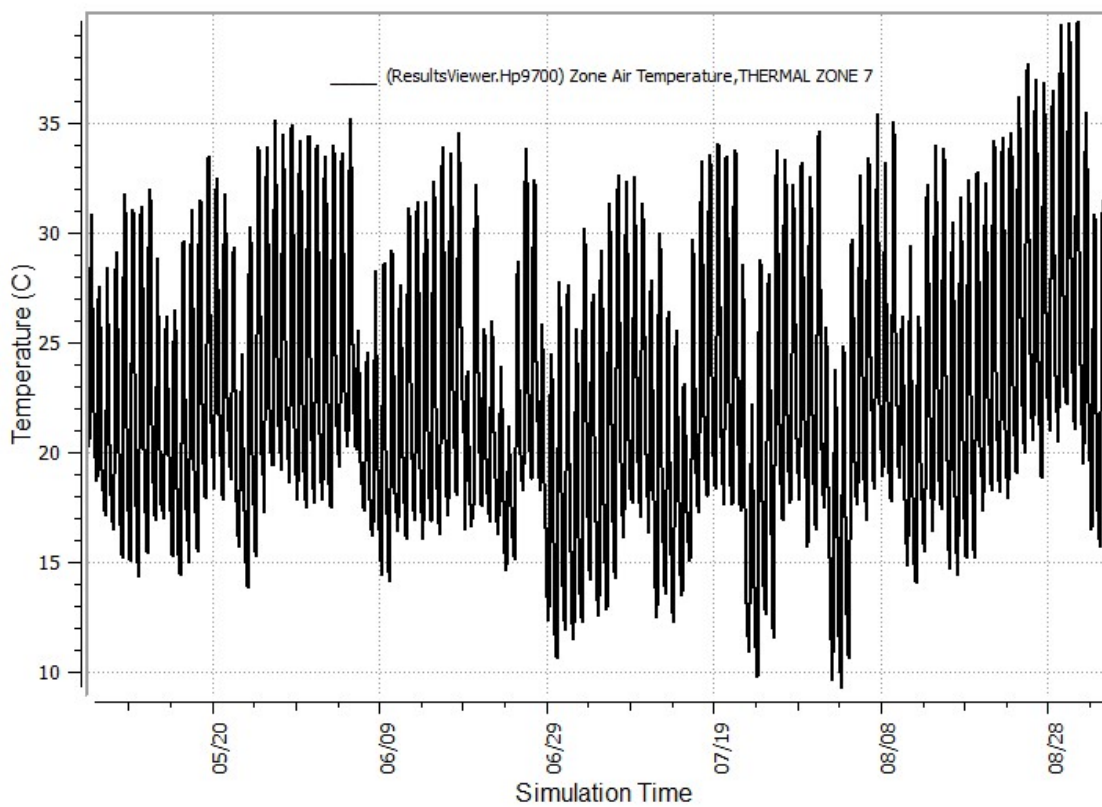
Fonte: Autor (2017)

Figura 15: Temperatura interna da zona térmica 4 entre os meses de maio a agosto.



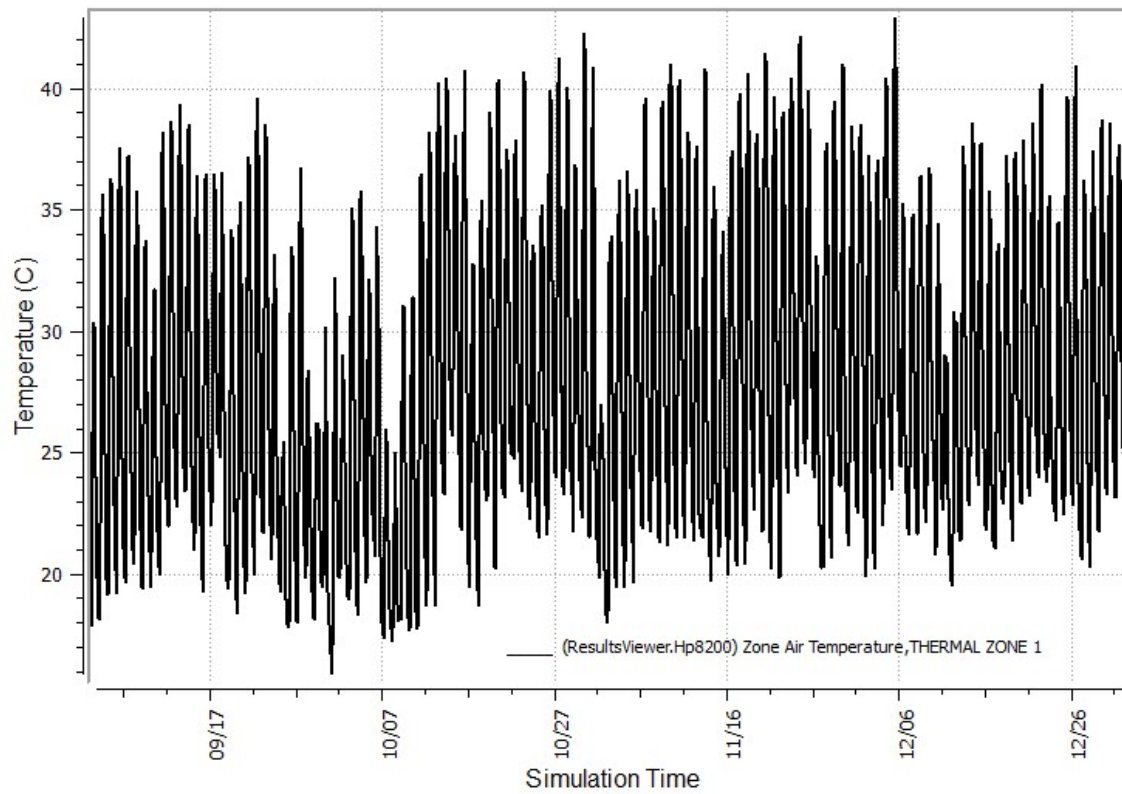
Fonte: Autor (2017)

Figura 16: Temperatura interna da zona térmica 7 entre os meses de maio a agosto.



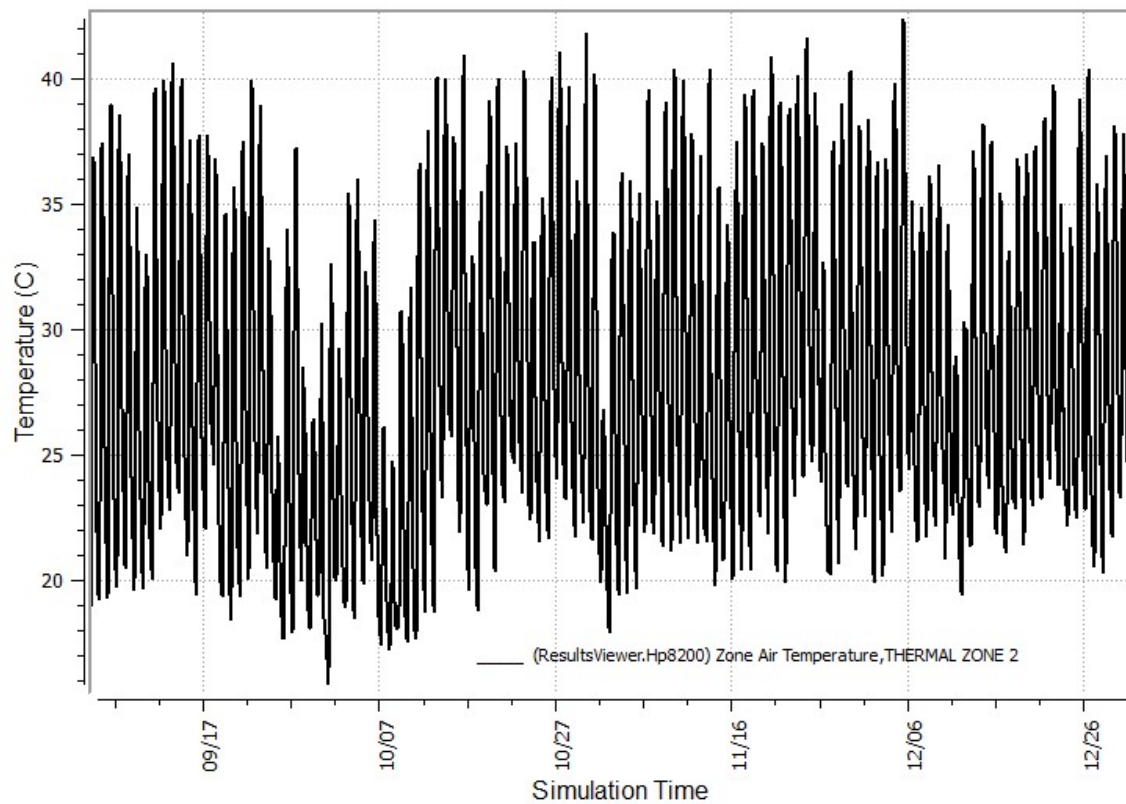
Fonte: Autor (2017)

Figura 17: Temperatura interna da zona térmica 1 entre os meses de setembro a dezembro.



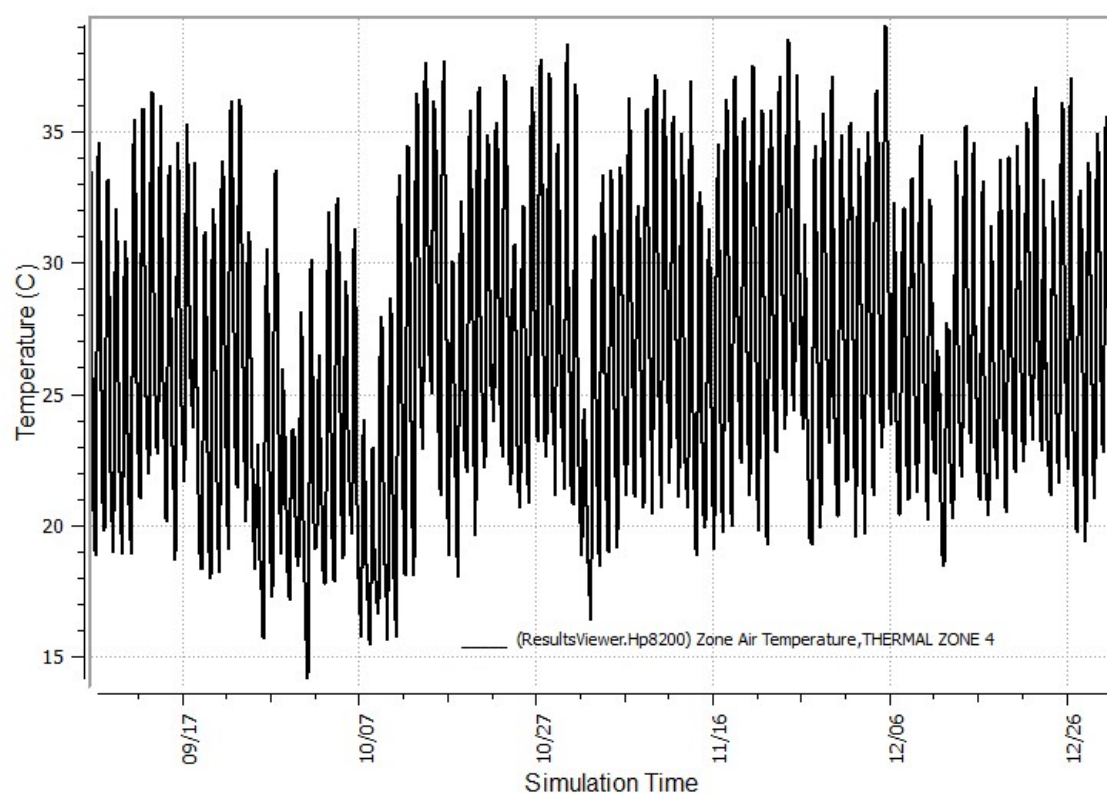
Fonte: Autor (2017)

Figura 18: Temperatura interna da zona térmica 2 entre os meses de setembro a dezembro.



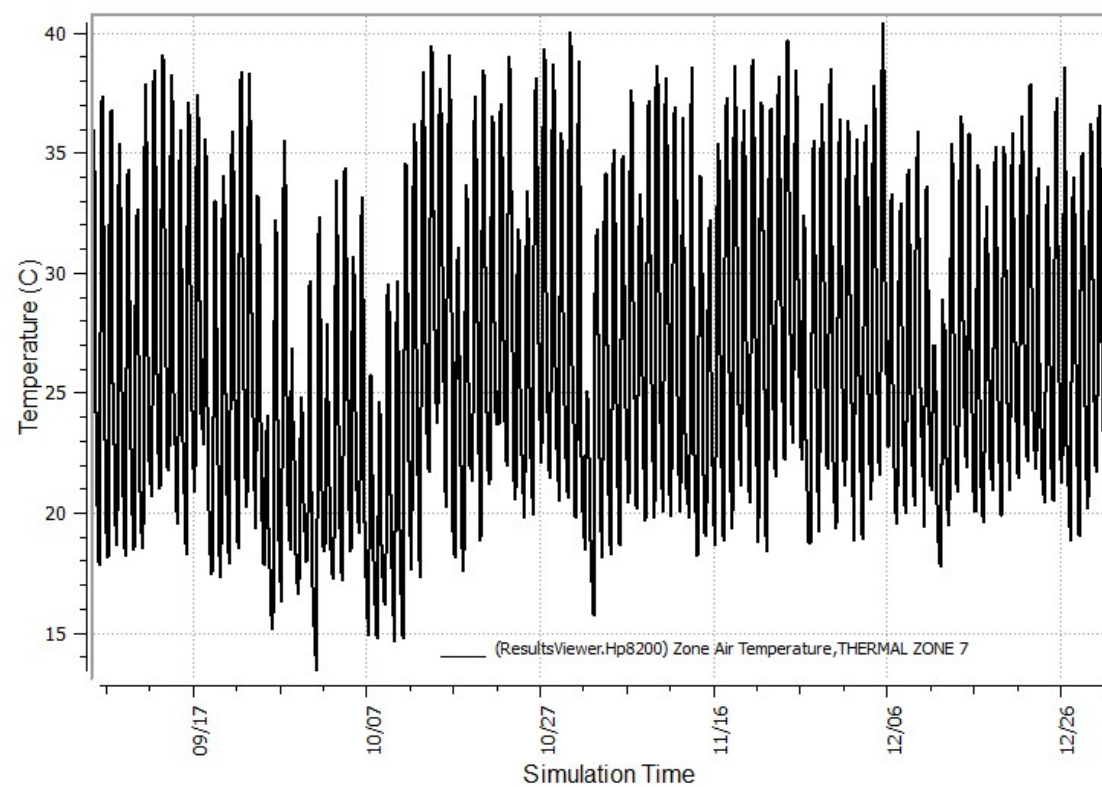
Fonte: Autor (2017)

Figura 19: Temperatura interna da zona térmica 4 entre os meses de setembro a dezembro.



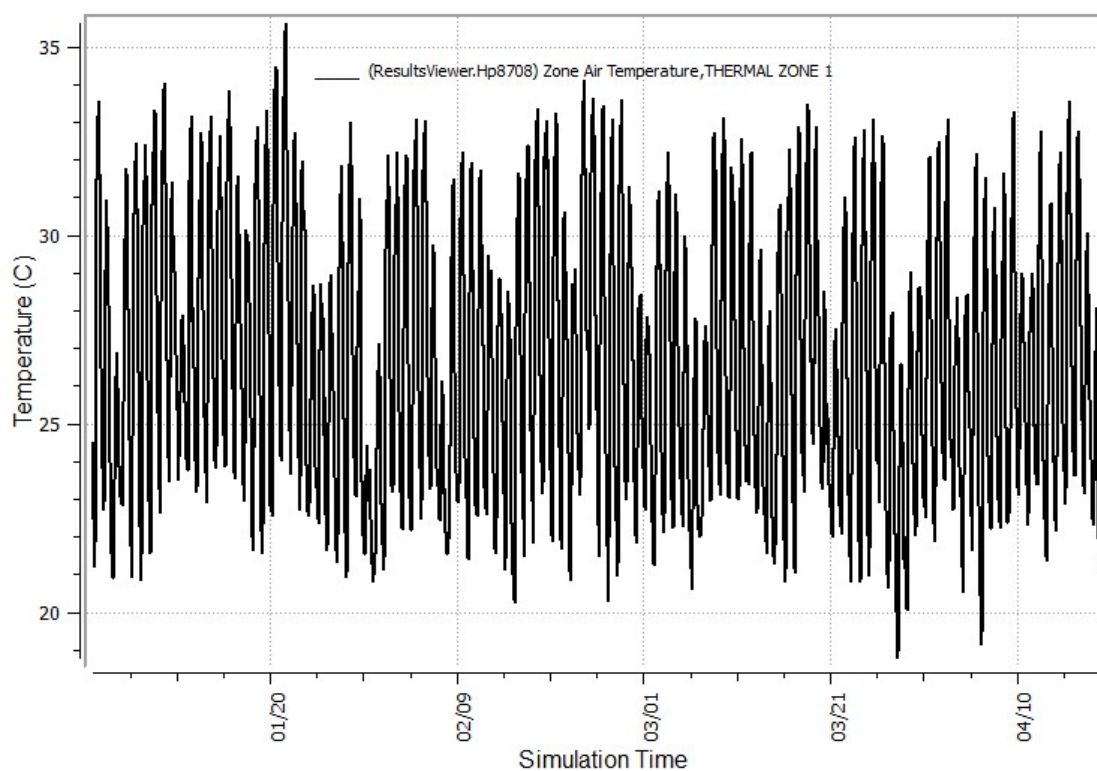
Fonte: Autor (2017)

Figura 20: Temperatura interna da zona térmica 7 entre os meses de setembro a dezembro



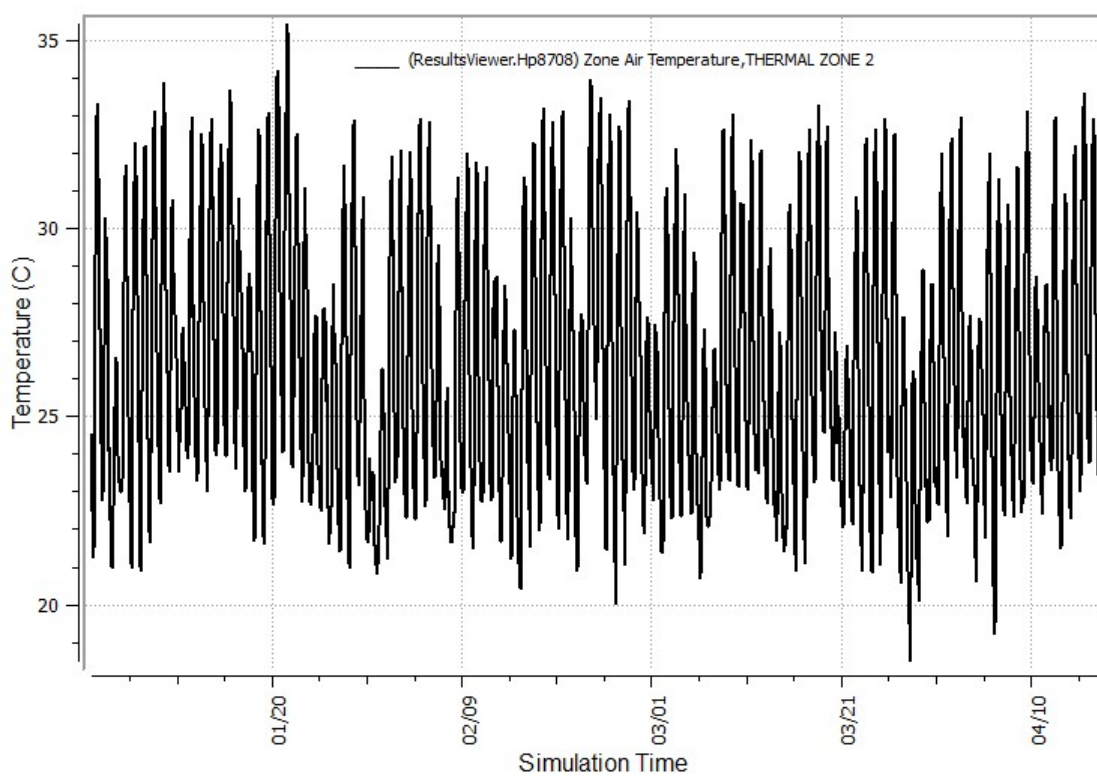
Fonte: Autor (2017)

Figura 21: Temperatura interna da zona térmica 1 entre os meses de janeiro a abril.



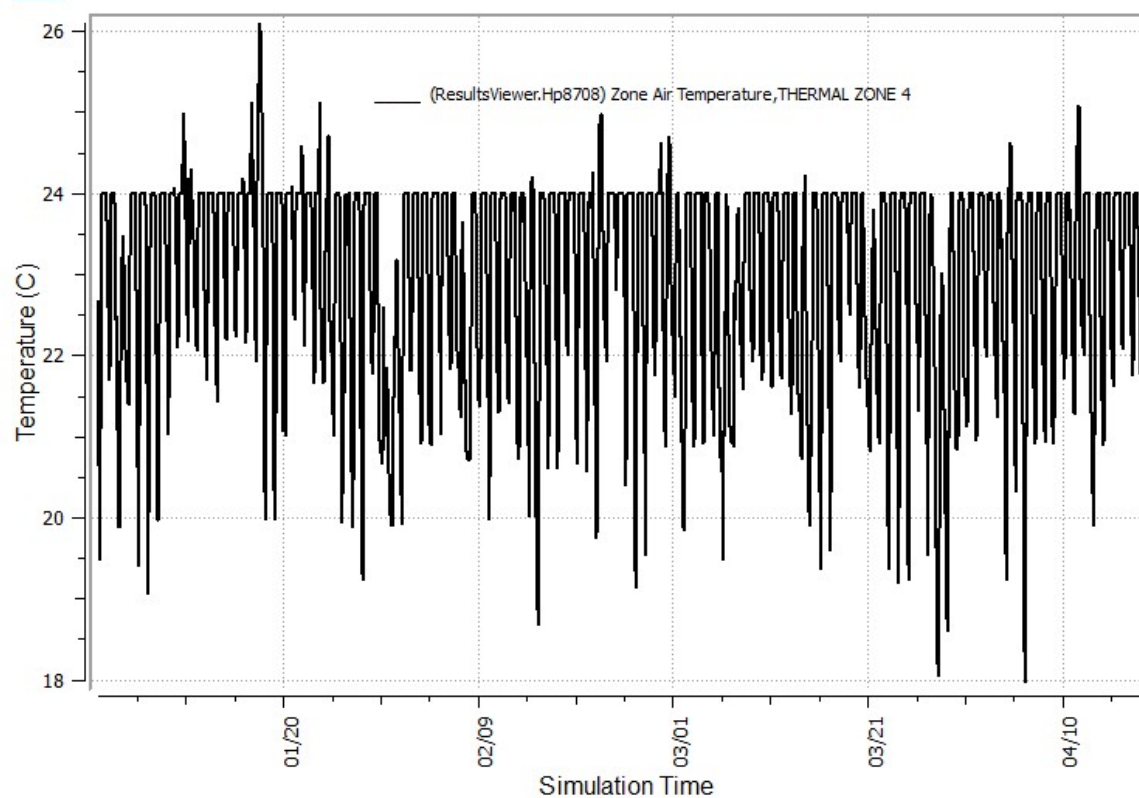
Fonte: Autor (2017)

Figura 22: Temperatura interna da zona térmica 2 entre os meses de janeiro a abril.



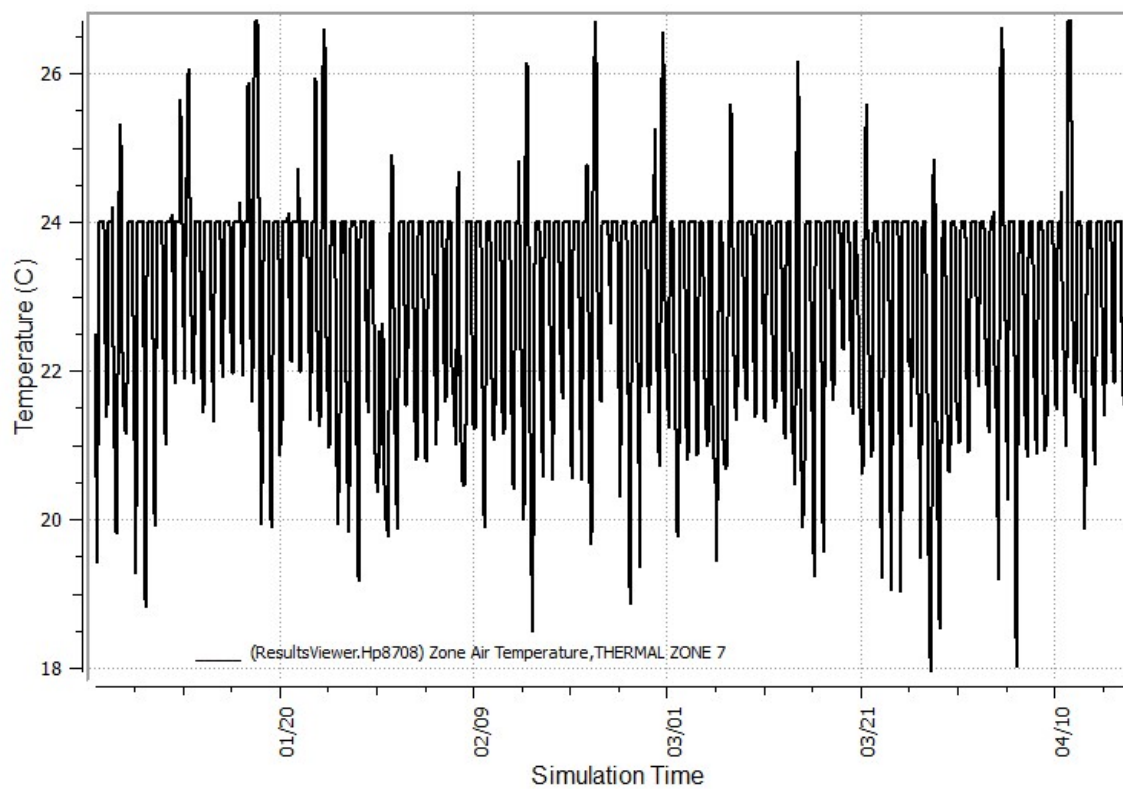
Fonte: Autor (2017)

Figura 23: Temperatura interna da zona térmica 4 entre os meses de janeiro a abril.



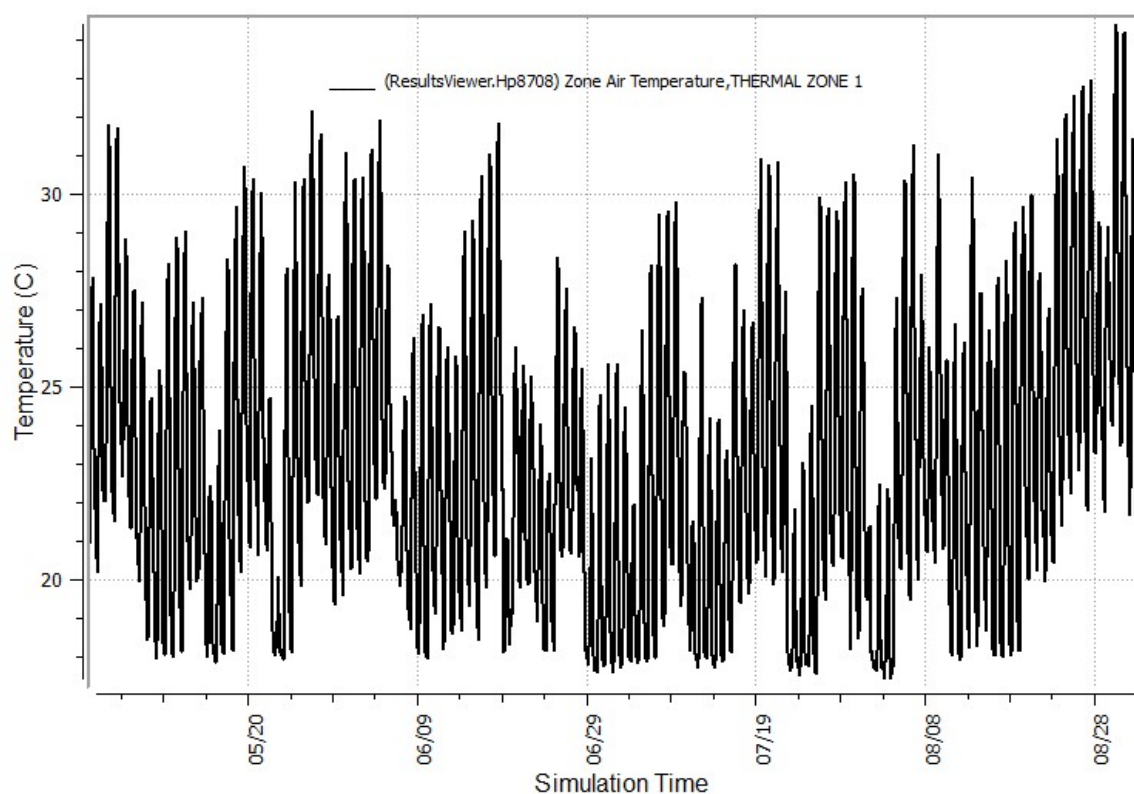
Fonte: Autor (2017)

Figura 24: Temperatura interna da zona térmica 7 entre os meses de janeiro a abril.



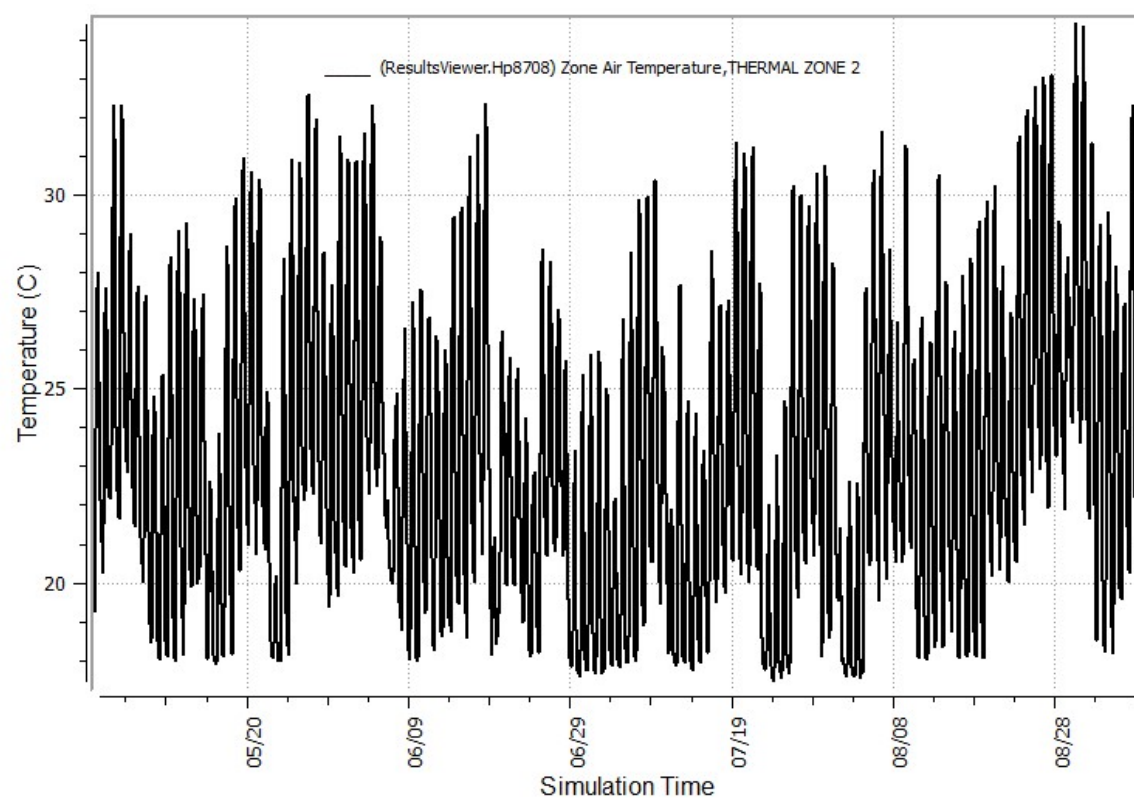
Fonte: Autor (2017)

Figura 25: Temperatura interna da zona térmica 1 entre os meses de maio a agosto.



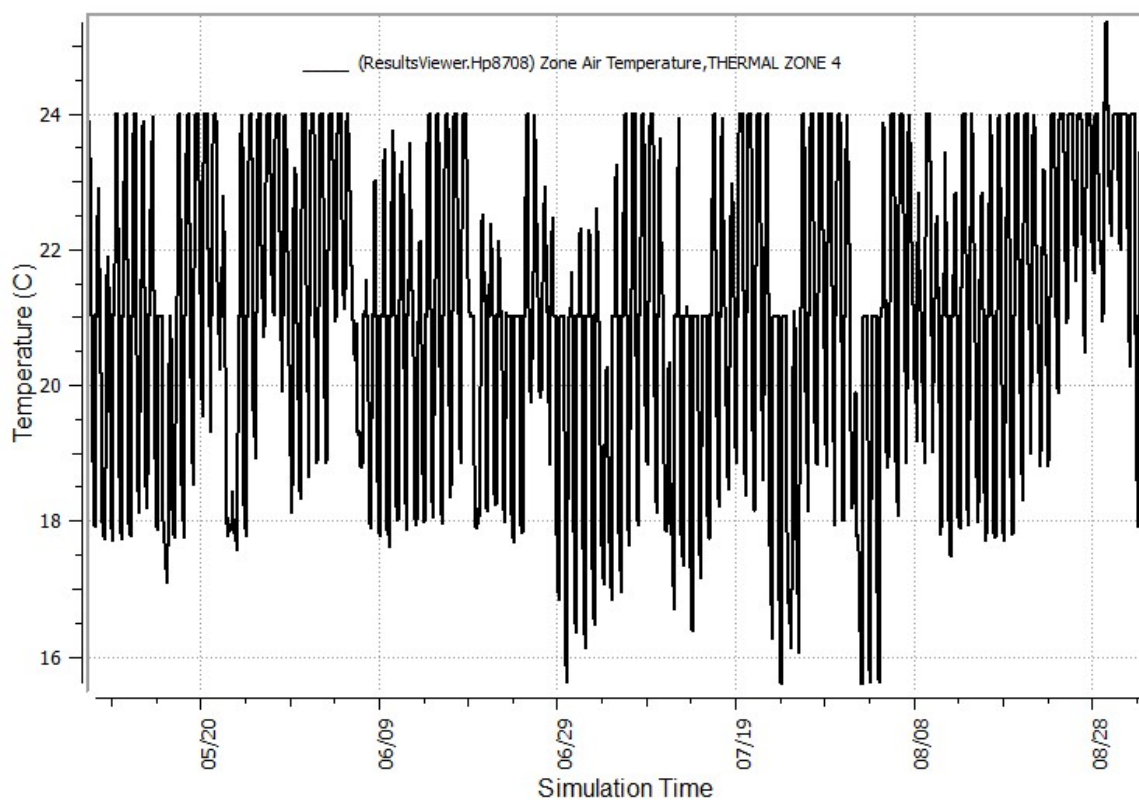
Fonte: Autor (2017)

Figura 26: Temperatura interna da zona térmica 2 entre os meses de maio a agosto.



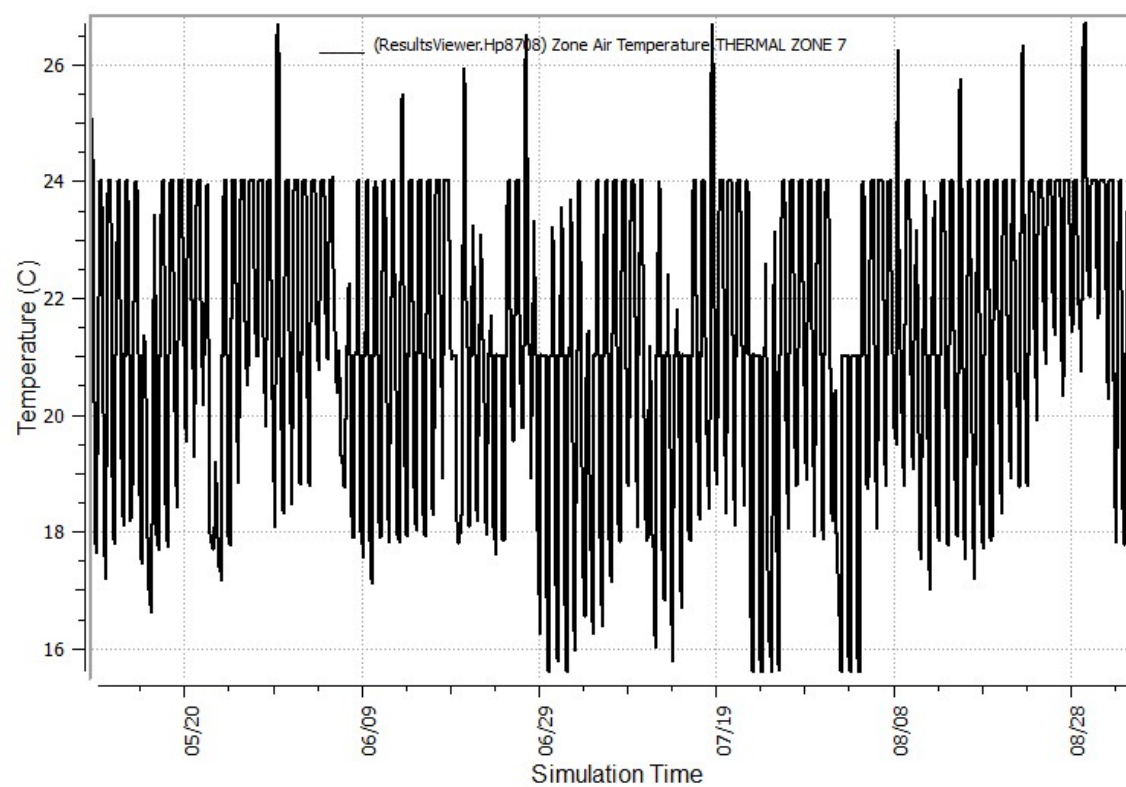
Fonte: Autor (2017)

Figura 27: Temperatura interna da zona térmica 4 entre os meses de maio a agosto.



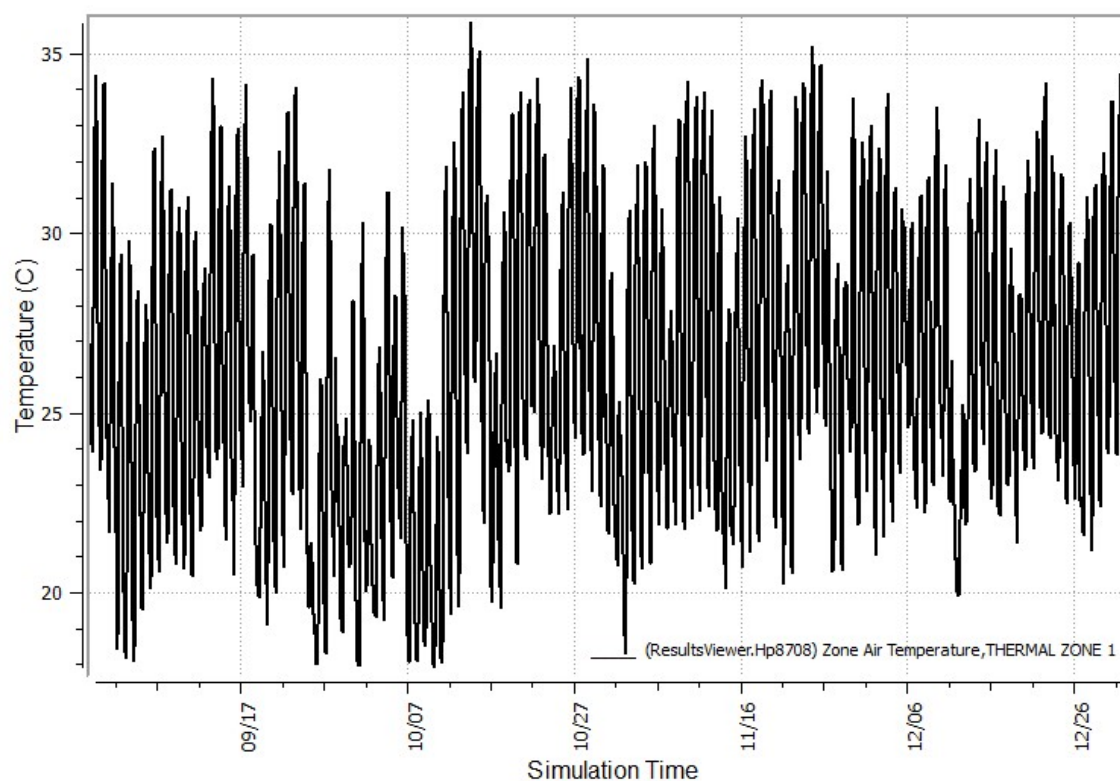
Fonte: Autor (2017)

Figura 28: Temperatura interna da zona térmica 7 entre os meses de maio a agosto.



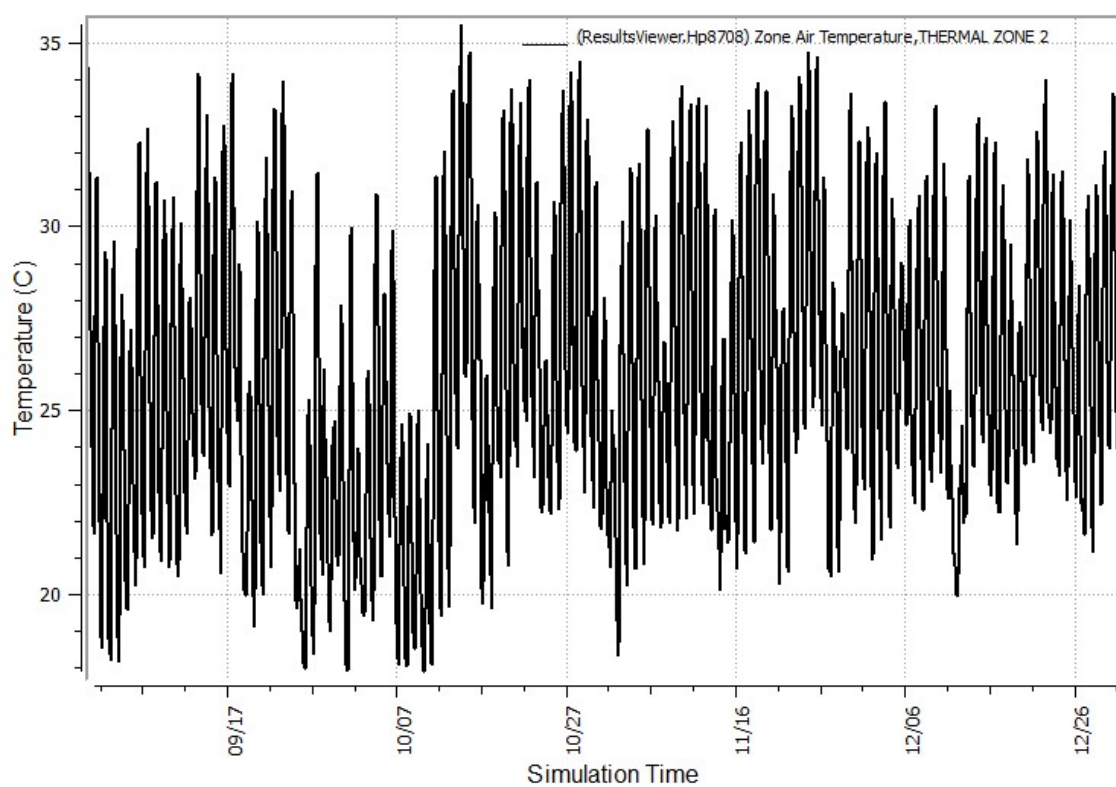
Fonte: Autor (2017)

Figura 29: Temperatura interna da zona térmica 1 entre os meses de setembro a dezembro.



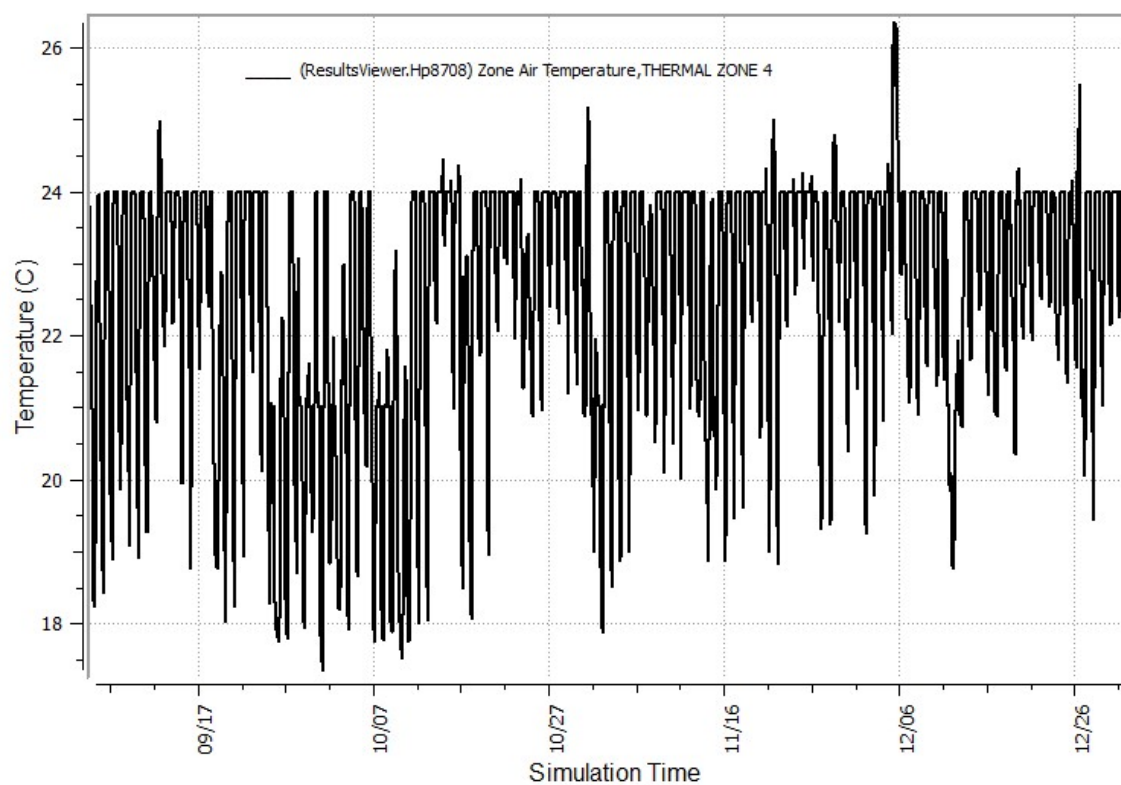
Fonte: Autor (2017)

Figura 30: Temperatura interna da zona térmica 2 entre os meses de setembro a dezembro.



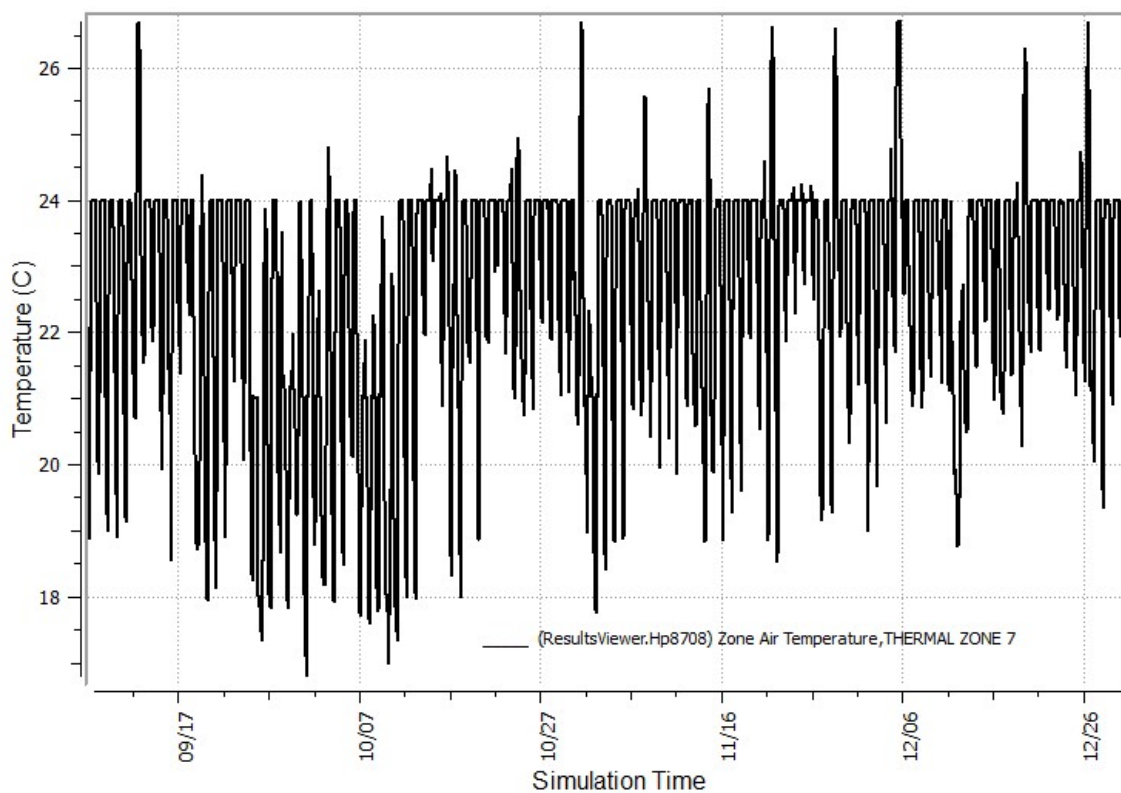
Fonte: Autor (2017).

Figura 31: Temperatura interna da zona térmica 4 entre os meses de setembro a dezembro.



Fonte: Autor (2017).

Figura 32: Temperatura interna da zona térmica 7 entre os meses de setembro a dezembro.



Fonte: Autor (2017).