



**INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA**

**CAMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

TIAGO DE CASTRO QUEVEDO

Simulações paramétricas para determinação de diretrizes construtivas para desempenho energético de um prédio educacional

**Florianópolis - SC
2019**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLÓGICA DE SANTA
CATARINA
CAMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

TIAGO DE CASTRO QUEVEDO

**SIMULAÇÕES PARAMÉTRICAS PARA DETERMINAÇÃO DE
DIRETRIZES CONSTRUTIVAS PARA DESEMPENHO ENERGÉTICO
DE UM PRÉDIO EDUCACIONAL**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido
ao Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Santa Catarina como parte
dos requisitos para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Professor Orientador: Rogério Versage.
Doutor.

FLORIANÓPOLIS, JULHO DE 2019.

Quevedo, Tiago

Simulações paramétricas para determinação de diretrizes construtivas de desempenho energético de um prédio educacional / Tiago Quevedo ; orientação de Rogério Versage; coorientação de Ana Lígia Abreu. - Florianópolis, SC, 2019.

101 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado em Engenharia Civil. Departamento Acadêmico de Construção Civil. Inclui Referências.

1. Eficiência energética em edificações. 2. Simulações. 3. EnergyPlus. 4. Diretrizes construtivas. I. Versage, Rogério. II. Abreu, Ana Lígia. III. Instituto Federal de Santa Catarina. Departamento Acadêmico de Construção Civil. IV. Título.

SIMULAÇÕES PARAMÉTRICAS PARA DETERMINAÇÃO DE DIRETRIZES CONSTRUTIVAS PARA DESEMPENHO ENERGÉTICO DE UM PRÉDIO EDUCACIONAL

TIAGO DE CASTRO QUEVEDO

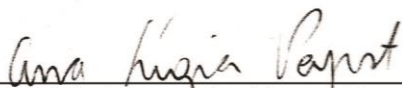
Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheiro Civil e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso Superior de Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, julho de 2019.

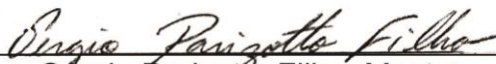
Banca Examinadora:



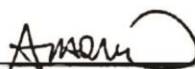
Rogério de Souza Versage, Doutor



Ana Ligia Papst de Abreu, Doutora



Sérgio Parizotto Filho, Mestre



Ana Paula Melo, Doutora

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus, pelas oportunidades que Ele me proporcionou para chegar até aqui. Agradecer pelas pessoas que Ele colocou na minha vida, que foram de extrema importância para eu trilhar este caminho.

Agradeço a minha esposa Hellen, pelo apoio durante esses meses de trabalho. Pela compreensão nos finais de semana que eu preferia ficar em casa fazendo as simulações ou escrevendo ao invés de sair para passear.

Quero agradecer ao professor Rogério Versage, por ter me aceitado como bolsista ainda em 2016, por me incentivar a fazer e conseguir um lugar para mim nas aulas de análise térmica na UFSC para aprender a simular com Energy Plus. Ele que me incentivou a trabalhar com eficiência energética e me auxiliou ao longo desses anos.

A professora Ana Ligia por ter me “adotado” quando o professor Rogério precisou se afastar após o acidente. Por ter me escolhido como bolsista, por ter me orientado no TCC 1 e por sempre ter apoiado o meu trabalho, me incentivando e ficando animada com cada etapa concluída.

Quero agradecer também aos meus pais, por terem se dedicado para me dar a educação que tenho hoje. Por me mostrarem o valor dos estudos e pelo apoio que me dão para continuar seguindo a área da pesquisa acadêmica. Agradecer ao meu pai por ser minha referência em engenheiro civil, de quem eu tenho orgulho pela maneira como se dedicou todos esses 30 anos a profissão.

Quero agradecer também a Andrea e ao Olavo, por me proporcionarem a experiência de trabalhar mais com simulações. E principalmente a Andrea, pela participação no projeto do meu TCC, dando importantes sugestões que foram implementadas neste trabalho.

RESUMO

Todo projeto de edificação pública federal construída ou reformada a partir de 2014 deve, obrigatoriamente, obter a etiqueta nível “A” de Eficiência Energética. Esta etiqueta, regulamentada pelo INMETRO, avalia a eficiência energética da edificação através de três sistemas: envoltória, condicionamento de ar e iluminação. Considerando esta obrigatoriedade, a responsabilidade no uso racional de recursos, a sustentabilidade ambiental, e o fato de que na etapa de concepção de projeto é que se obtém os melhores resultados de eficiência energética com os menores investimentos; os projetos de edificações do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) precisam ser elaborados para serem avaliados no critério máximo do programa de etiquetagem de eficiência energética brasileiro. Desta forma, o objetivo deste trabalho é determinar diretrizes construtivas através de simulações paramétricas para uma edificação do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), para que sua envoltória seja classificada no nível A da Instrução Normativa Inmetro – Edificações Comerciais, de serviços e públicas (INI-C). A metodologia baseia-se no método de simulação do INI-C, avaliando estratégias de eficiência energética em edificações através de simulações paramétricas com o uso de da ferramenta computacional EnergyPlus. Observou-se que para os modelos propostos, a utilização de sombreamento horizontal, percentuais de abertura de fachada de 30% e absorvâncias baixas foram as diretrizes com maior influência na carga térmica de refrigeração. As paredes com transmitância térmica mais altas apresentaram desempenho superior. Já as coberturas com isolamento térmico tiveram um desempenho superior ao das coberturas sem o uso de isolante. As simulações paramétricas utilizando o novo método do INI-C auxiliaram na determinação das diretrizes construtivas para as geometrias propostas.

Palavras-chave: Eficiência Energética em Edificações, Simulações paramétricas, EnergyPlus, diretrizes construtivas.

ABSTRACT

Since 2014 any new project or renovation of a federal public buildings, must necessarily obtain an "A" level of Energy Efficiency. This label, regulated by INMETRO, evaluate the energy efficiency of the building with three systems: envelope, air conditioning and lighting. Considering this obligation, the responsibility in the rational use of resources, the environmental sustainability, and the fact that in the first steps of the project where the best results in energy efficiency, with better cost benefit, can be achieved. The projects of the Federal Institute of Santa Catarina (IFSC) should be designed to be evaluated and receive the highest label from the performing labeling program. In this way, the objective of this work is to determine the constructive variables through the parametric simulations for a building of the IFSC. So that its envelope is classified in level A of INI-C. The methodology, based on the INI-C simulation method, evaluating the strategy of energy efficiency through parametric simulations in Energy Plus. As results, the utilization of horizontal shadings, glazing area percentages around 30% and low absorptances were the strategies with the highest impact in internal thermal mass. The walls with the highest transmission had superior performance, reaching "A" levels. In addition, the roofs with insulation had a superior performance than roofs without insulation. The INI-C helped set up the constructive tasks for the proposed geometries.

Key words: Buildings Energy Efficiency. Energy Plus. Parametric Simulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Partes da edificação que compõem a envoltória.....	36
Figura 2 – Zoneamento do Campus Florianópolis e Entorno	44
Figura 3 – Modelo esquemático do objeto de estudo.....	45
Figura 4 – Esquema de planta <i>Core And Shell</i> com escadas no centro da edificação.	46
Figura 5 – Planta esquemática com escadas nas fachadas leste e oeste.	46
Figura 6 – Fachada IFSC campus Florianópolis.	49
Figura 7 – Ilustração de cobertura com laje e telha de fibrocimento	49
Figura 8 – Ilustração de cobertura com telha sanduiche.....	50
Figura 9 – Parede utilizada no campus Florianópolis.....	51
Figura 10 – Sombreamento utilizado na geometria 1 e 2.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores de resistência superficial interna e externa	22
Tabela 2 – Combinações de métodos de avaliação	25
Tabela 3 – Equivalente numérico para os níveis de eficiência (EqNum).....	25
Tabela 4 – Intervalos numéricos e classificação	26
Tabela 5 – Valores de Ucob e Upar para zona bioclimática 3.....	27
Tabela 6 – Fragmento Tabela A2 INI-C	28
Tabela 7 – Diferenças entre RTQ-C e INI-C.....	29
Tabela 8 – Áreas geometrias 1 e 2	47
Tabela 9 – Valores de transmitância e capacidade térmica das coberturas	50
Tabela 10 – Materiais Parede 1	51
Tabela 11 – Materiais Parede 2	52
Tabela 12 – Materiais Parede 3	52
Tabela 13 – Valores de transmitância térmica e capacidade térmica das paredes.....	52
Tabela 14 – Condições do edifício de referência D para edificações educacionais	54
Tabela 15 – Valores adotados para edifícios de referência	55
Tabela 16 – Variáveis utilizadas no JePlus.	56
Tabela 17 – Coeficiente de redução de carga térmica anual da classe D para A com base no fator de forma para edificações educacionais.	58
Tabela 18 – Limites dos Intervalos das Calasses de Eficiência Energética da Envoltória da Edificação.	59
Tabela 19 – Carga térmica de refrigeração e intervalo <i>i</i> de classificação.	62
Tabela 20 – Escalas de eficiência geometria 1 e 2	63
Tabela 21 – Casos de eficiência energética nível “A”.	84
Tabela 22 – Matriz de correlação geral	86
Tabela 23 – Matriz de correlação usando PAF de 30% como referencia.....	88
Tabela 24 - Matriz de correlação usando PAF de 60% como referencia	89

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Carga térmica de refrigeração do sistema de ar condicionado edifício referência D	61
Gráfico 2 – Histograma níveis de eficiência energética.....	63
Gráfico 3 – Distribuição de casos para geometria 1	65
Gráfico 4 – Distribuição de casos para geometria 2	65
Gráfico 5 – Histograma geral por tipo de cobertura.....	67
Gráfico 6– Histograma de níveis por tipo de cobertura geometria 1	68
Gráfico 7- Histograma de níveis por tipo de cobertura geometria 2	68
Gráfico 8 – Histograma geral de casos por absorptância.....	70
Gráfico 9 – Histograma de níveis por absorptância na geometria 1	71
Gráfico 10 - Distribuição de níveis por absorptância na geometria 2	72
Gráfico 11 – Histograma de níveis por percentual de abertura	73
Gráfico 12 – Histograma de níveis por percentual de abertura geometria 1	74
Gráfico 13– Distribuição de níveis por percentual de abertura geometria 2	74
Gráfico 14 – Distribuição geral de casos por fator solar	75
Gráfico 15 – Histograma níveis por fator solar geometria 1	76
Gráfico 16 – Histograma níveis por fator solar geometria 1	77
Gráfico 17 –Histograma estratificado por tipo de parede	78
Gráfico 18 – Histograma níveis por tipo de parede para geometria 1	79
Gráfico 19 – Histograma níveis por tipo de parede para geometria 2	79
Gráfico 20 – Distribuição geral entre sombra e sem sombra	80
Gráfico 21– Níveis por sombreamento geometria 1	82
Gráfico 22– Histograma níveis por sombreamento geometria 2	83
Gráfico 23 – Correlação entre parâmetros e carga térmica final estratificada....	90

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Problema da pesquisa	14
1.2	Justificativa	15
1.3	Objetivos	16
1.3.1	Objetivo Geral	16
1.3.2	Objetivos Específicos	17
1.4	Estrutura do trabalho	17
2	REVISÃO DA LITERATURA	18
2.1	Regulamentações e certificações	19
2.1.1	NBR 15.220 Desempenho térmico nas edificações residenciais	20
2.1.2	Requisitos Técnico da Qualidade RTQ	23
2.1.2.1	<i>Instrução Normativa Inmetro Edificações Comerciais de Serviços e Publicas</i> <i>INI-C</i>	 27
2.1.3	Grupos Climáticos Brasileiros	30
2.1.4	Caracterização do clima de Florianópolis	31
2.2	Método de Simulação do INI-C	31
2.2.1	Programas e arquivos climáticos	32
2.3	Análise paramétrica de diretrizes construtivas	34
2.4	Envoltória e suas características	36
2.5	Influência das aberturas no desempenho térmico	37
2.5	Influência do fator solar no desempenho térmico das edificações	39
2.6	Influência das superfícies opacas no desempenho térmico	39
2.7	Influência das coberturas no térmico	40
2.8	Considerações da revisão	41
3	MÉTODO	43
3.1	Objeto de estudo	43
3.1.1	Modelos geométricos	43
3.2	Diretrizes de projetos adotadas	47
3.2.1	Percentual de abertura	47
3.2.2	Tipos de vidros	48
3.2.3	Absortâncias de paredes e coberturas	48
3.2.4	Tipos de cobertura	49
3.2.5	Sistemas de vedação vertical	51
3.2.6	Sombreamento	53
3.3	Edifício de referência	54
3.4	Método Paramétrico	55
3.4.1	Programas Utilizados	56
3.4.2	Determinação do nível de eficiência energética	57
3.4.2.1	<i>Determinação do nível de eficiência da envoltória</i>	<i>57</i>
3.4.3	Análise dos Dados	59
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	61
4.1	Carga térmica de refrigeração de referência e escala de eficiência	61

4.2	Classificação geral da edificação	63
4.2.1	Desempenho estratificado por geometria	64
4.3	Análise estratificada por tipo de parâmetro	66
4.3.1	Análise das Coberturas	67
4.3.2	Análise estratificada das absorptâncias das paredes e coberturas.....	69
4.3.3	Análise estratificada do percentual de abertura de fachada	73
4.3.4	Análise estratificada por tipo de vidro	75
4.3.5	Análise estratificada por tipos de parede	77
4.3.6	Análise estratificada por sombreamento	80
4.3.7	Considerações finais sobre os parâmetros	83
4.4	Peso dos parâmetros no resultado final	85
4.4.1	Análise da correlação dos principais fatores	88
4.4.2	Considerações finais Matrizes de correlação.....	91
5	CONCLUSÃO	93
5.1	Limitações do trabalho e sugestões de trabalhos futuros.....	95
REFERÊNCIAS.....		97

1 INTRODUÇÃO

A sustentabilidade na construção civil é um termo cada vez mais abordado no Brasil, seja nas escolas, nas universidades, mercado de trabalho e até mesmo na mídia. Temas como aproveitamento de água da chuva, reciclagem, materiais sustentáveis, energias renováveis, responsabilidade socioambiental, entre outros estão mais presentes no nosso dia-a-dia.

Com a crise energética de 2001, a eficiência energética vem ganhando destaque nos temas relacionados a sustentabilidade no Brasil. Neste período foi promulgada a lei da eficiência energética nº 10.295, que regulamenta os níveis máximos de consumo de energia, ou mínimos de eficiência, tanto para máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados no Brasil, quanto para edificações (BRASIL, 2001).

Durante muito tempo a eficiência energética em edificações esteve negligenciada, limitando a capacidade dos consumidores em comparar as edificações quanto a seu consumo energético. Entretanto, de maneira global, a avaliação de edificações e sua classificação vem ganhando enfoque e hoje, mais de 50 países, cidades e estados possuem políticas de avaliação e divulgação em forma de etiquetagem de desempenho (VERSAGE, 2015).

No Brasil, políticas de eficiência energética tiveram início em 2001 com a crise energética, que despertou a consciência do uso racional de energia.

Em 2009, o programa PROCEL EDIFICA em parceria com INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia) lançou os regulamentos para determinação do nível de eficiência energética de edificações comerciais e de serviços públicas (RTQ-C), regulamentando a emissão de etiquetas para edificações, e apresentando o nível de eficiência energética para a envoltória, sistemas de ar condicionado e sistema de iluminação.

A participação no Programa PROCEL EDIFICA fica evidente quando se observa que o número de etiquetas emitidas de 2016 para 2018 passou dos 193 para 214. Destas etiquetas, 91 são para edificações construídas e 12 emitidas para edificações de instituições educacionais públicas federais (INMETRO, 2019).

A concessão de etiquetas nacionais de conservação de energia já gerou uma economia estimada de 13,82 GWh, considerando todas as etiquetas (residenciais/comerciais) emitidas até 2017. Estima-se que deste valor 5,32 GWh sejam referentes somente ao ano de 2017, o que representa o consumo de 2823 residências (PROCEL, 2018).

A Etiquetagem Nacional de Conservação de Energia (ENCE) não é obrigatória para prédios comerciais e residenciais. Porém, desde 2014 a emissão de uma ENCE de nível “A” é obrigatória para todos os sistemas dos prédios públicos federais a serem construídos ou aos prédios públicos federais que passarão por reforma (BRASIL, 2014).

1.1 Problema da pesquisa

A fase de projeto de uma edificação é uma etapa significativa quando o objetivo é reduzir o consumo energético. O projetista deve estudar as condições ambientais do local, realizando análises de variáveis, tais como: temperatura do ar, umidade, radiação solar, ventos, orientação da edificação, forma, entre outras (GONÇALVES e DUARTE, 2006).

Os primeiros estudos de uma edificação possibilitam que sejam realizadas as maiores alterações no projeto arquitetônico, visando proporcionar maior conforto ambiental aos usuários com o mínimo de consumo de energia.

Destaca-se, ainda, a importância que uma edificação escolar tem, sendo usada como ferramenta de ensino vivenciada. Segundo Kowaltowski (2011), existe relação da aprendizagem com a qualidade da edificação escolar, e também no comportamento dos seus usuários. Os investimentos em uma edificação escolar sustentável geram benefícios que vão desde servir de exemplo educacional, passando pela satisfação e sensação de conforto dos usuários, até a diminuição dos custos operacionais da edificação (U.S. Departamento of Energy, 2014).

Portanto é fundamental que qualquer projeto de uma instituição de ensino esteja alinhado com estes conceitos, proporcionando um ambiente confortável (térmico, acústico, luminoso) e funcional para os usuários. E, que ainda, possa servir

como exemplo para os alunos tanto da própria instituição quanto de outras escolas e universidades.

Para que uma edificação educacional possa cumprir este objetivo a mesma deve ser projetada levando em consideração materiais, orientação solar e estratégias que permitam que seu desempenho tanto em conforto quanto em economia de energia sejam satisfatórios.

Desta forma surge o problema deste trabalho: Quais são as diretrizes construtivas para que uma edificação educacional atenda as exigências de conforto ambiental e seja energeticamente eficiente.

1.2 Justificativa

A obrigatoriedade da obtenção de ENCE para os prédios públicos federais passou a ser um desafio para as instituições de ensino. A instituição deve projetar e executar as reformas e novas edificações pensando em atingir o nível “A”.

Portanto é preciso que o projeto vise estratégias construtivas que garantam os níveis mais altos de desempenho energético. Contudo, cada projeto necessita de estratégias específicas, que se aplicam melhor ao objeto de estudo, a sua localização, ao seu programa de necessidades, ao seu entorno, e a suas diretrizes legais.

É possível reduzir o consumo de uma edificação em até 39% ao trocar os equipamentos elétricos por aparelhos de melhor desempenho. Em contra partida, as mudanças arquitetônicas como orientação solar, porcentagem de abertura, cores e diferentes tipos de cobertura, podem representar uma redução de consumo de até 65 % para hotéis em clima quente e úmido (LIMA, 2007).

As características arquitetônicas apresentam uma influência maior no desempenho final da edificação, inclusive para climas similares ao de Florianópolis/SC. Estudos de simulação paramétrica em prédios de escritórios com mais de 40.000 combinações para o clima de Brisbane/Austrália mostram que as características arquitetônicas foram responsáveis por influenciar o consumo de energia em até 72%, enquanto que características relacionadas ao sistema de ar condicionado e iluminação representaram influências de 48% (PEDRINI, 2003).

Fossati e Lamberts (2010), em uma análise através do RTQ-C de 10 edifícios comerciais aprovados entre 2000 e 2005, apontam que é possível atingir níveis superiores de eficiência energética ao considerar no projeto diretrizes como percentual de abertura, estratégias de sombreamento e escolha dos materiais corretos.

Observou-se também, que é possível projetar uma edificação que apresenta uma boa resposta quanto ao consumo de energia e ao conforto dos usuários, quando aliamos as diretrizes construtivas com os padrões de ocupação da edificação.

Frاندoloso et al. (2010) realizaram estudos em dois edifícios educacionais da universidade de Passo Fundo (UPF-RS). O trabalho teve como objetivo avaliar o consumo da edificação e o conforto dos usuários. Através dos dados dinâmicos (ocupação, uso e consumo de energia) e estáticos (projeto arquitetônico). Observou-se que o prédio com maior percentual de área de aberturas e sem estratégias de sombreamento apresentou maior consumo energético nas simulações. Além disso os próprios usuários instalaram venezianas ou cobriam as janelas para atingir maior conforto térmico e/ou visual, diminuindo a incidência solar no ambiente. O prédio mais amplo e com estratégias de proteção das áreas de aberturas, apresentou maior consumo devido aos equipamentos como os computadores e a ocupação. Assim o estudo preliminar de projeto torna-se importante. Avaliando parametricamente diretrizes que podem ser adotadas para que se obtenha maior eficiência energética e conforto, aplicando de maneira inteligente os recursos financeiros para a edificação.

As edificações educacionais servem como um exemplo para a sociedade, auxiliando na disseminação das inovações a respeito da sustentabilidade. Projetar uma edificação que tenha a sua envoltória classificada como nível A é um desafio, que precisa de uma boa comunicação da equipe de projeto e de consultoria.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo geral determinar diretrizes de projeto para uma edificação do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), adotando estratégias

de eficiência energética para que sua envoltória seja classificada no nível A de acordo com a Instrução Normativa Inmetro – edificações comerciais, de serviços e públicas INI-C.

1.3.2 Objetivos Específicos

Para o desenvolvimento deste trabalho foram necessários os seguintes objetivos específicos:

- a) Determinar a influência de diferentes tipos de cobertura e de diferentes absorções no desempenho energético da edificação;
- b) Determinar a porcentagem ideal de área envidraçada das fachadas e o impacto de diferentes estratégias de sombreamento;
- c) Determinar a influência de diferentes sistemas de vedação vertical.

1.4 Estrutura do trabalho

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos. Neste primeiro capítulo se fez a justificativa da necessidade de edificações públicas precisarem atender as especificações e a relevância do tema no Brasil.

No próximo capítulo será apresentada a revisão de literatura com enfoque nos principais assuntos e fundamentos referentes a este trabalho. Abordando as propriedades dos materiais, influência dos sistemas construtivos no desempenho térmico e a importância de se realizar estudos ainda na fase de pré-projeto.

O terceiro capítulo traz a metodologia utilizada neste trabalho apresentando os programas que serão utilizados e os parâmetros avaliados.

O quarto capítulo aborda os resultados obtidos através das simulações paramétricas, analisando os dados de maneira estratificada e determinando quais são as diretrizes que apresentam maior influência na classificação final da edificação.

O quinto e último capítulo conclui o trabalho, abordando quais foram as diretrizes adotadas, quais as limitações do trabalho e sugestão para trabalhos futuros.

2 REVISÃO DA LITERATURA

A revisão de literatura apresentada neste trabalho tem como principal objetivo embasar o estudo para a realização de simulações paramétricas. As regulamentações brasileiras, os métodos de simulação, análises paramétricas e as características da envoltória foram os temas abordados nesta revisão de literatura.

A abordagem da regulamentação brasileira para desempenho térmico e eficiência energética visa compreender o estado atual da regulamentação no Brasil, as limitações das normas em vigência, quais tipos de edificações são avaliadas pelas normas e qual o regulamento utilizado para avaliar prédios públicos e comerciais.

O estudo dos regulamentos técnicos da qualidade e métodos de simulação, tanto o método em vigência (RTQ-C) quanto a proposta de aperfeiçoamento (INI-C), tem como objetivo compreender como o método funciona e quais suas diferenças, para nortear as simulações deste trabalho.

A importância da análise paramétrica nas fases iniciais de projeto, quando ainda estão sendo definidas as plantas e volumes iniciais, tem como objetivo embasar a escolha das diretrizes de projetos que serão analisadas.

O estudo das características das envoltórias permite compreender como cada diretriz escolhida tende a influenciar no desempenho energético da edificação. Compreender a influência de cada diretriz é fundamental para verificar se os resultados obtidos através das simulações estão de acordo com a realidade.

Para isso, o presente capítulo está estruturado da seguinte maneira:

- (a) Apresentação da regulamentação brasileira;
- (b) Método de simulação;
- (c) Análise paramétrica de diretrizes construtivas;
- (d) Envoltória e suas características.

2.1 Regulamentações e certificações

No mundo existem diversas regulamentações e certificações que podem ser aplicadas tanto em prédios residenciais quanto em prédios comerciais e públicos.

Das certificações internacionais, duas são extensamente difundidas e consolidadas, o LEED e o BREEAM. O LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) é um dos processos mais conhecidos no mundo todo. Ao todo são mais de noventa e quatro mil projetos certificados com certificado LEED, que de maneira semelhante ao selo AQUA apresenta um conceito que engloba desde a fase de projeto até o funcionamento da edificação (USGBC, 2018).

Já o BREEAM está presente em mais de 79 países com mais de dois milhões de edificações registradas (BREAM, 2018). O seu sistema é semelhante ao LEED e ao selo AQUA, e avalia a edificação em fases diferentes, como em fase de projeto, execução, reforma e funcionamento.

No Brasil, uma das certificações amplamente difundida, por ser aplicada em edifícios residenciais, é o selo AQUA. A certificação AQUA foi desenvolvida com base no selo HQE francês (*Haute Qualité Enviromentale*). Lançado em 2008, tem como objetivo propor uma nova maneira de trabalhar com as construções brasileiras. O processo não visa somente o desempenho final da edificação quanto a energia consumida, mas sim de todo o processo de construção, desde a fase de projeto até a entrega da obra e o posterior funcionamento devem estar de acordo com diretrizes socioambientais (VANZOLINI, 2018).

Todas as certificações citadas acima são exemplos de como a sustentabilidade tem ganhado destaque em níveis nacionais e internacionais, visando não somente o consumo energético mas sim, em como a edificação impacta o ambiente e a sociedade como um todo.

Porém, além do selo AQUA, existem no Brasil ao menos três documentos que visam regulamentar as questões de desempenho térmico das edificações. O primeiro é a NBR 15.575 – Desempenho da Edificação (ABNT, 2013), o mais recente dos três. O segundo é a ABNT NBR 15.220 – Desempenho Térmico da Edificação (ABNT, 2003) que trata das propriedades térmicas dos

materiais construtivos para as diferentes zonas bioclimáticas brasileiras, além de explicar os métodos de cálculos características térmicas dos sistemas construtivos (resistência térmica, capacidade térmica e transmitância térmica, entre outros). Por fim os regulamentos técnicos do INMETRO para prédios comerciais, de serviços e públicos (RTQ-C) e para prédios residenciais (RTQ-R), que aborda questões de eficiência energética das edificações.

A ABNT NBR 15.575 – Edificações Habitacionais - Desempenho é voltada somente para edificações residenciais e dividida em seis partes, cada uma abordando um ponto específico da edificação. O desempenho térmico da edificação residencial está englobado na parte 1 (requisitos gerais) e parte 4 (desempenho dos sistemas de vedação). A ABNT NBR 15.220 trata do desempenho térmico das edificações habitacionais de interesse social. Ambas as normas são voltadas para edificações residenciais, o que não é objeto de estudo deste trabalho, porém apresentam informações e conceitos importantes para a compreensão e o desenvolvimento de avaliações de edificações de todo tipo.

Os regulamentos técnicos do INMETRO abordam a eficiência energética das edificações, avaliando através de indicadores o consumo energético prédios comerciais e de serviços públicos. Para prédios residenciais são abordados os indicadores de graus hora de resfriamento e aquecimento. O programa classifica as edificações através da emissão de uma Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), certificando a edificação em níveis de eficiência energética, que vão de “A” até “E”, sendo “A” mais eficiente e “E” menos eficiente.

A seguir serão abordadas as duas principais regulamentações para este trabalho, a NBR 15.220 que embasara as definições das propriedades dos materiais e o RTQ-C, que aborda exclusivamente os prédios comerciais, de serviços e públicos.

2.1.1 NBR 15.220 Desempenho térmico nas edificações residenciais

A NBR 15.220 é voltada para edificações residenciais assim como a NBR 15.575 contudo ela aborda em seu texto alguns conceitos importantes para a execução de simulações computacionais, ou para análises prescritivas. Conceitos como absorptância, refletância, resistência, transmitância térmica e condutividade

térmica são fundamentais para compreender como funcionam as trocas de calor entre o meio interno e externo e podem ser encontrados na parte 1 da NBR 15.220

O conceito de absorvância (α) está relacionado diretamente com a quantidade de energia solar (energia de onda curta) que uma superfície irá absorver. A absorvância pode ser definida como a razão entre a energia absorvida pela superfície e o total de energia solar incidente na mesma (DORNELLES; RORIZ, 2004).

A energia que não é absorvida pela superfície é, portanto, refletida. A quantidade de energia refletida é denominada de refletância (ρ). Portanto a soma entre a absorvância e refletância deverá ser sempre igual a um (1) em superfícies opacas.

Uma vez absorvido pela superfície, o calor deverá ser conduzido pela mesma, este processo físico é chamado de condução e depende das seguintes propriedades termofísicas: condutividade (λ), resistência (R) e transmitância térmica (U).

A condutividade térmica é definida pela NBR 15.220 como uma propriedade física de um material isotrópico e homogêneo, onde é possível verificar um fluxo constante de calor com densidade 1 W/m^2 , quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme de 1 Kelvin por metro. Os valores de condutividade térmica podem ser determinados através de ensaios em laboratórios ou obtidos na própria NBR 15.220.

Uma vez que a condutividade é a capacidade do material de conduzir o calor a resistência seria a capacidade do material ou de um conjunto de materiais de resistir a passagem do calor. Esse conceito depende da condutividade térmica e está diretamente ligado a espessura do material, sendo definido pela seguinte equação:

$$R = \frac{e}{\lambda} \left(\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right) \quad (1)$$

Onde;

E = espessura do material

λ =condutividade térmica do material.

Para a resistência térmica total do componente deve-se somar à resistência do conjunto às resistências de superfície interna e externa Equação (2), que representam as resistências por trocas convectivas, definidas na Tabela A.1 da NBR 15.220,.

Tabela 1 – Valores de resistência superficial interna e externa

$R_{si} (m^2.K)/W$			$R_{se} (m^2.K)/W$		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
					
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Fonte: Tabela A.1 NBR 15.220 2003

$$R_T = R_{SE} + R + R_{SI} \quad (2)$$

Onde:

R_t = resistência total do componente;

R_{se} = resistência superficial externa;

R = resistência do componente

R_{si} = resistência superficial interna

A transmitância térmica é definida como o fluxo de calor que passa através do componente e seu valor é o inverso da resistência total (R_t), pode ser calculada pela equação (3).

$$U = \frac{1}{R} \left(\frac{W}{m^2 K} \right) \quad (3)$$

Onde;

U = transmitância térmica do material:

R = resistência térmica do material.

A capacidade térmica dos materiais é dada em função de suas densidades, espessuras e calor específico, como na equação (4):

$$C = \rho * e * c \left(\frac{KJ}{m^2K} \right) \quad (4)$$

Onde:

c = capacidade térmica;

ρ = densidade do material;

e = espessura do material;

c = calor específico do material.

A NBR 15.220 apresenta valores obtidos através de ensaios em laboratório referentes a transmitância térmica, resistência, entre outros.

As paredes e coberturas, por exemplo, são compostas por mais de um tipo de material. Assim, é preciso calcular as equivalências de cada uma das propriedades citadas acima. O método de cálculo para resistências, transmitâncias e capacidade térmica equivalentes, é abordado na parte 2 da NBR 15.220, que agrupa diversos exemplos e roteiros de cálculo ponderado para diferentes situações.

O estudo desta norma auxilia no procedimento de simulação proposto pela regulamentação do INMETRO, pois nela é possível encontrar informações sobre as propriedades de alguns materiais, que utilizados pelos softwares de simulação para realizar os cálculos de transferência de calor.

2.1.2 Requisitos Técnico da Qualidade RTQ

O INMETRO lançou em parceria com a Eletrobrás e PROCEL Edifica a etiqueta do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) Edifica, que classifica as edificações de acordo com o seu desempenho térmico. Para se obter uma etiqueta de eficiência energética é necessário cumprir alguns passos. Entre eles, é necessário entrar em contato com um organismo de Inspeção Acreditado, que podem ser desde pessoas jurídicas, de direitos públicos ou privados e que foram previamente aprovados pelo INMETRO para emitir as etiquetas. (PBEEDIFICA. 2019)

O procedimento é baseado em dois regulamentos propostos pelo INMETRO e disponíveis para acesso no site do programa PBE Edifica. Cada regulamento visa contemplar o tipo de uso da edificação. Para edificações residenciais o regulamento a ser consultado é o RTQ-R Requisitos Técnicos da Qualidade para Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. Já para edificações comerciais, de serviços e públicas, utiliza-se o RTQ-C Requisitos Técnicos da Qualidade para Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas. (PBEEDIFICA. 2019)

A metodologia presente nos dois regulamentos aborda de maneira mais completa o desempenho energético da edificação. No RTQ-C, a avaliação é realizada primeiramente através de pré-requisitos para cada zona bioclimática brasileira, depois são avaliados de maneira indireta o consumo de energia necessário para resfriar, aquecer e iluminar o prédio. São consideradas as cargas térmicas internas devido a atividade e ocupação, além de sistemas de ar condicionado e a utilização de ventilação natural.

O regulamento para edificações comerciais divide a avaliação em três sistemas diferentes:

- (a) Envoltória;
- (b) Sistemas de iluminação;
- (c) Sistemas de ar condicionado.

Cada um deles deve ser avaliado e resultar em avaliações individuais de cada sistema que resultarão em uma classificação final, que varia de A (mais eficiente) a E (menos eficiente) (INMETRO, 2014).

O estudo de cada sistema pode ser feito de duas maneiras diferentes, é o método prescritivo, a segunda é o método de simulação computacional. A utilização de cada método fica a critério do avaliador ou da complexidade do sistema, salvo para avaliações de ventilação natural onde é mandatório o método de simulação. Na Tabela 2 a seguir encontram-se as combinações possíveis de avaliação.

Tabela 2 – Combinações de métodos de avaliação

Envoltória	Sistema de Iluminação	Sistema de Condicionamento de Ar	Ventilação Natural
Método Prescritivo	Método Prescritivo	Método Prescritivo	Método Simulação
Método Simulação	Método Simulação	Método Simulação	Método Simulação
Método Simulação	Método Prescritivo	Método Prescritivo	Método Simulação

Fonte: Tabela 2.1 Manual RTQ-C (INMETRO,2014).

No método prescritivo (simplificado) cada sistema apresenta um peso nos critérios avaliativos, a envoltória e o sistema de iluminação representam 30% cada, totalizando 60%. Já o sistemas de ar condicionado recebem um destaque maior de 40% de peso no resultado final.

A nota final varia de 1 a 5, para que seja atribuído o valor final de A até E, sendo necessário fazer uma correlação entre os valores numéricos e os níveis de eficiência, essa correlação é chamada de Equivalente Numérico (EqNum) e é exemplificado na Tabela 3.

Tabela 3 – Equivalente numérico para os níveis de eficiência (EqNum).

A	5
B	4
C	3
D	2
E	1

Fonte: Tabela 2.2 RTQ-C (INMETRO, 2014).

Por serem valores originados de uma equação os resultados finais não serão, necessariamente, números inteiros como apresentado na Tabela 3. Portanto é preciso considerar os intervalos possíveis para os equivalentes numéricos, apresentados na Tabela 4:

Tabela 4 – Intervalos numéricos e classificação

PT	Classificação Final
$\geq 4,5$ a 5	A
$\geq 3,5$ a $< 4,5$	B
$\geq 2,5$ a $< 3,5$	C
$\geq 1,5$ a $< 2,5$	D
$< 1,5$	E

Fonte: Tabela 2.3 RTQ-C (INMETRO, 2014)

Vale ressaltar que é possível obter uma ENCE geral ou seja, um nível para todos os três sistemas, ou realizar a avaliação de um ou dois sistemas e obter uma ENCE parcial. Por fim a classificação final obtida representa um índice de consumo e não possuindo relação direta com o consumo de energia da edificação.

Independentemente do método que for utilizado para a avaliação da edificação (simplificado ou simulação) é necessário em primeiro lugar avaliar os pré-requisitos gerais de cada sistema. A análise dos sistemas é iniciada através dos pré-requisitos estipulados pelo regulamento que serão abordados a seguir.

Os pré-requisitos no regulamento específico para edificações públicas são separados de acordo com o item a ser avaliado e de acordo com o nível final desejado. Porém, a necessidade em cumprir os níveis mínimos ou não depende da existência do sistema a ser avaliado.

Existem, porém, os itens que estarão presentes em todas as edificações, como é o caso do circuito elétrico. Para este sistema, caso a ENCE final desejada esteja entre os níveis A e B é obrigatório que os circuitos elétricos possuam separação por uso final (iluminação, sistema de ar condicionado e outros), ou que possibilitem a medição de energia por uso final

Outro item importante é a envoltória da edificação. Neste caso são abordados diversos itens, como a transmitância térmica da cobertura (U_{cob}) e da parede (U_{par}). A Tabela 5 apresenta os valores de transmitância térmica para nível A e B no intervalo da zona bioclimática 3, onde Florianópolis está localizada.

Tabela 5 – Valores de U_{cob} e U_{par} para zona bioclimática 3

Ambientes	U_{cob} ($\frac{W}{m^2 K}$)	U_{par} ($\frac{W}{m^2 K}$)
	Climatizados	Não Climatizados
Nível A	1,00	2,00
Nível B	1,50	2,00

Fonte: Manual RTQ-C (INMETRO, 2014)

O procedimento de cálculo das transmitâncias térmicas deve seguir o proposto pela NBR 15.220 abordado nos itens referentes às propriedades dos materiais e à normatização brasileira. Os pré-requisitos necessários para este trabalho serão abordados com mais detalhe na metodologia.

O processo de etiquetagem atual para os prédios comerciais, de serviços e públicos está baseado na portaria do INMETRO 126, de 19 de março de 2014 (INMETRO, 2014). Contudo uma proposta de atualização desta metodologia foi colocada em consulta pública em 2018. A seguir serão abordadas as principais diferenças entre o método atual e a proposta de atualização.

2.1.2.1 Instrução Normativa Inmetro Edificações Comerciais de Serviços e Públicas INI-C

Em julho de 2018 entrou para consulta pública através da portaria nº 248 (BRASIL, 2018) a proposta do novo modelo do regulamento técnico da qualidade para a classe de eficiência energética de edifícios comerciais de serviços e públicos. Diversos itens se mantiveram iguais, entretanto há diferenças importantes a serem tratadas.

A primeira diferença que pode ser observada é que, o RTQ-C não diferencia as áreas envidraçadas e proteções solares por orientação solar. Já o INI-C permite que a entrada de dados referente a estes itens seja realizada por fachada. Quanto a geometria da edificação a proposta atual aborda diversos modelos possíveis, permitindo uma modelagem mais ampla da edificação.

Porém, as modificações mais relevantes para o método de simulação estão na consideração do consumo pela energia primária, de carga térmica interna, na

adoção dos pré-requisitos para paredes e coberturas, na influência da ventilação natural e nos índices de consumo final.

Quanto a carga térmica interna, o modelo em vigor estipula somente um padrão de carga térmica interna e padrão de uso. A proposta de aperfeiçoamento muda este fator, permitindo a especificação do tipo de uso da edificação. Será possível diferenciar a ocupação de edificações de serviços públicos de comerciais, e ainda dentro das edificações de serviços e públicas será possível diferenciar cada categoria, por exemplo hospitais de escolas. A Tabela 6 exemplifica essa diferenciação, trazendo o caso de prédios educacionais, onde será possível diferenciar a ocupação e carga térmica de acordo com o nível de educação oferecido na edificação.

Tabela 6 – Fragmento Tabela A2 INI-C

Uso típico	Edificações educacionais			
	Condição real	Condição de referência		
		Educação infantil	Ensino fundamental e médio	Ensino superior
Geometria				
Forma	Condição real			
Orientação solar (°)	Condição real			
Pé-direito (piso a teto) (m)	Condição real			
Aberturas				
PAF - Percentual de abertura da fachada (%)	Condição real	40		
PAZ - Percentual de abertura zenital (%)	Condição real	0		
Componentes construtivos				
<i>Parede</i>	Condição real	Argamassa interna (2,5 cm), bloco cerâmico furado (9 cm), argamassa externa (2,5 cm)		
Upar - Transmitância da parede externa (W/m²K)	Condição real	2,39		
α PAR - Absortância da parede (adimensional)	Condição real	0,5		
CTpar - Capacidade térmica da parede (kJ/m²K)	Condição real	150		
<i>Cobertura</i>	Condição real	Telha de fibrocimento, câmara de ar (>5 cm) e laje maciça de concreto (10 cm)		
Ucob - Transmitância da cobertura (W/m²K)	Condição real	2,06		
α COB - Absortância da cobertura (adimensional)	Condição real	0,8		
CTcob - Capacidade térmica da cobertura (kJ/m²K)	Condição real	233		
<i>Vidro</i>	Condição real	Vidro simples incolor 6mm		
FS – Fator solar do vidro (adimensional)	Condição real	0,82		
Uvid - Transmitância do vidro (W/m²K)	Condição real	5,7		
AHS - Ângulo horizontal de sombreamento (°)	Condição real	0		
AVS - Ângulo vertical de sombreamento (°)	Condição real	0		
AOV - Ângulo de obstrução vertical (°) *	Condição real	Condição real		
Iluminação e ganhos				
DPL - Densidade de potência de iluminação (W/m²) **	Condição real	15,5***		
Ocupação (m²/pessoa)	Condição de referência	2,5	1,5	1,5
DPE - Densidade de potência de equipamentos (W/m²)	Condição de referência	15,0	9,7	9,7
Horas de ocupação (horas)	8			
Dias de ocupação (N _{ano})****	200			

Fonte: INI-C (Portaria nº 248, de 10 de julho de 2018)

A Tabela 6 traz outros valores de referência que devem ser adotados para edificações educacionais, como percentual transmitância térmica das paredes e cobertura, além da consideração dos vidros para o edifício de referência.

O novo modelo permite que as de paredes e coberturas sejam realizadas sem considerar valores mínimos, ou pré-requisitos. Antes, era fundamental que mesmo possuindo uma avaliação satisfatória através da simulação, os pré-requisitos fossem atendidos para obtenção do nível desejado.

As principais diferenças entre o modelo atual do RTQ-C bem como a proposta de aperfeiçoamento podem ser vistos na Tabela 7 a seguir.

Tabela 7 – Diferenças entre RTQ-C e INI-C

RTQ-C Portaria Inmetro nº 372/2010 Limitação	INI-C Proposta de aperfeiçoamento – 2018 Aperfeiçoamento
1. Não diferencia área envidraçada e proteções solares por orientação	1. Permite a entrada de dados diferenciada por fachada
2. Limitação na representação por volumetria da edificação	2. Permite a modelagem de diferentes formas geométricas
3. Não responde bem à aplicação de vidros de controle solar	3. Considera o uso de vidros de controle solar
4. Uso de parâmetros ponderados para toda edificação	4. Permite a entrada de dados de cada zona térmica da edificação
5. Necessidade de levantamento de dados não significativos na avaliação	5. Simplifica a entrada de dados por significância no resultado
6. Considera apenas um tipo de sistema HVAC (Split)	6. Possibilita a avaliação de qualquer sistema de HVAC
7. Não considera influências do entorno edificado	7. Considera o ângulo de obstrução vizinha
8. Os pré-requisitos de paredes e coberturas podem penalizar uma edificação onde estes itens não são representativos	8. Permite a entrada das características térmicas de paredes e cobertura, independente de pré-requisitos
9. Impossibilidade das equações descreverem diversas variações volumétricas	9. Permite a modelagem de diferentes formas geométricas
10. Uso de apenas um padrão de carga térmica interna e padrão de uso e ocupação	10. Permite a especificação do tipo de uso da edificação
11. Não considera a influência da limitação natural e ventilação natural	11. Permite a avaliação da iluminação natural e ventilação natural
12. Utiliza índices de consumo sem relação direta com o consumo de energia da edificação	12. Adota o consumo de energia da edificação como parâmetro de avaliação

Fonte: INMETRO (2018).

A proposta apresenta melhorias tanto para o processo prescritivo (simplificado) quanto para o processo de simulação. Este último é o foco principal do trabalho e será a ferramenta utilizada para a determinação dos níveis de eficiência

energética. Vale ressaltar ainda que a atualização aborda um conceito diferente para a questão dos climas no Brasil.

2.1.3 Grupos Climáticos Brasileiros

Atualmente a NBR 15.220 Desempenho Térmico das Edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro (ABNT,2005) regulamenta o zoneamento bioclimático brasileiro, dividindo o território em 8 zonas diferentes. Definindo cada uma das zonas de acordo com três características principais: medias mensais das temperaturas máximas, médias mensais das temperaturas mínimas e média mensal da umidade relativa do ar.

A divisão do Brasil em 8 zonas bioclimaticas pode ser questionada, uma vez que existem cidades com características diferentes mas que estão classificadas dentro de uma mesma zona bioclimática, podendo resultar em recomendações inadequadas para diferentes municípios.

Desta forma, Roriz (2012;2014) apresenta uma proposta de divisão do clima brasileiro, subdividindo as 8 zonas bioclimaticas em 24 grupos climáticos (GCL), sendo o grupo (1) a zona mais fria, e o grupo 24 a zona mais quente. Para fazer a divisão nesses 24 grupos, foi preciso utilizar analises estatísticas, que englobam quatro parâmetros diferentes:

- a) TMA: Temperatura média Anual;
- b) dpT: Desvio padrão da temperatura média;
- c) AMA: Amplitude média Anual;
- d) dpA: Desvio padrão da amplitude.

Para dividir os grupos, seguiu-se a ordem dos parâmetros apresentados acima. Todas zonas climáticas brasileiras foram divididas em 3 grandes grupos, de acordo com as médias anuais de temperatura. Em seguida, utilizando o desvio padrão das temperaturas médias, cada um dos 3 grupos foi dividindo em 2 novos grupos.

Os 6 grupos resultantes dessas divisões ainda precisavam de mais informações, para serem mais completos e representarem melhor os climas brasileiros. Portanto, com base nas amplitudes das médias de temperaturas anuais, cada um dos 6 grupos foi dividido novamente em 2. Por fim, utilizando o desvio padrão

das amplitudes, os 12 grupos resultantes foram divididos cada um por 2, totalizando os atuais 24 grupos climáticos brasileiros.

A divisão dos climas brasileiros em 24 grupos climáticos proposta por Roriz (2014), representa de maneira mais realista e completa a realidade climática brasileira. Ao contrário do RTQ-C, o INIC-C utiliza a divisão proposta por Roriz (2014), considerando os 24 grupos climáticos, incluindo uma divisão extra no grupo 1, possuindo assim o grupo 1 A e 1 B.

2.1.4 Caracterização do clima de Florianópolis

Florianópolis está localizada no litoral de Santa Catarina, na região sul do Brasil, com o clima classificado como temperado, super úmido (IBGE, 2002). Pela NBR 15.220 – Desempenho térmico de edificações parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social, Florianópolis está localizada na zona bioclimática 3. Com temperaturas entre 15 °C e 30°C, sendo que a média anual é de entre 20 e 22°C. Já a umidade relativa média é de 85%.

De acordo com a divisão do território brasileiro em grupos climáticos, Florianópolis está classificada como grupo 1-B (RORIZ, 2014). Apresentando uma temperatura média anual maior que 21,0°C.

2.2 Método de Simulação do INI-C

Este método visa comprovar através da utilização de softwares que o consumo da edificação real ou seja, do projeto proposto seja menor ou igual do que o do edifício de referência e pode ser realizado tanto para os três sistemas quanto de maneira parcial.

Para ambos os modelos devem ser utilizados os mesmos arquivos climáticos, mesmos programas de simulação e a mesma geometria (forma da edificação) e orientação quanto ao Norte Geográfico. Além disso, para avaliação da envoltória, os padrões de uso e potência de iluminação, juntamente com o modelo de ar condicionado devem ser os mesmos nos edifícios reais e de referência. (INMETRO, 2018)

O modelo do edifício real consiste em abordar as características do projeto em si. Portanto, os valores de transmitância das paredes e coberturas, as absorptâncias, percentuais de abertura, tipos de vidro, sombreamento entre outros, devem ser os mesmos especificados em projeto. Caso esteja previsto diferentes tipos de sistemas de ar condicionado, estes devem ser modelados para cada zona térmica onde serão instalados.

O modelo do edifício de referência deve possuir características construtivas que atendam o nível de classificação “D”. O INI-C traz no anexo A diversas tabelas que compreendem os mais diferentes tipos de prédios comerciais, de serviços e públicos. Essas tabelas apresentam as características que os edifícios de referência devem ter. Para uma edificação educacional, por exemplo os percentuais de abertura de fachada devem ser de 40%, com vidro incolor de 6mm. Já a transmitância térmica das paredes deve ser de $2,39 \text{ W/m}^2\text{K}$. (INMETRO,2018)

Para o edifício de referência, em se tratando do modelo de ar condicionado, as tabelas do anexo A do INI-C também apresentam os coeficientes de performance (COP) dos sistemas de ar condicionado. Pegando como exemplo os prédios educacionais, para que o prédio de referência atinja o nível “D”, o COP para o sistema de ar condicionado deve ser de $2,6 \text{ W/W}$. (INMETRO,2018)

O método de simulação pode ser aplicado para avaliar a edificação como um todo, ou para as certificações parciais, como é o caso da envoltória da edificação. Neste caso, algumas condições do edifício real devem ser as mesmas do edifício de referência. Por se tratar da avaliação da envoltória, os sistemas de ar condicionado e iluminação devem ser mantidos os mesmos, tanto para o edifício de referência quanto para o caso real.

2.2.1 Programas e arquivos climáticos

Existem diversos softwares no mercado que fazem a avaliação de consumo de energia e horas em conforto térmico, como *EnergyPlus*, *DesignBuilder*, entre outros. Contudo todos os programas devem respeitar diversas características (INMETRO, 2014).

Em primeiro lugar, todos os programas devem ser de análise de consumo de energia em edifícios, validados pela ASHRAE *standard* 140. Outra característica é que os programas devem possibilitar a simulação das 8760 horas por ano, modelando as variações de ocupações e atividades de acordo com os horários e dias da semana.

Para a modelagem ser válida para as certificações, o programa deve permitir a modelagem de diversas zonas térmicas simultaneamente, considerando os efeitos da inércia térmica. Os sistemas de HVAC ter sua modelagem possível, possibilitando determinar a demanda de energia do sistema de ar condicionado. Por fim, os programas precisam apresentar os relatórios de uso final de energia, para que sejam calculadas os níveis de eficiência. (INMETRO 2018)

O programa EnergyPlus desenvolvido pelo governo dos Estados Unidos é o software mais utilizado atualmente. É um programa gratuito, que recebe atualizações a cada seis meses (EnergyPlus, 2018). O *EnergyPlus* tem o objetivo de realizar todos os cálculos de trocas de calor e determinar a quantidade de energia necessária para o sistema de ar condicionado, além de determinar as características de ventilação natural.

A utilização do *EnergyPlus* é amplamente difundida no meio acadêmico, sendo utilizado em diversos trabalhos e pesquisas. Por ser um programa gratuito e utilizado mundialmente, é possível encontrar fóruns na internet como o *UnmetHours* onde são compartilhadas dúvidas e estratégias de simulação, auxiliando os simuladores para executar as simulações.

A utilização do programa permite desenvolver métodos de avaliação diferentes para o desempenho térmico e energético. Melo e Lamberts (2009) propuseram um método baseado em um balanço térmico pela convecção das superfícies internas da edificação e as zonas térmicas. Esse método só é facilitado com a utilização do *EnergyPlus*, que permite obter os dados necessários.

O *EnergyPlus* é um programa completo, pois permite modelar a edificação através de código, porém não possui uma interface gráfica para modelar em 3 dimensões. Com o intuito de permitir a modelagem 3D juntamente com o *EnergyPlus* a empresa *Bigladder*, antes chamada de *Open Studio Legacy*, desenvolveu um *plugin* para o programa *Sketchup*, que permite converter as informações do desenho

desenvolvido com este *plugin* para uso no *EnergyPlus*. Além disso, existe o aplicativo OpenStudio, que permite que dentro do *Sketchup* seja feita a modelagem geométrica da edificação e também a formatação do programa que será simulado pelo *EnergyPlus*. Ambos são gratuitos e estão disponíveis para download. (Bigladder, 2018)

As simulações devem ser realizadas com a utilização de arquivos climáticos específicos para cada região. Esses arquivos, assim como os programas, necessitam cumprir diversos pré-requisitos para que possam ser utilizados (INMETRO, 2014)

a) Possuir valores horários de temperatura, umidade, direção e velocidade do vento e radiação solar;

b) Os dados devem ser representativos da Zona Bioclimática na qual se encontra o projeto proposto, caso a localização não possua arquivo climático deve ser utilizado um arquivo de uma área próxima que contenha características semelhantes;

2.3 Análise paramétrica de diretrizes construtivas

As análises paramétricas auxiliam no estudo do desempenho térmico de uma edificação tanto nas fases de estudo preliminar quanto nas fases de projeto de uma edificação e auxiliam a adotar diretrizes construtivas para que as edificações atinjam níveis superiores de eficiência energética.

Quevedo, Baumann e Versage (2017) ao realizarem um estudo paramétrico de diretrizes construtivas do prédio da reitoria do Instituto Federal de Educação, utilizando o método prescritivo do RTQ-C, sugerem diretrizes de projeto que aumentam a probabilidade de uma edificação ser classificada como nível “A”. Durante o estudo desenvolvido, observou-se que o percentual de abertura de fachada, juntamente com o sombreamento vertical, representaram os maiores pesos nos níveis finais, enquanto que o fator solar dos vidros não apresentou influência significativa. Desta forma, as diretrizes sugeridas levaram em consideração percentuais de abertura menores que 50% e ângulos de sombreamento vertical acima de 25°.

Estudar a edificação durante a fase de projeto é importante para auxiliar nas tomadas de decisões. Contudo, o estudo durante as fases preliminares de um

projeto é de grande importância na determinação do desempenho da construção, seja ele no conforto térmico, lumínico, acústico, quanto na funcionalidade. Aplicar os conceitos básicos de funcionalidade e conforto durante os primeiros esboços auxilia nas tomadas de decisão antes da etapa de projeto, e nesta consegue-se obter as maiores economias no consumo de energia da edificação final, mas com os menores gastos com o projeto.

O processo de simulação na fase de esboço da edificação serve como um guia para o projeto. Pode-se tomar decisões relacionadas a forma e a envoltória ainda em fase de projeto com o auxílio das simulações, podendo-se embasar uma decisão de projeto de acordo com a performance da edificação atingida com a avaliação. Dentro das decisões que podem ser tomadas ainda na fase de esboço pode-se destacar a forma e a envoltória. Assim é possível embasar as decisões projetuais de acordo com o desempenho atingido através da simulação (HANSEN, LAMBERTS, 2011).

Pedrini (2015), após um estudo de 3 casos, demonstrou a viabilidade de executar simulações junto com a fase inicial de projeto com o objetivo de orientar os projetistas em futuras decisões de projeto. Contudo, o processo de projetar uma edificação é composto por diversas etapas e em cada etapa é possível tomar decisões que vão influenciar o resultado final.

As análises iniciais, embora possam contribuir positivamente para o projeto, devem ser desenvolvidas com cuidados especiais. A escolha das diretrizes de projeto deve ser realizada de maneira consciente, uma vez que o maior número de combinação entre as diretrizes gera um menor impacto no desempenho térmico da edificação (LIMA, 2007). Em uma análise de três variáveis, por exemplo, a primeira apresenta um impacto significativo, enquanto que a segunda apresenta um impacto intermediário e a terceira uma influência menor. Portanto é fundamental que as estratégias não sejam adotadas de maneira aleatória, pois determinadas ações para melhorar o desempenho térmico podem gerar desperdícios e custos na execução da obra.

Adotar estratégias de maneira consciente é um desafio quando se está em fase de pré-projeto, uma vez que estes estudos implicam na consideração de incertezas dos dados de entrada. A incerteza pode ser compreendida como a

imprecisão das propriedades térmicas e físicas dos materiais e dos componentes construtivos, além do comportamento dos usuários, com relação ao uso e ocupação da edificação (SILVA; GHISI, 2014).

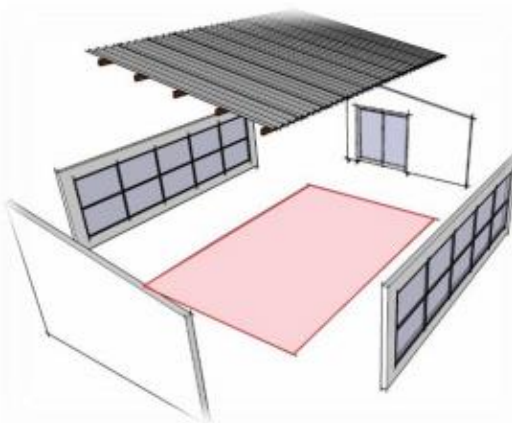
Cada variável da fase inicial de projeto possui um impacto no modelo de simulação computacional. Como poucos dados da fase inicial de projeto são definitivos, De Wit (2003) aponta a análise de sensibilidade como a mais indicada. Esta técnica define a importância de cada estratégia separadamente, sem considerar a interação entre elas

Para que os estudos sejam realizados adotando as variáveis de maneira consciente, é necessário conhecer os conceitos relacionados ao projeto e a simulação, como as características da envoltória da edificação e a influência de suas variáveis no desempenho térmico.

2.4 Envoltória e suas características

O conceito de envoltória é abordado pelo manual do RTQ-C (PROCEL, 2017) e pode ser compreendido como a pele da edificação. Trata-se portanto do conjunto de elementos construtivos que estão em contato com o meio exterior, como as paredes de vedação, a cobertura e as janelas. A Figura 1 a seguir exemplifica o conceito de envoltória, vale ressaltar que o piso pode ser considerado parte da envoltória quando o mesmo está em contato com o exterior. Porém no RTQ-C o contato com o piso não é computado na área da envoltória.

Figura 1 – Partes da edificação que compõem a envoltória



O manual define ainda o conceito de abertura, sendo qualquer parte da fachada que possua material transparente ou translúcido e que permitam a incidência direta ou indiretamente da radiação solar, gerando ganho de calor através da radiação térmica.

Por fim, pode-se definir a existência de dois grandes grupos de materiais na envoltória da edificação, os opacos e os translúcidos. Os materiais opacos são aqueles que não permitem a transferência direta do calor para o interior da edificação. Enquanto os materiais translúcidos permitem que uma grande parcela da radiação solar seja transmitida diretamente para dentro da edificação.

A intensidade da troca de calor entre o meio externo e interno através desses dois grupos varia em função das propriedades termofísicas dos materiais e de fatores externos. Características como resistência e capacitância térmica dos materiais opacos, a radiação solar incidente, o fator solar dos vidros e as temperaturas externas e internas da edificação são exemplos das variáveis que influenciam diretamente na troca de calor entre os meios.

Como abordado nos itens anteriores, as propriedades termofísicas dos materiais da envoltória influenciam diretamente nas trocas de calor entre o ambiente interno e externo. Portanto é fundamental compreender qual a influência de cada tipo de material, opacos ou translúcidos, no ganho ou perda de carga térmica da edificação. A seguir serão abordadas as influências de cada parte da envoltória.

2.5 Influência das aberturas no desempenho térmico

As aberturas são elementos que devem ser tratados com cuidado nos projetos de edificações, por serem áreas que permitem o ganho de calor podendo gerar grande desconforto térmico nos ambientes internos. Além disso, as aberturas podem gerar desconforto por ofuscamento devido aos altos níveis de luminâncias externa. O mesmo conceito pode ser aplicado de maneira inversa, onde a falta de aberturas pode gerar desconforto justamente pela falta de iluminação natural interna e por baixas temperaturas no ambiente nos períodos mais frios do ano.

Um aumento da área de janelas sem sombreamento (proteção solar) diminuem o desempenho térmico da edificação como um todo, necessitando de mais

energia para resfriamento. (ROCHE; MILNE, 2004). A relação entre a porcentagem dos materiais opacos e translúcidos deve ser estudada, pois uma variação na área de abertura pode gerar impactos de até 41,6% no consumo de energia (SANTANA; GHISI, 2006).

O estudo feito por Lam (2000) apresenta que os ganhos de calor devido as aberturas pode representar até 50% dos ganhos pela envoltória da edificação. Já Santana (2007) determinou que a cada acréscimo de 10% no percentual de fachada das edificações o consumo de energia cresce cerca de 2,9%.

As normas em vigência no Brasil, NBR 15.575 e NBR 15.220, abordam de maneira sucinta a influência do percentual de abertura nas fachadas no desempenho térmico das edificações. A NBR 15.220 traz as propriedades dos materiais translúcidos, como o fator solar. Já a NBR 15.575 permite a consideração de sombreamentos na edificação, utilizando como estratégia o uso de venezianas, com abertura mínima de 50%.

O sombreamento é um item importante quanto à carga térmica interna, permitindo que o projeto possua uma maior área de aberturas na fachada e ainda tenha um desempenho térmico satisfatório. Os regulamentos técnicos da construção, permitem a utilização de brises, além das venezianas. A possibilidade de considerar na avaliação da edificação, diferentes estratégias de proteção solar nas aberturas é importante, pois uma vez que os materiais translúcidos permitem a passagem de radiação solar para dentro da edificação, as proteções impedem que haja a passagem direta desses raios para o interior da edificação.

Além do sombreamento e do percentual de abertura existe outra variável que pode ser analisada e que influencia diretamente no desempenho térmico da edificação, o tipo de vidro utilizado. Existem no mercado diversos tipos de vidros e películas disponíveis, partindo do vidro claro comum até vidros que bloqueiam a entrada de calor. A principal característica dos vidros que influencia diretamente no desempenho térmico da edificação é o fator solar. No próximo item é abordado a influência do fator solar dos vidros nas edificações.

2.6 Influência do fator solar no desempenho térmico das edificações

A utilização de vidros em prédios comerciais é uma tendência arquitetônica que vem se consolidando ano após ano no Brasil e no mundo. Além de possibilitar uma integração visual do interior com o exterior, a utilização de vidros é um atrativo estético valorizado por investidores e projetistas (SHAMERI et al, 2011).

Contudo os vidros apresentam uma maior complexidade entre os componentes de uma edificação, pois possuem maior influência no conforto térmico e visual (Palmer e Gentry, 2012). Como já observado no item anterior, a variação do percentual de área translúcida pode gerar economias de até 41,6% no consumo de energia.

Devido a necessidade de utilização de vidros em fachadas de prédios, surgiram estudos para que fossem desenvolvidas alternativas que mitigassem o impacto destas áreas no desempenho térmico da edificação. Assim foram desenvolvidos diversos vidros com características diferentes que diminuem a passagem de calor pelas áreas envidraçadas.

Além do percentual de abertura da fachada, da presença ou não de mecanismo de sombreamento e dos tipos de vidros utilizados, existem outros fatores que influenciam diretamente no ganho de carga térmica do interior da edificação, como por exemplo as superfícies opacas.

2.7 Influência das superfícies opacas no desempenho térmico

Os materiais opacos também possuem grande influência no desempenho térmico. As características termofísicas como resistência térmica, transmitância e absorptância solar estão diretamente ligadas ao desempenho térmico dos materiais opacos.

Melo e Lamberts (2009) realizaram um estudo analisando a influência das superfícies opacas no desempenho energético de edificações comerciais para climas de Florianópolis, Curitiba e São Luiz. As superfícies opacas tiveram variação de suas transmitâncias térmicas e das absorptâncias. Para o clima de Florianópolis as simulações com absorptâncias de 0,2, os maiores valores de transmitância térmica e

maior densidade de carga térmica interna, apresentaram a maior redução no consumo de energia. Os valores de transmitância térmica acima de $3,29 \text{ W/m}^2\text{K}$ nas vedações verticais apresentaram os melhores desempenhos para os climas quentes. Além disso a transmitância térmica elevada possibilitaram que a carga térmica interna fosse dissipada durante a noite através das paredes.

As cores nas superfícies opacas, também influenciam diretamente no consumo e no desempenho da edificação. A absorptância solar está ligada diretamente às cores dos revestimentos e a troca da cor de uma fachada, por exemplo, pode ter grande impacto na economia de energia. O consumo de energia, quando trocadas as cores das paredes, pode sofrer alterações de até 21,6% (SANTANA; GHISI, 2007). Em questão de conforto térmico, pode-se observar a diferença de temperatura interna de um ambiente não ventilado e sem aberturas quando pintadas de branco de até 10°C inferior a mesma edificação pintada de preto.

A escolha das cores para a edificação é, de fato, importante. Das estratégias de projeto que podem ser adotadas em uma edificação, mudar a pintura externa da edificação é a estratégia mais simples, econômica e muito efetiva (CHENG; NG; GIVONI, 2005).

Outra diretriz construtiva adotada nas edificações comerciais é a utilização de isolamento térmico. Porém, a escolha de isolar ou não uma edificação está diretamente ligada com o clima, ao usuário e ao tipo de edificação.

Melo *et al* (2015) ao analisar o comportamento de edificações comerciais para o clima de Florianópolis e Curitiba e Salvador, pelo método de balanço térmico, concluíram que o uso de isolantes térmicos dificulta a dissipação da carga térmica interna da edificação. Portanto o uso em climas quentes deve ser feito com restrições.

2.8 Influência das coberturas no térmico

Com relação às coberturas é necessário primeiro separar as edificações entre comerciais (de serviços) e residenciais (habitação), isso porque as necessidades de isolamento térmico podem ser diferentes para cada caso. Chvatal (2007) demonstra que para edifícios residenciais materiais mais isolantes geram maior economia de energia, enquanto que para edifícios de serviços (públicos, comerciais)

adotar materiais isolantes pode prejudicar a economia de energia. A utilização de materiais mais isolantes, seja na cobertura quanto nas paredes de uma edificação de serviços deve ser realizada com cuidado, pois qualquer mudança no comportamento do usuário pode gerar desconforto devido ao ganho de calor (CHVATAL, 2007).

Em um estudo realizado sem ocupação interna e sem resfriamento por ar condicionado, mostrou que coberturas com maior isolamento térmico (maior resistência e menor transmitância) apresentaram desempenho melhor do que coberturas com capacidade térmica maior para o clima de Brasília. (BATISTA, LAMBERTS e WESTPHAL, 2005). Por outro lado, o isolamento térmico em climas mais quentes pode restringir a perda do calor gerado pelas cargas térmicas internas, podendo gerar desconforto (RORIZ et al., 2009).

O estudo de isolamento da cobertura e paredes são parâmetros mais difíceis de controlar (CHVATAL, 2007). Portanto é essencial que a envoltória da edificação nestes casos seja estudada de maneira a combinar os efeitos de isolamento térmico, inércia térmica e absorvância. Um exemplo dessas combinações é a relação entre a massa térmica de um sistema construtivo e a cor da superfície, onde quanto mais leve for o sistema construtivo, mais influente é a absorvância no resultado final (CHENG; NG; GIVONI, 2005).

De maneira semelhante, à medida que a resistência térmica nas coberturas aumenta, a influência das cores no fluxo de calor diminui (GRANJA; LABAKI, 2003). Ou seja, quanto mais isolada for a cobertura menor o efeito das cores de sua superfície no desempenho final. Assim é possível afirmar que nas coberturas, assim como nas vedações verticais, a eficiência energética não depende somente das características termofísicas dos materiais e sua capacidade de isolamento térmico, mas também da cor da superfície.

2.9 Considerações da revisão

Com a revisão de literatura observou-se que o estudo dos materiais opacos e translúcidos é fundamental para obter diretrizes construtivas que garantam um bom desempenho térmico. Ao realizar os estudos nas fases preliminares de projeto e utilizando análises paramétricas, o resultado final do projeto pode ser influenciado positivamente.

Ao analisar prédios comerciais para o clima de Florianópolis, observa-se que para as vedações verticais, a utilização de transmitâncias térmicas superiores a $3,29 \text{ W/m}^2\text{K}$ diminuem o consumo de energia para resfriamento das zonas térmicas. Por possuírem densidade de carga térmica interna elevada, os prédios comerciais se beneficiam de transmitâncias térmicas altas nas vedações verticais, pois uma elevação na transmitância térmica, auxilia na dissipação da carga térmica interna durante a noite.

Para as coberturas, no entanto, as transmitâncias térmicas elevadas aumentam o consumo de energia, devido ao ganho de calor. Portanto as diretrizes construtivas devem ser estudadas para cada caso, trabalhando com diferentes valores de transmitância térmica para as paredes e coberturas.

A utilização de isolamento térmico deve ser realizada somente após estudos avaliando o impacto de cada estratégia no balanço térmico da edificação. Lembrando que edifícios comerciais e de serviços públicos tendem a ter maior densidade de carga térmica interna, portanto isolamentos nas paredes e coberturas tendem a prejudicar a dissipação da carga térmica interna.

As características da envoltória influenciam diretamente no desempenho térmico e energético da edificação. Desta forma, a classificação da edificação, seja pelo RTQ-C quanto pelo INI-C depende diretamente das diretrizes construtivas adotadas.

A proposta de aperfeiçoamento do RTQ-C, passando a se chamar Instrução Normativa Inmetro para prédios comerciais e de serviços públicos (INI-C) será a base deste trabalho. O método de simulação apresentado no INI-C traz mudanças significativas quanto a divisão do clima brasileiro a ser adotada, além de abordar padrões de uso e ocupação específicos para edificações educacionais, que é o foco deste trabalho.

3 MÉTODO

A metodologia deste trabalho foi baseada na proposta de atualização do INI-C utilizando os cálculos para as características termofísicas proposto pela norma NBR 15.220. Foi realizada somente a avaliação do sistema da envoltória, adotando o método da simulação.

3.1 Objeto de estudo

O objeto de estudo deste trabalho é uma proposta para um novo bloco do Departamento Acadêmico de Construção Civil (DACC) do Instituto Federal de Santa Catarina, campus Florianópolis. A edificação ainda se encontra na fase de pré-projeto ou primeiros esboços, portanto não há definição de forma e altura, usos finais de cada pavimento, materiais, cores, entre outros. Sendo assim existem diversas possibilidades que podem ser abordadas.

3.1.1 Modelos geométricos

Foram dois modelos geométricos adotados para análise. Ambos os modelos possuem a mesma orientação quanto ao norte geográfico, com as maiores fachadas para norte e sul e possuem as mesmas dimensões. Estas, definidas em função da área máxima que a edificação pode ocupar de acordo com o plano diretor interno do IFSC campus Florianópolis, sendo uma área total de 900 m², com dimensões de 15 por 60 metros.

Para determinar a altura máxima considerou-se a legislação vigente, Lei 482 de 2014, Plano Diretor de Florianópolis. O projeto localiza-se em uma área comunitária institucional (ACI), sendo uma área destinada aos equipamentos comunitários ou a usos institucionais. Os limites de ocupação bem como os gabaritos máximos permitidos nestas áreas são definidos através de estudos específicos pelo Instituto de planejamento urbano de Florianópolis (IPUF) ou pelo zoneamento adjacente.

No caso da localização da edificação, as áreas no entorno são consideradas área residencial mista (ARM) e área mista central (AMC) como pode ser

visto na Figura 2, onde o campus está destacado em vermelho. A área ARM é chamada de Área Residencial Mista onde há a possibilidade de edificações residenciais e comerciais. Nessa área é permitido construção de até 6 pavimentos, com altura máxima de fachada igual a 30 metros. Já as áreas AMC, Área Mista Central com usos residenciais, comerciais e de serviços, existe a possibilidade de 6 pavimentos com altura máxima de fachada de 22 metros.

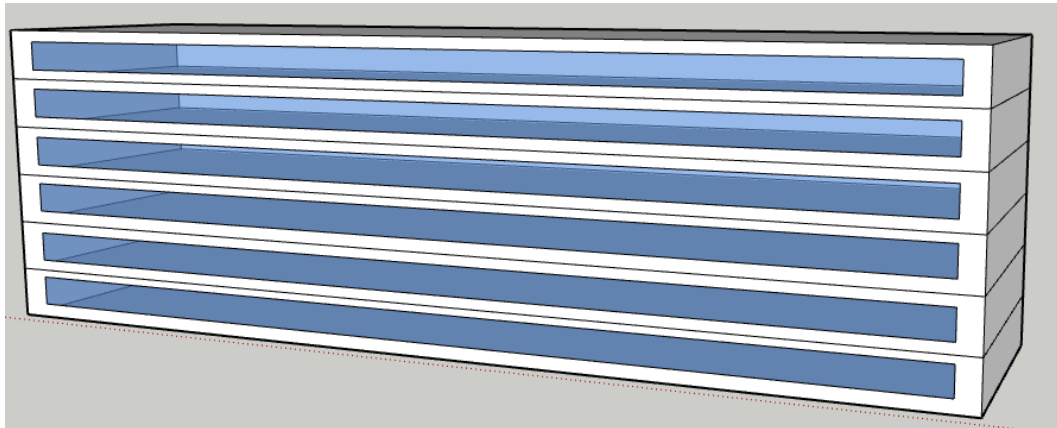
Figura 2 – Zoneamento do Campus Florianópolis e Entorno



Fonte: Anexo Micro zoneamento Insular, Lei complementar 482, de 2014.

Para o modelo geométrico foi adotada uma altura total de 22,00 metros, considerando o pavimento térreo com 4,00 metros de pé direito e mais 6 pavimentos tipo com 3,00 metros de pé direito cada, respeitando assim o plano diretor de Florianópolis. A Figura 3 apresenta um esquema da edificação com 6 andares.

Figura 3 – Modelo esquemático do objeto de estudo

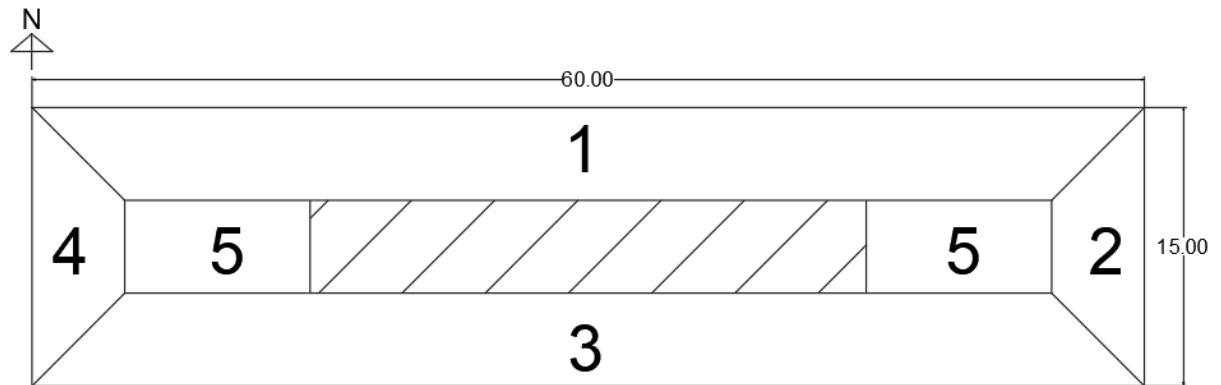


Fonte: Autor (2019)

As plantas dos dois modelos propostos diferem na separação das zonas térmicas e nas zonas perimetrais. O primeiro modelo é baseado na metodologia do *Core and Shell* da ASHRAE 90.1 anexo G, o segundo em estratégias que visam o conforto térmico. O modelo *Core and Shell* é dividido em duas partes. A primeira é o núcleo da edificação (*Core*) onde a influência envoltória não é significativa, portanto podemos considerar o centro como uma zona única. A segunda parte é chamada de zona perimetral ou a casca da edificação (*Shell*), onde as características da envoltória influenciam diretamente nas zonas internas (ASHRAE standard 90.1 2016).

O modelo representado na Figura 4 mostra a planta esquemática com a divisão das zonas térmicas baseadas no modelo *Core and Shell*. A área hachurada no centro apresenta os ambientes sem permanência prolongada (escadas e banheiros). As áreas numeradas de 1 a 4 representam as zonas perimetrais. As áreas anotadas com o número 5 são as zonas do núcleo da edificação.

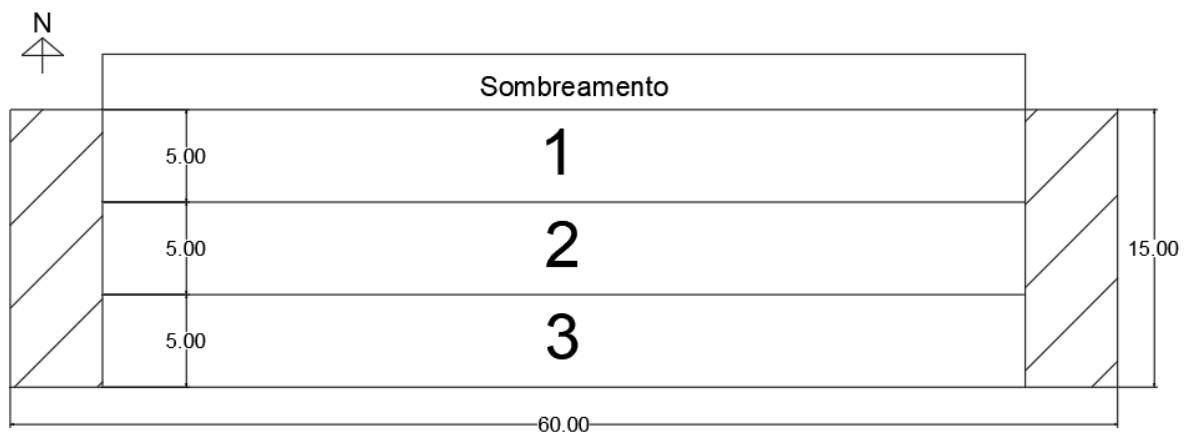
Figura 4 – Esquema de planta *Core And Shell* com escadas no centro da edificação.



Fonte: Autor (2019)

A segunda geometria foi considerada com características de projetos que buscam atingir o conforto térmico através de estratégias bioclimáticas, como deslocar as escadas para as extremidades da edificação para evitar o ganho de carga térmica através das fachadas leste e oeste. As áreas nas laterais são as escadas e banheiros. As zonas 1 e 3 são as chamadas zonas periféricas enquanto que a zona 2 representa o centro da edificação. Também apresenta a utilização de sombreamento horizontal na fachada norte. Assim serão 3 zonas a serem estudadas, duas zonas periféricas e uma zona central. A Figura 5 representa o modelo esquemático da geometria proposta.

Figura 5 – Planta esquemática com escadas nas fachadas leste e oeste.



Fonte: Autor (2019)

As edificações apresentam portanto as mesmas áreas totais, mesmas áreas de envoltória e volume, bem como fator de forma. Na Tabela 8 estão os dados referentes a cada geometria.

Tabela 8 – Áreas geometrias 1 e 2

Geometria	Geo 1	Geo 2
Area Total (m²)	5400	5400
Area Ocupada (m²)	4500	4500
Aenv (m²)	3150	3150
Vtot	18900	18900
Fator de Forma (FF)	0.17	0.17

Fonte: Autor (2019)

Com a definição de forma e altura é necessário definir os parâmetros a serem estudados. No item a seguir serão apresentadas as variáveis utilizadas.

3.2 Diretrizes de projetos adotadas

Para a realização do estudo paramétrico é necessário determinar as variáveis que serão estudadas. As escolhas foram realizadas visando obter entradas que aparentam uma distribuição homogênea.

3.2.1 Percentual de abertura

Os percentuais de aberturas foram adotados levando em consideração as questões legislativas, principalmente as instruções normativas dos bombeiros de Santa Catarina. Portanto, foi considerado um peitoril de 1,10 metros para atender as normas de segurança.

Por questões construtivas as vigas superiores foram consideradas com 30 cm de altura, resultando em uma altura máxima de 2,10 metros livres para área envidraçada. Assim o percentual máximo de área envidraçada adotado foi de 60%, resultando em uma área de 126,00 m² por andar, um total de 756,00 m² por fachada.

Foram adotados quatro percentuais diferentes: 30%, 40%, 50% e 60%. Valores inferiores a 30 % não foram considerados por resultarem em aberturas

inferiores a 1,00 metro. Já valores superiores a 60% não foram considerados por questões legislativas e construtivas. Os valores adotados visam obter uma distribuição homogênea dos resultados.

3.2.2 Tipos de vidros

Foram adotados dois tipos de vidros com diferentes valores para fator solar. O primeiro referente a um vidro simples claro, o vidro mais comum na construção. O segundo referente à um vidro insulado também conhecido como vidro com controle solar, com fator solar intermediário. Ambos vidros simples com 6 mm de espessura. Portanto foram utilizados fatores solares de 0,837 para o vidro claro e de 0,67 para o vidro com fator solar intermediário.

3.2.3 Absortâncias de paredes e coberturas

As absortâncias solares escolhidas visam abordar três gamas de cores diferentes, desde cores claras até cores escuras. O padrão adotado foi o proposto pela NBR 15.575 para o método de simulação, utilizando as seguintes absortâncias: 0,3; 0,5 e 0,7.

Usualmente os prédios do IFSC apresentam duas cores predominantes em suas fachadas, que representam as cores da logo da instituição, sendo branco e verde. A cor branca é utilizada normalmente em grande parte da fachada e é representada pelo valor de absortância de 0,3. A cor verde pode ser representada pelos dois valores de absortância 0,5 e 0,7 dependendo da idade da pintura bem como da tonalidade utilizada.

A fachada do IFSC, campus Florianópolis, exemplifica a maneira como as cores são utilizadas, como pode ser visto na Figura 6.

Figura 6 – Fachada IFSC campus Florianópolis.



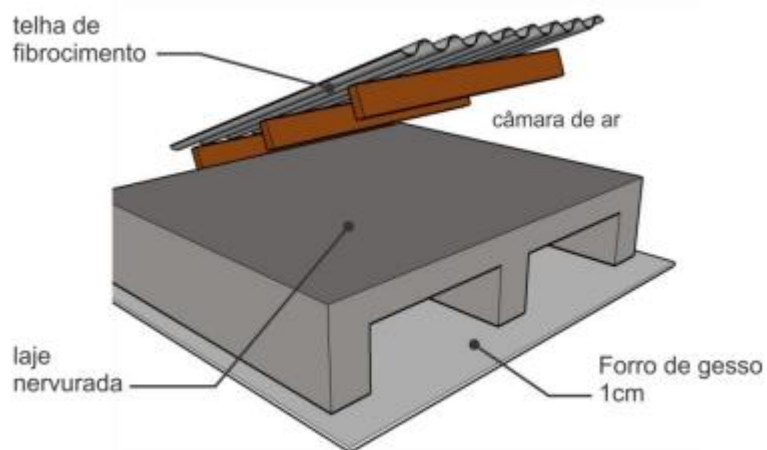
Fonte: Google Street View (2019)

3.2.4 Tipos de cobertura

Para as coberturas foram utilizados dois tipos de sistemas construtivos.

A primeira opção é uma cobertura comumente utilizada pela instituição no campus Florianópolis, que é composta de laje nervurada e telha de fibrocimento. A Figura 7 retirada do anexo V do RAC ilustra a cobertura utilizada na construção mais atual do campus Florianópolis.

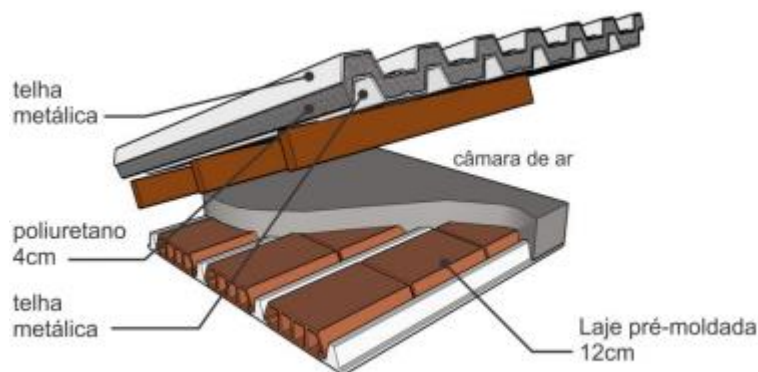
Figura 7 – Ilustração de cobertura com laje e telha de fibrocimento



Fonte: Anexo V - RAC

A segunda opção foi uma cobertura com isolamento, composta por telha sanduiche. Uma outra ilustração de cobertura com isolamento térmico é apresentado na Figura 8.

Figura 8 – Ilustração de cobertura com telha sanduiche



Fonte: Anexo V RAC

A Figura 8 apresenta somente um exemplo de cobertura utilizando telhas com isolamento térmico, não representando a laje nervurada comumente utilizada pelo IFSC. Para o modelo proposto será considerada uma laje nervurada de 15 cm, forro de gesso de 2.5 cm e telha metálica de 6 mm com isolamento de EPS de 4 cm.

As principal diferença entre as coberturas está na telha sanduiche com isolamento de poliestireno expansível (EPS), alterando os valores de transmitância térmica, porém mantendo próximos os valores de capacidade térmica. Na Tabela 9 estão os valores de transmitância e capacidade térmica de cada cobertura.

Tabela 9 – Valores de transmitância e capacidade térmica das coberturas

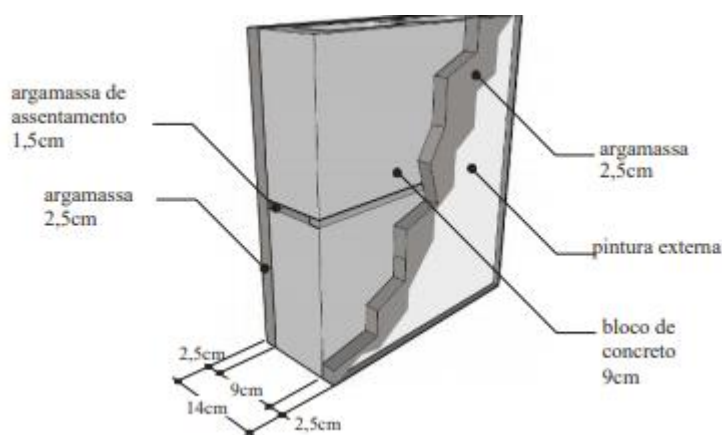
	Transmitância (W/m ² -K)	Capacidade térmica (kJ/m ² -K)
Cobertura Não isolada	2,1	252,8
Cobertura Isolada	0.7	251,2

Fonte: Autor (2019)

3.2.5 Sistemas de vedação vertical

Para os sistemas de vedação vertical foram avaliados três valores de transmitância térmica diferentes. Para isso, foi adotada uma parede com transmitância térmica padrão e escolhidas duas variações, sendo a parede padrão o sistema mais utilizado pelo IFSC. A Figura 9 apresenta um tipo de parede utilizada na construção do bloco central no campus Florianópolis, que consiste em blocos de concreto com reboco e pintura interna e externa.

Figura 9 – Parede utilizada no campus Florianópolis.



Fonte: Anexo V RAC (INMETRO, 2013)

O valor de transmitância térmica para a parede 1 é de $1.9 \text{ W/m}^2\text{K}$. Para a parede de referência serão adotados os seguintes materiais: Revestimento reboco, bloco de concreto e revestimento externo de argamassa com pintura. Na Tabela 10 a seguir estão representadas as propriedades dos materiais da parede 1.

Tabela 10 – Materiais Parede 1

Material	Condutividade (W/m-K)	espessura (m)	resistência ($\text{m}^2\text{-K/W}$)
Reboco	1.15	0.02	0.02
Bloco de concreto	1.75	0.14	0.08
Reboco	1.15	0.02	0.02

Fonte: Autor (2019)

O segundo modelo de parede (Parede 2) apresenta em sua composição materiais semelhantes porém foi adicionada uma câmara de ar no interior. Desta forma a transmitância térmica passa para 1,5 W/m²K, vide Tabela 11.

Tabela 11 – Materiais Parede 2

Material	Condutividade (W/m-K)	espessura (m)	resistência (m²-K/W)
Reboco	1.15	0.02	0.02
Bloco de concreto	1.75	0.14	0.08
Câmara de ar	-	-	0.16
Reboco	1.15	0.02	0.02

Fonte: Autor (2019)

O terceiro e último modelo consiste na adição de uma camada de EPS de 3 mm no lugar da câmara de ar, baixando o valor da transmitância térmica de 1,9 W/m²K para 0,9 W/m²K como pode ser visto na Tabela 12 a seguir.

Tabela 12 – Materiais Parede 3

Material	Condutividade (W/m-K)	espessura (m)	resistência (m²-K/W)
Reboco	1.15	0.02	0.02
EPS	0.04	0.03	0.75
Bloco de concreto	1.75	0.14	0.08
Reboco	1.15	0.02	0.02

Fonte: Autor (2019)

Os valores das transmitâncias térmicas e capacidades térmicas dos três tipos de paredes podem ser observados na Tabela 13.

Tabela 13 – Valores de transmitância térmica e capacidade térmica das paredes

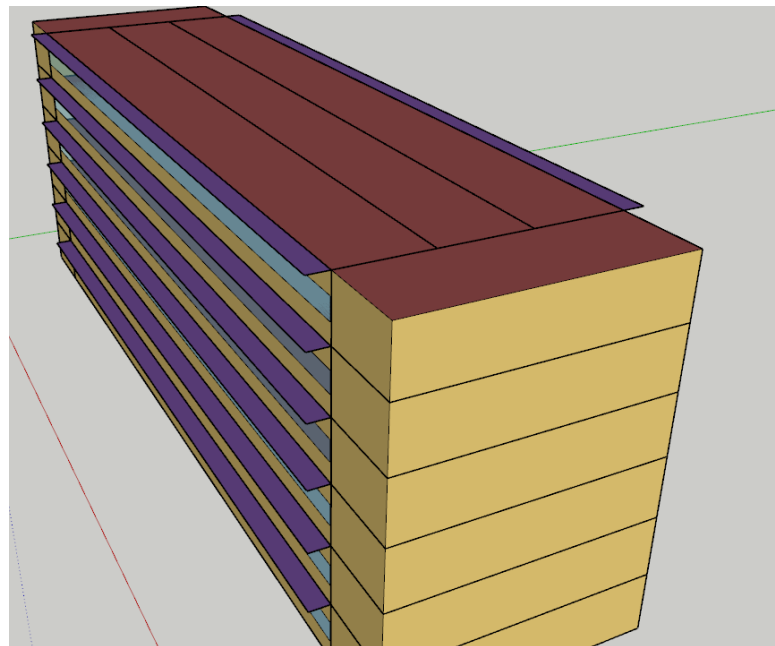
	U (W/m²-K)	CT (KJ/m²-K)
PAREDE 1	2.9	258,9
PAREDE 2	1.9	258,9
PAREDE 3	0,9	259,8

Fonte: Autor (2019)

3.2.6 Sombreamento

Estratégias de sombreamento também foram analisadas, simulando os modelos com e sem sombra. Para o modelo com sombra foi adotado sombreamentos horizontais ao longo do comprimento da janela com 1.20 metros de profundidade. A Figura 10 mostra a modelagem dos sombreamentos.

Figura 10 – Sombreamento utilizado na geometria 1 e 2



Fonte: Autor (2019)

As diretrizes apresentadas foram simuladas com o programa EnergyPlus . Para realizar a análise combinatória entre as diretrizes, foi utilizado o programa JEplus, resultando em 720 combinações e simulações.

Além das simulações com as variáveis citadas é preciso realizar a simulação para cada edifício de referência (um para cada geometria), a fim de obter um valor de base para comparação. A seguir serão abordados quais os dados utilizados para a simulação do edifício de referência, segundo o método de simulação do INI-C.

3.3 Edifício de referência

Para o edifício de referência foram utilizados os requisitos estipulados pelo INI-C. O regulamento apresenta tabelas referentes as condições de referências das edificações, separadas pelo uso final. Por se tratar de uma edificação para uso educacional deve-se consultar a tabela A.2 do documento.

A tabela A.2 do documento divide o uso educacional em três classes diferentes: Educação Infantil, Ensino fundamental e médio e Ensino Superior. Para as simulações deste trabalho foram consideradas as condições de referência para edifícios de ensino superior, apresentadas na Tabela 14.

Tabela 14 – Condições do edifício de referência D para edificações educacionais

Uso típico	Edificações educacionais			
	Condição real	Condição de referência		
		Educação infantil	Ensino fundamental e médio	Ensino superior
Geometria				
Forma	Condição real			
Orientação solar (°)	Condição real			
Pé-direito (piso a teto) (m)	Condição real			
Aberturas				
PAF - Percentual de abertura da fachada (%)	Condição real	40		
PAZ - Percentual de abertura zenital (%)	Condição real	0		
Componentes construtivos				
<i>Parede</i>	Condição real	Argamassa interna (2,5 cm), bloco cerâmico furado (9 cm), argamassa externa (2,5 cm)		
Upar - Transmitância da parede externa (W/m²K)	Condição real	2,39		
αPAR - Absortância da parede (adimensional)	Condição real	0,5		
CTpar - Capacidade térmica da parede (kJ/m²K)	Condição real	150		
<i>Cobertura</i>	Condição real	Telha de fibrocimento, câmara de ar (>5 cm) e laje maciça de concreto (10 cm)		
Ucob - Transmitância da cobertura (W/m²K)	Condição real	2,06		
αCOB - Absortância da cobertura (adimensional)	Condição real	0,8		
CTcob - Capacidade térmica da cobertura (kJ/m²K)	Condição real	233		
<i>Vidro</i>	Condição real	Vidro simples incolor 6mm		
FS – Fator solar do vidro (adimensional)	Condição real	0,82		
Uvid - Transmitância do vidro (W/m²K)	Condição real	5,7		
AHS - Ângulo horizontal de sombreamento (°)	Condição real	0		
AVS - Ângulo vertical de sombreamento (°)	Condição real	0		
AOV - Ângulo de obstrução vertical (°) *	Condição real	Condição real		
Iluminação e ganhos				
DPI - Densidade de potência de iluminação (W/m²) **	Condição real	15,5***		
Ocupação (m²/pessoa)	Condição de referência	2,5	1,5	1,5
DPE - Densidade de potência de equipamentos (W/m²)	Condição de referência	15,0	9,7	9,7
Horas de ocupação (horas)	8			
Dias de ocupação (N _{mo})****	200			
Condição do piso	Condição real			
Condição da cobertura	Condição real			
Isolamento do piso	Condição real	Sem isolamento		
Condicionamento de ar (refrigeração)				
COP - Coeficiente de performance (W/W)	Condição real	2,60		
Temperatura setpoint (°C)	24,0			
Aquecimento de água*****				

Fonte: INI-C (Portaria nº 248, de 10 de julho de 2018)

Como são duas geometrias distintas foi necessário realizar uma simulação para cada caso, assim tem-se dois edifícios de referência. As taxas de ocupação, bem como o coeficiente de performance (COP) do ar condicionado e a potência dos equipamentos são as mesmas tanto para o caso real quanto para os edifícios de referência. Na Tabela 15 estão os valores adotados para os dois edifícios de referência.

Tabela 15 – Valores adotados para edifícios de referência

	COP	Ocupação (m ² /pessoa)	Iluminação (W/m ²)	Densidade equipamento (W/m ²)	Transmitância paredes (W/m ² - K)	Transmitância coberturas (W/m ² -K)
Geometria 2	2,6	1,5	15,5	9,7	2,39	2,06
Geometria 1	2,6	1,5	15,5	9,7	2,39	2,06

Fonte: Autor (2019)

3.4 Método Paramétrico

O método paramétrico consiste em realizar uma análise combinatória das diretrizes de projeto, verificando sua influência no desempenho energético da edificação. As variáveis citadas nos itens anteriores serão combinadas a fim de determinar quais composições construtivas geram o melhor desempenho energético para cada modelo.

A análise combinatória permite que se obtenha os resultados referentes a todas as combinações possíveis das diretrizes de projetos escolhidas para estudo. É um método que possibilita analisar os dados de maneira estratificada, para que se determine quais são as diretrizes com maior influência no desempenho da edificação.

Inicialmente foram realizadas 360 simulações para cada geometria, um total de 720 simulações. Assim foi possível determinar quais as melhores combinações de variáveis a fim de atender um desempenho satisfatório.

Para realizar as simulações e fazer a análise dos resultados foram utilizados programas computacionais, que serão abordados no próximo item.

3.4.1 Programas Utilizados

As duas geometrias propostas foram modeladas utilizando o Sketchup junto com o plugin Euclid. O plugin foi utilizado para converter as informações 3D fornecidas pelo Sketchup para a linguagem utilizada na extensão. idf utilizada pelo EnergyPlus.

As informações referentes aos cálculos de condução do calor, as escalas de ocupação dos ambientes, além das propriedades dos materiais, entre outros. foram inseridas no programa Energy Plus para realizar a simulação.

O EnergyPlus foi configurado utilizando 6 *timesteps* por hora e algoritmos de convecção TARP, que se baseiam na diferença de temperaturas entre as superfícies. O período de simulação foi de 1 de janeiro a 31 de dezembro sem utilização de feriados ou dias específicos. As férias escolares foram incluídas nas escalas de ocupação da edificação.

Como a edificação está em contato com o solo, foi considerado as temperaturas do solo, retiradas do arquivo climático de Florianópolis. Configurou-se dentro do Energy Plus um *gound Domain: Slab* para calcular as temperaturas de contato com o solo.

A infiltração foi definida com 5 renovações de ar por hora ligada durante 24 horas e em todas as zonas. Já o sistema de ar condicionado foi inserido somente nas zonas ocupadas, utilizando um *template* de ar condicionado do tipo PTHP.

O programa JEplus foi utilizado para simulação paramétrica, realizando a análise combinatória entre todas as diretrizes escolhidas. Para tanto foram configurados os parâmetros como pode ser observado na Tabela 16 a seguir.

Tabela 16 – Variáveis utilizadas no JePlus.

	@@COB@@	@@FS@@	@@ABS@@	@@PAR@@	@@HJAN@@
Diretriz	Cobertura	Tipo de vidro	Absortância	Parede	Percentual de abertura
Descrição	Varia o tipo de cobertura em isolada e não isolada	Varia o tipo de vidro alterando o fator solar	Varia as absortâncias externas das coberturas e paredes	Varia o tipo de parede entre os 3 selecionados	Altera a altura da janela, modificando o percentual de abertura

Fonte: Autor (2019)

As análises dos resultados foram realizadas utilizando tabelas para cálculo das escalas de eficiência e dos resultados de cada simulação. Assim utilizou-se os

programas do libre Office para elaborar as tabelas comparativas, além das matrizes de correlação.

3.4.2 Determinação do nível de eficiência energética.

Os níveis de eficiência energética foram determinados utilizando o procedimento abordado pelo INI-C. Segundo este documento para se obter o nível de eficiência energética da envoltória da edificação deve-se avaliar a condição real e o modelo de referência, sendo que este último apresenta características da classe D de eficiência energética.

O processo utilizado, como já mencionado anteriormente, foi o método de simulação, abordado no anexo C do INI-C. Para este trabalho, calculou-se a eficiência energética da envoltória, pelo método de simulação proposto pelo INI-C.

3.4.2.1 Determinação do nível de eficiência da envoltória

De acordo com o INI-C é possível simular o desempenho energético da envoltória como sistema isolado. Para que isso seja feito o primeiro passo é determinar a carga térmica anual total da edificação real (C_{gTreal}) e de referência (C_{gTref}). Procedimento este que ocorre através do processo de simulação.

Para tal foi realizado uma simulação com as características de referência propostas pelo INI-C como abordado no item 2.2 deste trabalho. Como resultado da simulação obteve-se os dados referentes a carga térmica de refrigeração dos ambientes. Em seguida, foram tratados os dados das 360 simulações para cada geometria, a fim de obter os valores de carga térmica das condições reais do edifício.

Após os cálculos de carga térmica de refrigeração (C_{gTreal}) de cada uma das possibilidades, foram calculados os fatores de forma e o volume da edificação, necessários para o cálculo do fator de redução de carga térmica. Como as geometrias possuem as mesmas dimensões e o mesmo número de pavimentos (mesma altura) o fator de forma (FF) e o volume (Vv) são idênticos para todos os casos. Com estes valores e com o auxílio da Tabela 17 seguiu-se calculou-se o fator de redução de carga térmica de D para A (CRC_{gTd-a}). Como o fator de forma da edificação foi menor do que 0.20 e Florianópolis está localizado no GCL1-B o coeficiente utilizado foi de 0.14.

Tabela 17 – Coeficiente de redução de carga térmica anual da classe D para A com base no fator de forma para edificações educacionais.

Grupo Climático	Coeficiente de redução da carga térmica total anual da classe D para a classe A (CRCgTD-A)				
	FF ≤ 0,20	0,20 < FF ≤ 0,30	0,30 < FF ≤ 0,40	0,40 < FF ≤ 0,50	FF > 0,50
GCL 1- A	0,19	0,19	0,22	0,25	0,27
GCL 1- B	0,14	0,15	0,17	0,18	0,19
GCL 2	0,19	0,20	0,26	0,35	0,41
GCL 3					
GCL 4					
GCL 5	0,15	0,15	0,17	0,18	0,19
GCL 6					
GLC 7	0,14	0,15	0,18	0,23	0,27
GCL 8					
GCL 9	0,14	0,15	0,17	0,19	0,21
GCL 10	0,15	0,16	0,18	0,18	0,19
GCL 11	0,12	0,13	0,14	0,14	0,14
GCL 12					
GCL 13	0,11	0,12	0,13	0,14	0,14
GCL 14					
GCL 15	0,11	0,11	0,13	0,12	0,12
GCL 16					
GCL 17	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07
GCL 18	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07
GCL 19	0,07	0,07	0,08	0,07	0,07
GCL 20					
GCL 21	0,08	0,09	0,09	0,09	0,09
GCL 22					
GCL 23	0,08	0,08	0,09	0,08	0,08
GCL 24					

Fonte: Proposta de aperfeiçoamento do RTQ-C (Portaria nº 248, de 10 de julho de 2018)

A seguir foi determinado o valor do (*i*) para enfim determinar a escala de classificação.

$$i = \frac{CgTref * CRCgTD-A}{3} \quad (5)$$

Onde:

i = intervalo de classificação;

CgTref = carga térmica total da edificação em sua condição de referência em kWh/ano;

CRCgTD-A = coeficiente de redução da carga térmica anual da classe D para A.

A Tabela 18 apresenta os resultados do intervalo i para cada geometria.

Com o valor de i calculado utilizou-se da Tabela 18 a seguir para determinar o nível de eficiência da envoltória.

Tabela 18 – Limites dos Intervalos das Calasses de Eficiência Energética da Envoltória da Edificação.

Classe de eficiência	A	B	C	D	E
Limite superior	–	$> CgT_{TREF} - 3i$	$> CgT_{TREF} - 2i$	$> CgT_{TREF} - i$	$> CgT_{TREF}$
Limite inferior	$< CgT_{TREF} - 3i$	$\leq CgT_{TREF} - 2i$	$\leq CgT_{TREF} - 2i$	$\leq CgT_{TREF}$	–

Fonte: Proposta de aperfeiçoamento do RTQ-C (Portaria nº 248, de 10 de julho de 2018)

Como são avaliadas duas geometrias distintas foram elaboradas duas escalas com base no processo descrito acima. Os valores obtidos nas simulações das condições reais foram comparados com as escalas acima, obtendo assim a classificação de todos os 360 casos.

3.4.3 Análise dos Dados

A análise dos dados foi realizada de maneira estratificada e utilizando matriz de correlação. Este tipo de análise permite que sejam identificadas as melhores estratégias adotadas no processo de simulação de maneira independente. Auxiliando o projetista em futuras tomadas de decisão.

A análise estratificada consiste em estudar variável por variável, determinando quanto cada uma influencia positivamente ou negativamente o desempenho final da edificação. Esta é uma etapa importante, pois é através desta análise que as diretrizes de projeto serão determinadas.

Através deste método foram elaborados gráficos que apresentam a frequência de ocorrência de cada nível de eficiência para cada estratégia adotada além de matrizes de correlação.

As matrizes de correlação são ferramentas da análise estatística que permitem determinar qual o grau de dependência o resultado final tem com as diretrizes de projeto. Determina também, através de equações, se as diretrizes possuem relação linear entre si.

Os valores de correlação variam de -1,0 até +1,0. Esses valores representam uma correlação total entre os parâmetros, seja ela positiva ou negativa. Valores entre esses limites representam a correlação entre cada variável. Já valores iguais a 0,00 apontam que as variáveis não apresentam correlação linear, porém isso não significa que não apresentem uma correlação não linear.

As diretrizes finais serão obtidas com o auxílio das análises realizadas com os gráficos e as matrizes e serão apresentadas em forma de tabela, apresentando os parâmetros com melhor desempenho, sua descrição e o percentual de nível A que atingiram

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

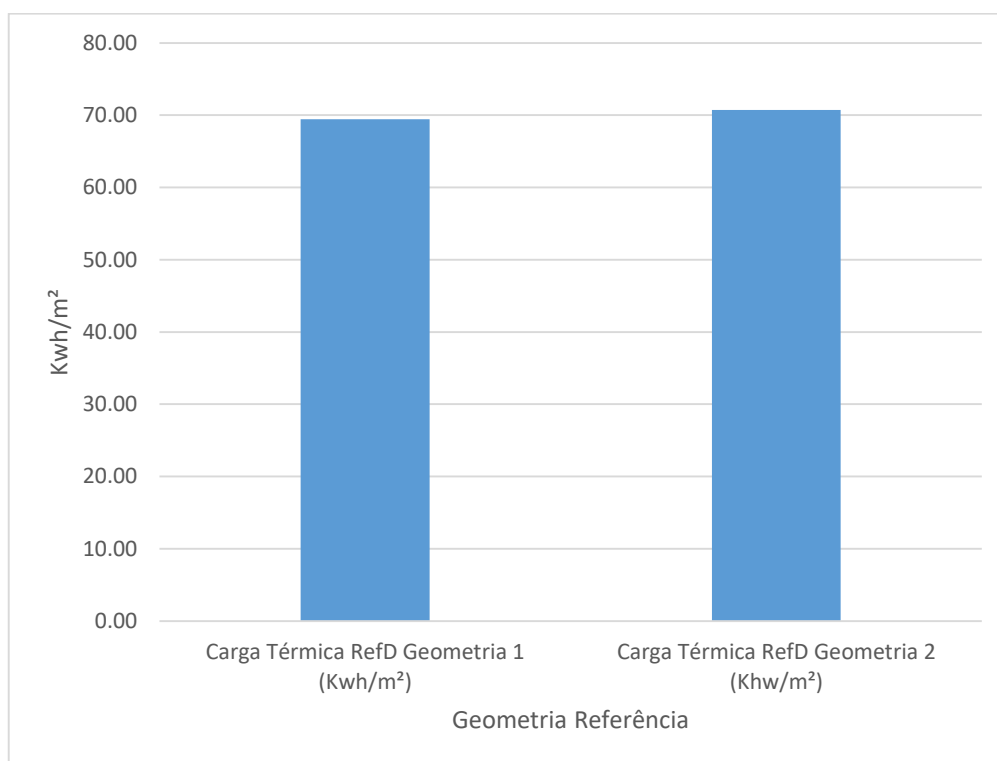
A seguir serão abordados os resultados obtidos através das 720 simulações. Serão apresentados os resultados de carga térmica de refrigeração necessário para cada condição de referência bem como o resultado da escala de eficiência energética.

Em seguida será abordada a análise estratificada, relacionando os resultados com a escolha de cada variável. Será analisada também como cada variável relaciona-se com a carga térmica de refrigeração, elencando quais os elementos com maior impacto no resultado final.

4.1 Carga térmica de refrigeração de referência e escala de eficiência

Os resultados de carga térmica de refrigeração para cada edifício de referência foram calculados com as simulações através do EnergyPlus e estão apresentados no Gráfico 1 em Kwh/m².

Gráfico 1 – Carga térmica de refrigeração do sistema de ar condicionado edifício referência D



Fonte: Autor (2019)

Observa-se que o modelo de referência da geometria 1 apresenta menor carga térmica de refrigeração do que da geometria 2. Apesar das áreas ocupadas serem idênticas (4500 m²) em ambas as geometrias, a geometria 1 apresenta maior número de zonas térmicas ocupadas, pois apresenta 4 zonas perimetrais e a zona central foi dividida em duas. A geometria 2 apresenta duas zonas térmicas perimetrais e uma zona térmica central.

Como foram consideradas duas geometrias diferentes, foi necessário calcular duas escalas de eficiência, uma para cada geometria. Entretanto as dimensões de ambas geometrias e a altura total são as mesmas, alterando somente a distribuição das zonas térmicas. Desta forma os valores de Fator de Forma (FF), Área da envoltória (A_{env}) e o volume total (V_{tot}) são os mesmos para as duas geometrias.

Como já foi observado, as cargas térmicas de refrigeração para cada referência foram diferentes, desta forma chegou-se a um valor de i diferente para cada geometria. Na Tabela 19 estão os valores de fator de forma, área da envoltória, volume total e i para cada geometria.

Tabela 19 – Carga térmica de refrigeração e intervalo i de classificação.

Geometria	Geo 1	Geo2
Cgtref (kW)h	375004.46	382056.10
CRCGtda	0.14	0.14
i	17500.21	17829.28

Fonte: Autor (2019)

A escala de eficiência foi determinada de acordo com a metodologia proposta pelo INI-C e utilizando as cargas térmicas dos edifícios de referência. Na Tabela 20 estão as escalas de eficiência para cada geometria.

Tabela 20 – Escalas de eficiência geometria 1 e 2

Escala Geometria 1 kWh/m ² ano				
A	B	C	D	E
59.72	62.96	66.20	69.45	69.45

Escala Geometria 2 Kwh/m ² ano				
A	B	C	D	E
60.85	64.15	67.45	70.75	70.75

Fonte: Autor (2019)

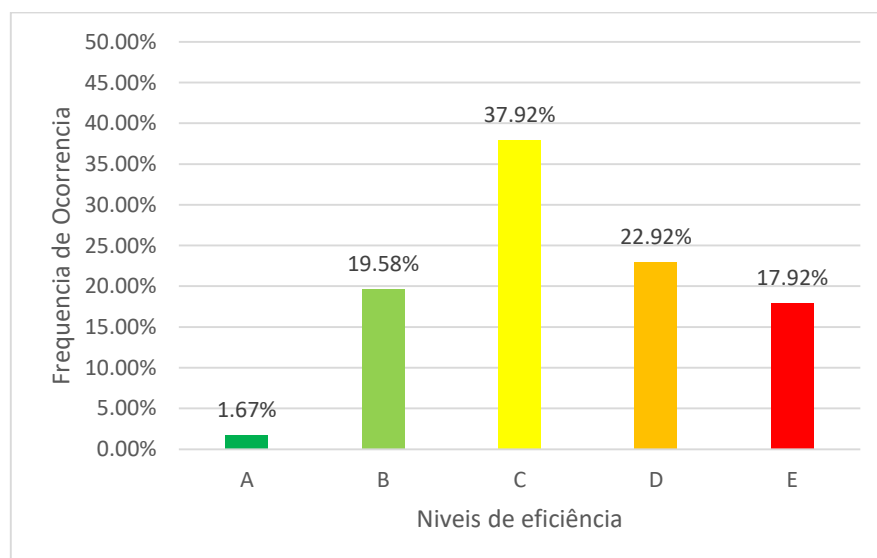
É possível observar que apesar de serem diferentes, os valores limites para cada geometria são próximos, o que era o esperado, uma vez que são geometrias similares e possuem mesmo padrão de ocupação.

A seguir será abordado o desempenho geral da edificação, bem como o desempenho individual de cada geometria.

4.2 Classificação geral da edificação

As 720 simulações resultaram em diferentes resultados. Estas foram agrupadas, respeitando a escala de eficiência para cada modelo e então obteve-se a distribuição geral de níveis. O Gráfico 2 a seguir representa um histograma como ficaram distribuídos os resultados para as 720 simulações.

Gráfico 2 – Histograma níveis de eficiência energética



Fonte: Autor (2019)

O Gráfico 2 apresenta uma distribuição relativamente normal deslocada para a direita mostrando uma maior dificuldade de se atingir um nível de desempenho superior (“A” e “B”). Observa-se a maior ocorrência no geral foram de casos “C” (273 casos) e apenas 12 casos apresentaram nível “A” um total de 1.67 % dos casos.

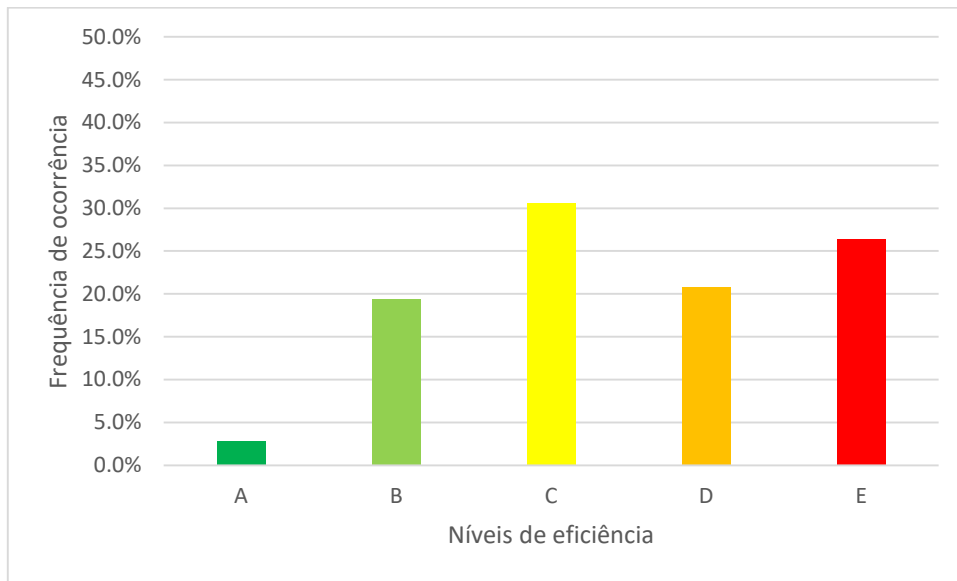
Esperava-se que os resultados apresentassem essa maior concentração de níveis “C” e poucos resultados níveis “A”. Entende-se que quanto maior for a exigência para uma edificação atingir níveis superiores de eficiência, menor será a ocorrência de casos níveis A e B.

Os resultados compilados acima representam o todo do projeto. Contudo não é possível determinar como cada geometria se comportou e qual delas pode apresentar um melhor desempenho.

Desta forma foi analisado a seguir cada geometria. Em seguida serão avaliados cada parâmetro a fim de determinais como cada variável se comporta e influência no resultado final.

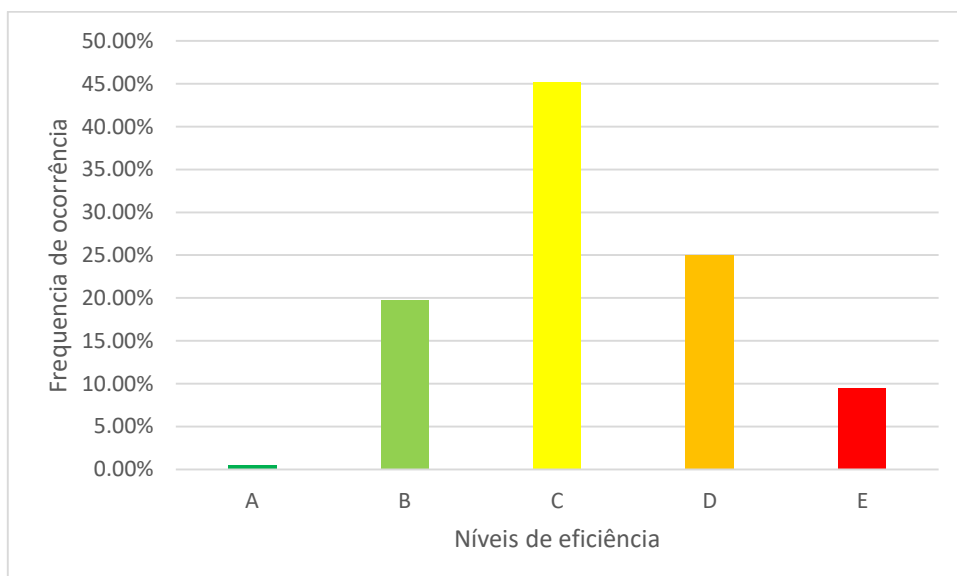
4.2.1 Desempenho estratificado por geometria

Para a geometria 1, das 360 simulações realizadas, apenas 10 apresentaram um nível “A” de desempenho. Já para nível “B” foram 70 casos. O nível “C” apresentou o maior número de ocorrências, 110 casos. Em seguida os níveis “D” e “E” apresentaram 75 e 95 casos respectivamente. A distribuição de ocorrência de cada nível pode ser vista no Gráfico 3 a seguir.

Gráfico 3 – Distribuição de casos para geometria 1

Fonte: Autor (2019)

A geometria 2 também teve 360 simulações, destas apenas 2 apresentaram nível “A”. Entretanto a distribuição dos resultados para a geometria 2 apresentou uma curva de distribuição aparentemente normal mais clara do que na geometria 1.

Gráfico 4 – Distribuição de casos para geometria 2

Fonte: Autor (2019)

Desta forma observa-se que a geometria 1 apresentou um desempenho superior do que a geometria 2 em relação a nível “A”. Porém o número de resultados

“E” foi maior também na geometria 1 evidenciando uma distribuição não normal dos resultados.

A maior ocorrência de casos “A” para a geometria 1 pode estar relacionada com a maior área de envoltória das zonas ocupadas. A maior área da envoltória permite que o calor gerado pela ocupação seja retirado através das superfícies opacas (paredes e coberturas).

A maior frequência de casos “E” também pode estar relacionado a maior área de envoltória. As paredes externas da edificação auxiliam na troca de calor durante a noite, porém durante o dia elas também podem absorver o calor e através da condução, transmitir o calor para dentro da edificação.

Além das áreas opacas, é importante ressaltar que por apresentar maior área de envoltória a geometria 1 apresenta também maior área translúcida expostas ao exterior. Neste caso são 60 metros de fachada norte e sul que possuem janelas, enquanto que no modelo 2 apenas 50 metros apresentam janelas. Sabe-se portanto que as áreas translúcidas não oferecem resistência a entrada do calor que ocorre por radiação, portanto o elevado casos de níveis “E” pode estar relacionado não somente com as áreas opacas, mas também com as áreas translúcidas da geometria 1.

Para que se justifique a diferença de desempenho entre cada geometria serão analisados a seguir cada variável utilizada nas simulações. Assim será possível determinar se as áreas opacas influenciam mesmo na retirada de calor e se as áreas translúcidas estão prejudicando o desempenho da edificação. Será possível ainda determinar quais as diretrizes construtivas a serem adotadas.

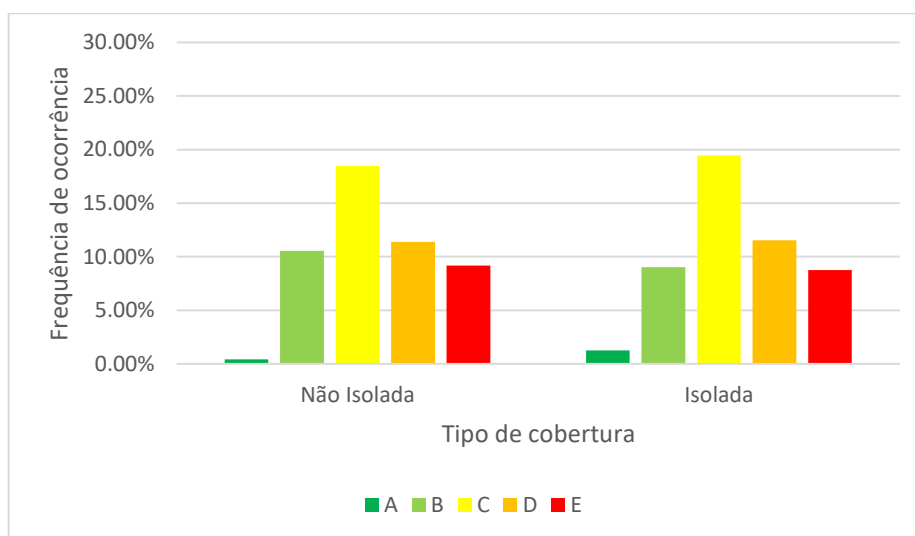
4.3 Análise estratificada por tipo de parâmetro

Cada parâmetro apresenta uma influência diferente no resultado final. Neste capítulo serão apresentadas quais foram as variáveis que influenciaram positivamente e negativamente no desempenho da edificação. Em seguida serão abordados as correlações entre cada parâmetro, o peso que cada um possui na carga térmica da edificação e quais devem ser priorizados durante o projeto.

4.3.1 Análise das Coberturas

As coberturas escolhidas para o estudo foram coberturas isoladas e não isoladas. O desempenho delas para todos os 720 casos não foi determinante para o desempenho final da edificação. No Gráfico 5 podemos observar a distribuição dos casos em relação as coberturas.

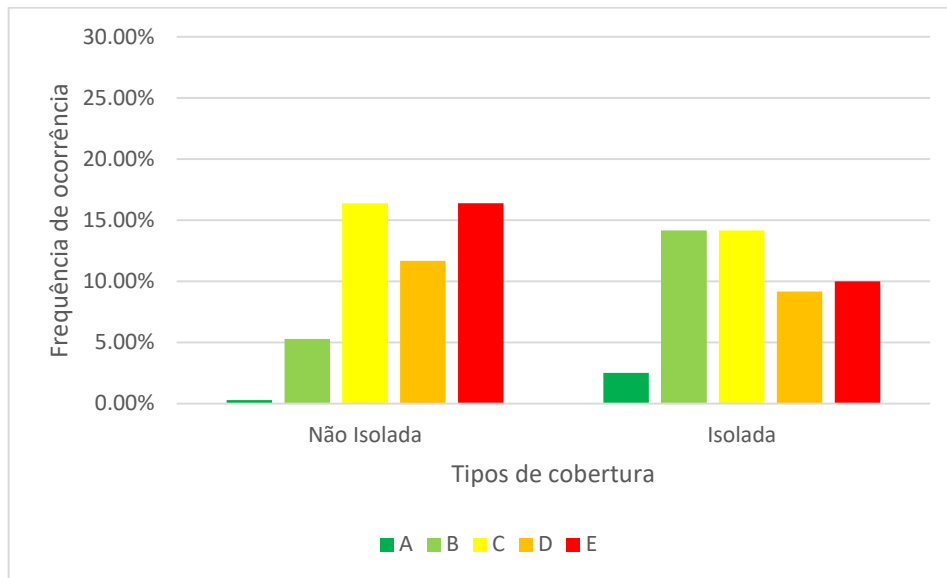
Gráfico 5 – Histograma geral por tipo de cobertura



Fonte: Autor (2019)

A diferença de desempenho entre os tipos de coberturas é mínima. A cobertura isolada apresentou 0.83% a mais dos casos de nível A (6 casos a mais do que a cobertura não isolada) Além disso apresentou 3 casos a menos de níveis “E”. Portanto o isolamento ou não da cobertura não é um fator determinante para um desempenho superior.

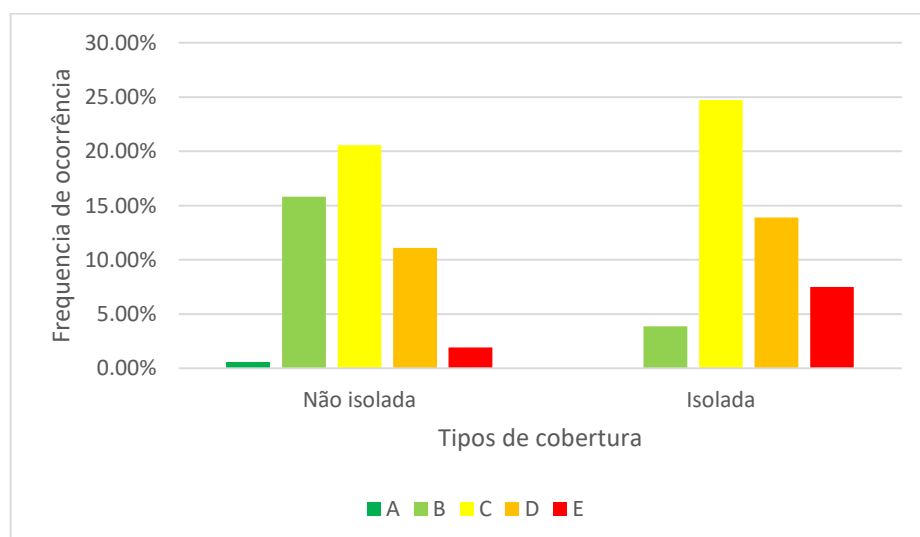
Analisando cada cobertura separada por tipo de geometria, na geometria 1 a cobertura isolada apresentou em desempenho 80% superior, com 9 casos “A” contra somente um caso “A” da cobertura não isolada. Ainda é possível ressaltar que o número de casos “E” para a cobertura do tipo isolada na geometria 1 foi menor do que para a cobertura não isolada. A tabela a baixo representa a distribuição de níveis por tipo de cobertura.

Gráfico 6– Histograma de níveis por tipo de cobertura geometria 1

Fonte: Autor (2019)

Esse comportamento se aproxima muito do que foi discutido em relação aos casos em geral. A geometria 1 precisa de maior isolamento da sua cobertura para que possa funcionar da maneira adequada. Por mais que haja a necessidade de trocar calor com o exterior, é importante também que o calor não entre na edificação.

Já para na geometria 2 o comportamento apresentado foi o inverso. A cobertura não isolada foi a única a apresentar resultados nível “A” enquanto a cobertura isolada apresentou maior números de casos nível “E” do que a cobertura normal.

Gráfico 7- Histograma de níveis por tipo de cobertura geometria 2

Fonte: Autor (2019)

A divisão das zonas térmicas da geometria 2 fez com que somente 2 zonas ficassem em contato direto com o exterior. Desta forma, como já foi mencionado, a troca de calor através das áreas opacas ocorre em maior quantidade na geometria 1 do que na geometria 2, por mais que a área de cobertura seja a mesma nos dois modelos.

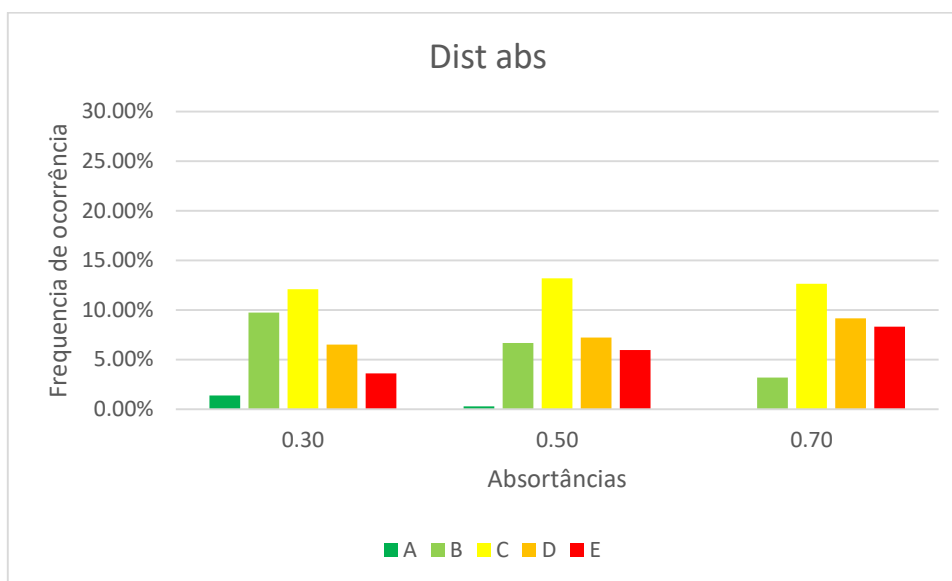
A zona central, por exemplo só troca calor com o ambiente externo através de suas coberturas. Desta forma quando se isola o telhado a carga térmica gerada pela ocupação acaba ficando concentrada na zona central da edificação, aumentando a necessidade do uso de ar condicionado. Assim ao contrário do que ocorreu com a geometria 1 onde se faz necessário maior isolamento da cobertura, na geometria 2 o ideal é não isolar.

Desta forma para determinar qual tipo de cobertura será utilizado nas próximas fases de projeto é importante considerar como serão ocupadas as zonas. Caso haja um maior número de zonas térmicas que possuam contato direto com o exterior (zonas perimetrais) deve-se optar por coberturas que isolem a entrada de calor através do telhado.

Caso se opte por geometrias onde as zonas ocupadas estejam concentradas mais no centro da edificação do que no seu perímetro o ideal é optar por coberturas que permitam uma troca de calor maior com o ambiente externo.

4.3.2 Análise estratificada das absorptâncias das paredes e coberturas

Os resultados de desempenho térmico das simulações para as absorptâncias foram separados por cada tipo de diretriz. O gráfico a seguir apresenta a distribuição das frequências de ocorrências para as três absorptâncias avaliadas.

Gráfico 8 – Histograma geral de casos por absorptância

Fonte: Autor (2019)

As absorptâncias apresentaram uma influência no desempenho maior do que o tipo de cobertura. No resultado geral, juntando as duas geometrias e a presença ou não de sombreamento, as cores claras apresentaram melhor desempenho do que as cores escuras, como já era esperado.

O Gráfico 8 demonstra o melhor desempenho de absorptâncias claras, com absorptância 0,3. Para níveis “A” e “B” a maior frequência de ocorrência de resultados ocorre justamente para absorptâncias 0.3, além disso a absorptância de 0.7 não registrou nenhum resultado nível “A”.

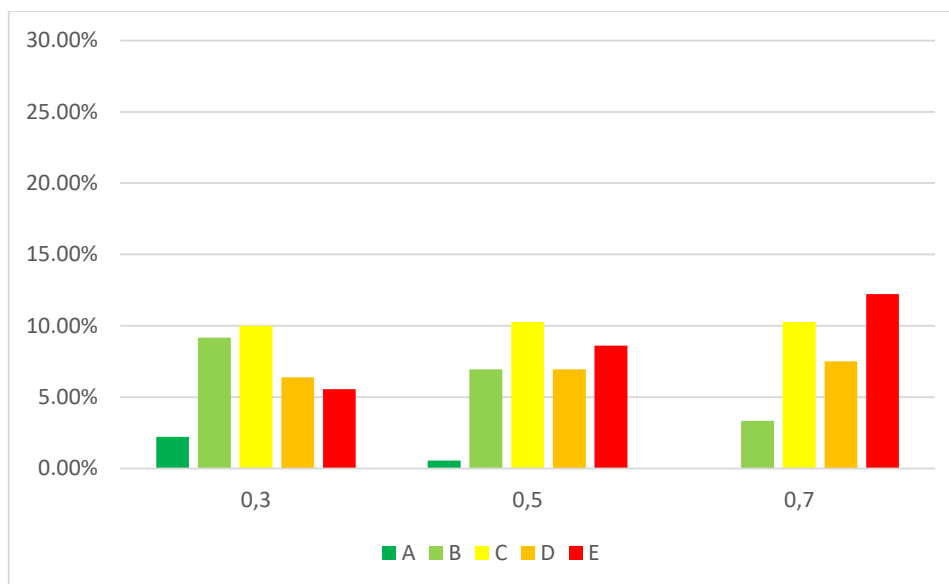
A ocorrência de níveis “E” aumentou a medida que a absorptância aumentava. Dos 129 níveis “E” atingidos com as simulações, 23 foram para absorptâncias claras e 60 para absorptâncias escuras. Um aumento de 26% quando analisado somente os casos de níveis “E”.

Esse aumento na ocorrência de níveis inferiores de eficiência energética para absorptâncias maiores que 0,5 é justificado uma vez que as absorptâncias mais escuras absorvem maior quantidade de calor. Esse calor por sua vez é transmitido para o interior da edificação através da condução pelas paredes.

A partir do nível “C” observa-se que as absorptâncias 0,5 e 0,7 ou seja, cores mais escuras, passam a prevalecer. Para resultados “D” e “E” o gráfico já está invertido e as cores claras apresentam menor frequência de ocorrência.

Também foi realizada análise de cada geometria separadamente. O gráfico a seguir apresenta um histograma de níveis de eficiência energética estratificado pelas absorções da geometria 1.

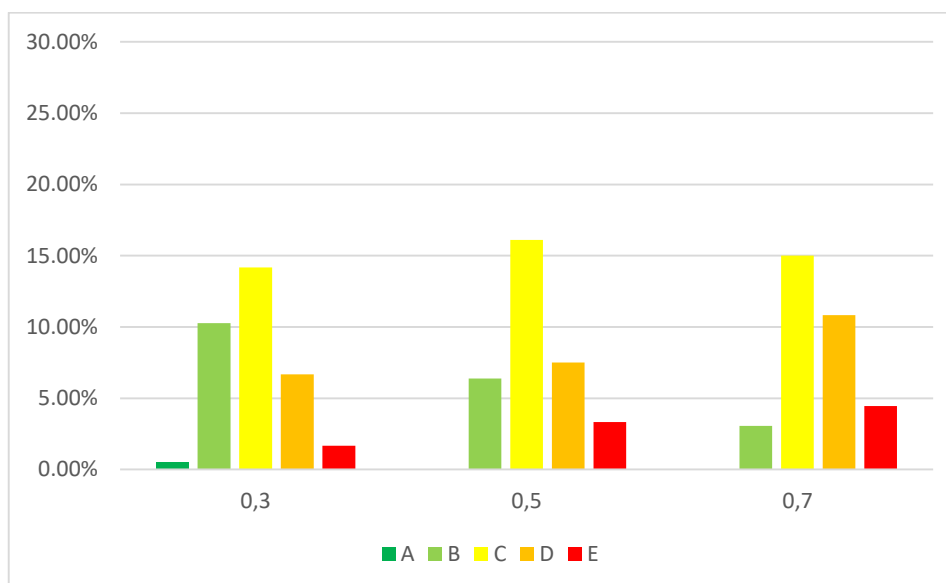
Gráfico 9 – Histograma de níveis por absorção na geometria 1



Fonte: Autor

Ao analisar separadamente cada geometria observa-se que o resultado é idêntico ao que acontece com o resultado geral. Desta forma pode-se considerar que absorções claras apresentam um desempenho superior tanto para geometria 1 quanto para a geometria 2

O Gráfico 9 demonstra que, na geometria 1, foi possível chegar a nível “A” mesmo com cores intermediárias, absorção 0,5. Entretanto o desempenho superior das absorções claras é 60% maior do que das absorções médias e escuras. Somente 20% dos casos com absorção de 0,5 apresentaram níveis “A”, enquanto 80% dos casos com absorção 0,3 atingiram níveis superiores de eficiência energética.

Gráfico 10 - Distribuição de níveis por absorptância na geometria 2

Fonte: Autor (2019)

Já na geometria 2 não houve nenhum caso “A” para absorptâncias intermediárias. Para níveis “B” é possível encontrar as três absorptâncias avaliadas. Vale ressaltar que o estudo foi realizado alterando as absorptâncias da edificação como um todo e não fazendo composição de absorptâncias entre paredes e coberturas. Desta forma pode-se considerar uma composição entre as absorptância 0,3 e 0,5 para atingir níveis entre “A” e “B”.

A geometria 2 aparenta ser mais sensível as variações de absorptâncias do que a geometria 1. Considerando que a escolha por coberturas não isoladas na geometria 2 apresenta maior ocorrência de casos nível “A” deve-se escolher cores claras para a edificação como um todo, principalmente a cobertura.

Já para a geometria 1, como as coberturas isoladas apresentaram desempenho superior é possível trabalhar com maior gama de absorptâncias, até 0,5. Isso porque, quanto menor a transmitância térmica da parede ou cobertura, menor é a influência das absorptâncias externas. Ainda se considerar a escolha por coberturas não isoladas na geometria 2 para atingir nível A, deve-se obrigatoriamente escolher cores claras.

Por fim a influência das absorptâncias no resultado final sempre deve ser levada em consideração. Contudo é importante ter em mente que a medida que se isola as paredes ou coberturas esta influência diminui, como foi observado na revisão

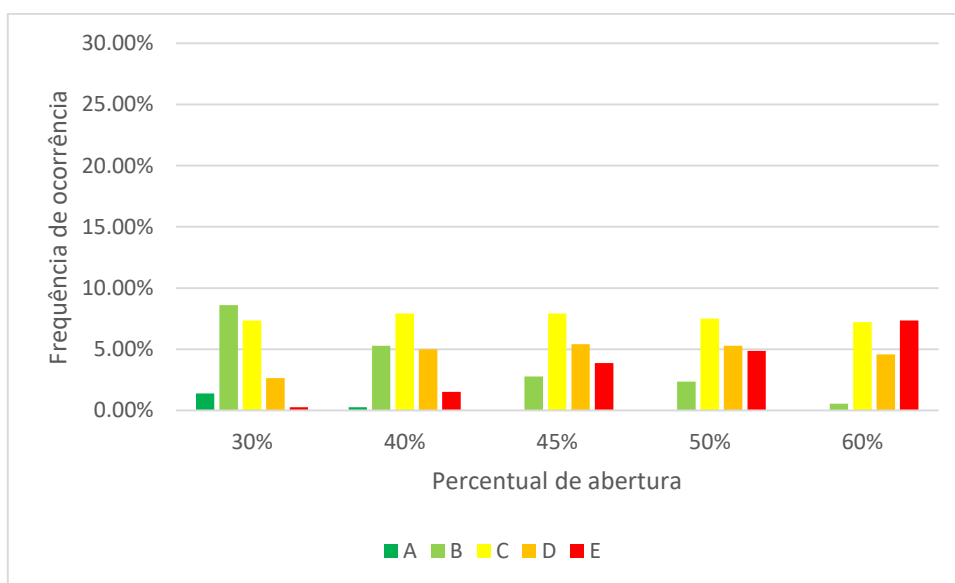
bibliográfica deste trabalho. Além disso as absorções não apresentaram resultados diferentes se isolando ou não as zonas térmicas do exterior da edificação.

A seguir serão avaliados os impactos do percentual de abertura nas fachadas, as áreas envidraçadas.

4.3.3 Análise estratificada do percentual de abertura de fachada

A análise estratificada do percentual de abertura de fachada (PAF) foi realizada através de histogramas de distribuição dos níveis de eficiência energética isolando o PAF. O gráfico a seguir apresenta o histograma utilizado para as análises.

Gráfico 11 – Histograma de níveis por percentual de abertura



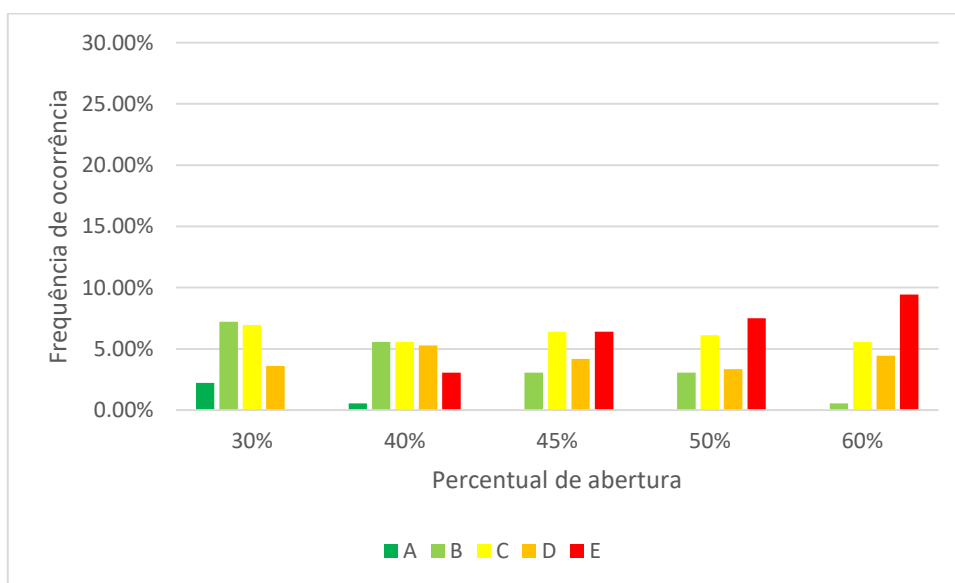
Fonte: Autor (2019)

Observa-se que para PAFs inferiores a 45% ocorrem níveis “A”. A partir de 45% de abertura não foram obtidos nenhum nível “A” e o número de níveis “B” passa a decrescer, consequentemente aumentando a ocorrência de níveis “E”.

O Gráfico 11 demonstra que valores de percentual de abertura de 30% apresentam uma ocorrência de níveis “A” 66% maior do que percentuais de abertura de 40%. Sendo assim a probabilidade de atingir níveis de eficiência energética maiores é maior com percentuais de abertura menores. Este comportamento é idêntico tanto para a geometria 1 quanto para a geometria 2.

Para a geometria 1 fica evidente que mesmo escolhendo percentuais de abertura mais baixos ainda é possível obter 7,00% de níveis “C”. Em contra partida para a geometria 2 escolher percentuais mais baixos apresenta uma probabilidade maior de se obter nível B.

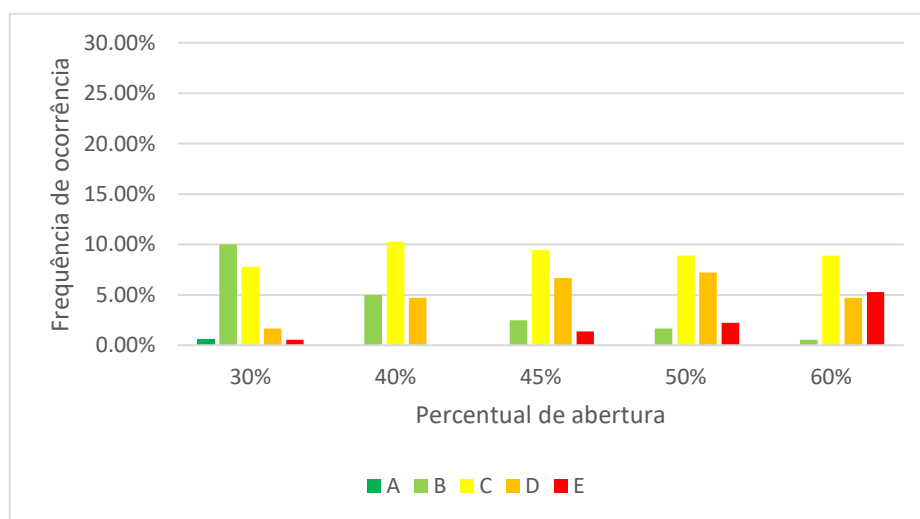
Gráfico 12 – Histograma de níveis por percentual de abertura geometria 1



Fonte: Autor (2019)

É interessante notar que para a geometria 2 os valores de 40% de abertura não apresentaram nenhum nível “E” enquanto que na geometria 1 os resultados de nível “E” começaram a aparecer apenas a partir dos 40% de área envidraçada. Esse fato pode ocorrer devido a influência do sombreamento na fachada.

Gráfico 13– Distribuição de níveis por percentual de abertura geometria 2



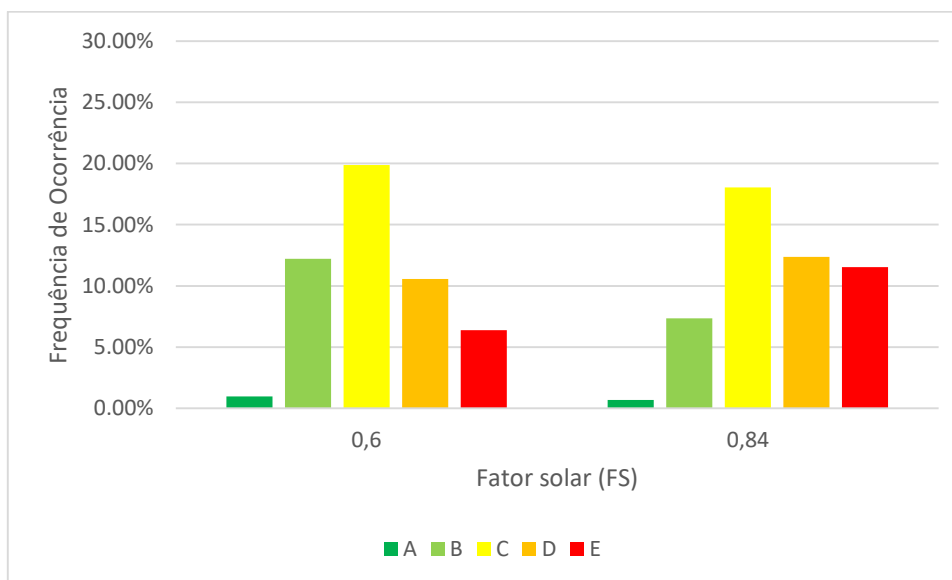
Fonte: Autor (2019)

Outra análise possível é o fato de a área envidraçada na geometria 2 estar servindo também para retirar o calor interno. Constatou-se já que a geometria 2 apresenta menor área de paredes das áreas ocupadas em contato como exterior, desta forma as aberturas de 40% podem estar contribuindo para a retirada da carga térmica gerada pela ocupação e equipamentos. Desta forma é importante que sejam realizadas novas análises nas próximas fases de projeto para que se determine de fato a porcentagem ideal.

4.3.4 Análise estratificada por tipo de vidro

Para este estudo foram escolhidos dois fatores solares diferentes, 0,837 que representa um vidro simples claro e um fator solar de 0,6 representando um vidro com controle solar. Os resultados para as 720 simulações estão apresentados no gráfico a seguir.

Gráfico 14 – Distribuição geral de casos por fator solar



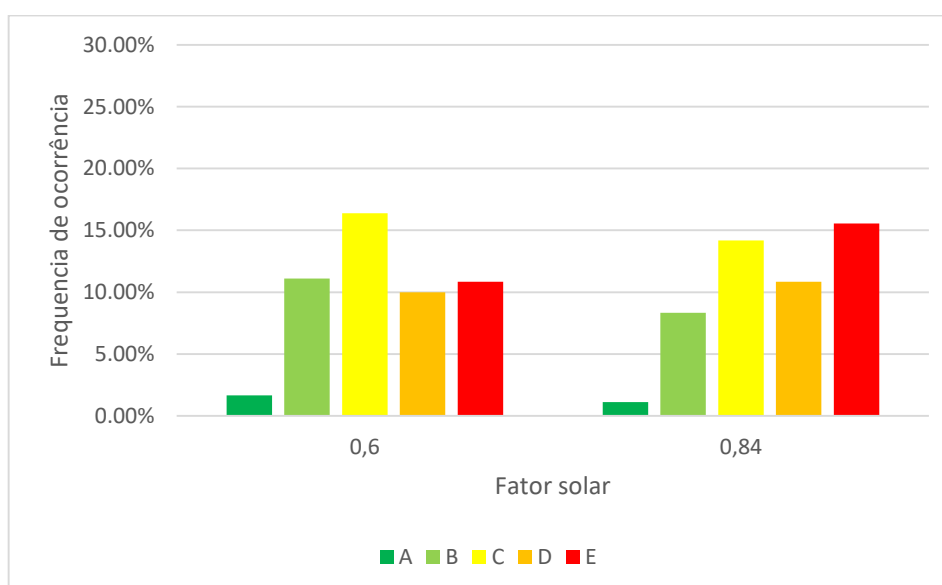
Fonte: Autor (2019)

O Gráfico 14 demonstra que um fator solar mais baixo tende a retornar desempenhos superiores. Os vidros com fator solar de 0,6 apresentaram 0,97% de casos níveis “A” enquanto que vidros com fator solar 0,837 apresentaram 0,69% dos totais simulados. Com uma diferença de 0,28% entre eles, pode-se concluir que o fator solar não foi uma diretriz determinante quanto aos níveis de eficiência.

Observando a ocorrência de níveis “B” percebe-se que vidros com controle solar apresentaram 5% a mais de níveis “B”. Além disso observa-se também um aumento de 5% dos níveis “E” quando se utiliza vidros incolores.

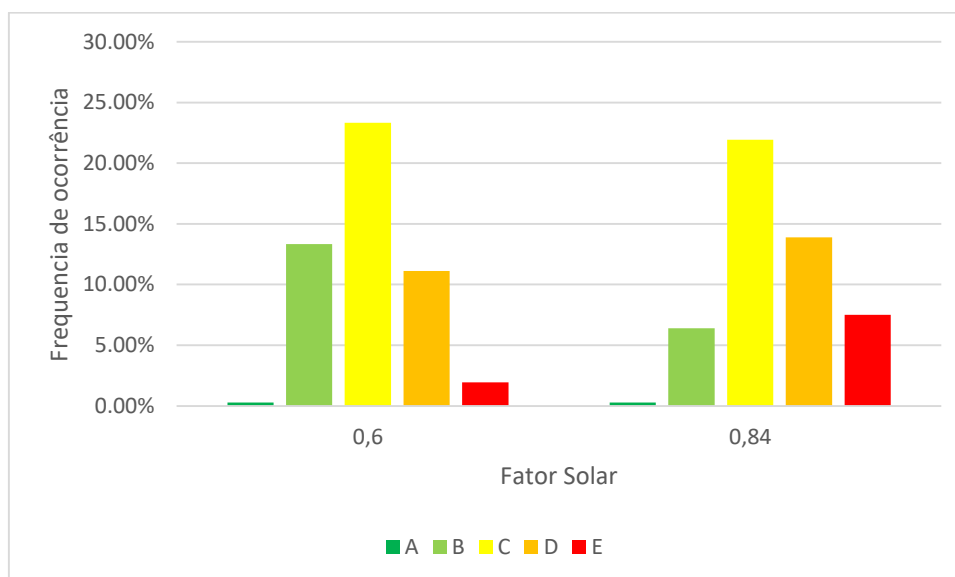
Analisando cada geometria de maneira separada observa-se que na geometria 1 a maior ocorrência de nível “A” foi com o fator solar mais baixo. Contudo observa-se também que dos 10 casos de nível “A” quatro foram com um fator solar de 0.837. A justificativa para escolha de vidros com controle solar ocorre pelo fato de que esse tipo de vidro apresenta um número maior de casos “A” e “B” e números menores de casos “E”, aumentando a probabilidade de um desempenho superior.

Gráfico 15 – Histograma níveis por fator solar geometria 1



Fonte: Autor (2019)

Já na geometria 2 a influência do fator solar na quantidade de casos de nível “A” não foi significativa, pois dos dois casos de nível “A” presentes na geometria 2, um possui fator solar 0,837 e o outro 0,6. Contudo para os demais níveis de eficiência energética fica evidente que o fator solar de 0,6 apresenta melhor desempenho.

Gráfico 16 – Histograma níveis por fator solar geometria 1

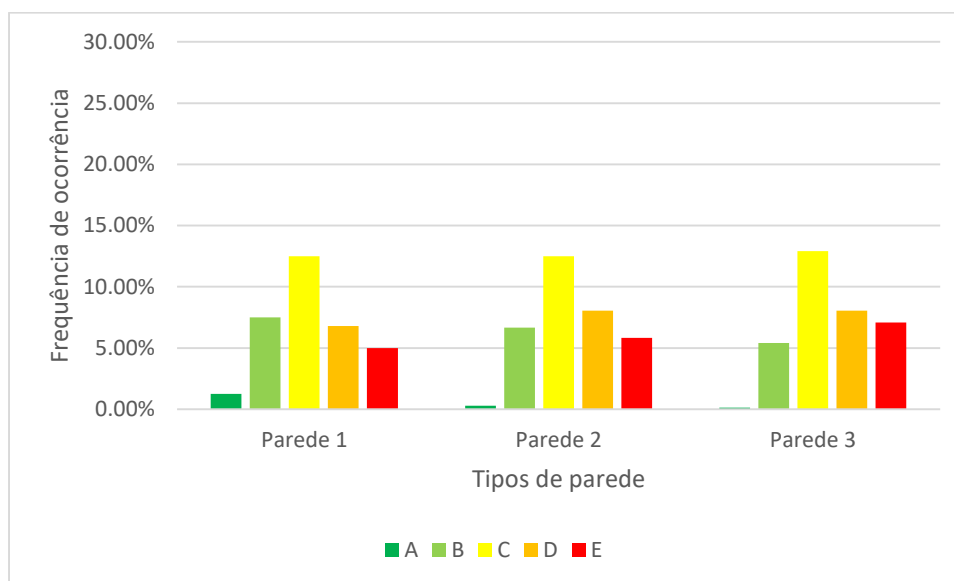
Fonte: Autor (2019)

A escolha do tipo de vidro pode ser feita analisando dois fatores principais. O primeiro seria o impacto na eficiência do projeto e o segundo questões financeiras. Como observou-se nas tabelas e gráficos acima foi possível atingir nível “A” com ambos os vidros. Evidentemente o vidro com controle solar aumenta a probabilidade de um desempenho superior, contudo o seu preço é mais elevado e pode aumentar significativamente o custo da obra.

Desta forma a decisão pelo tipo de vidro pode ser feita com análises posteriores, analisando quais foram as características que permitiram que o vidro com fator solar 0.837 atingisse nível “A”. Seguindo estas características, seria possível adotar um vidro mais barato e ainda assim atingir o desempenho desejado.

4.3.5 Análise estratificada por tipos de parede

Foram analisados três modelos de paredes divididos pela sua transmitância térmica, chamados de parede 1, parede 2 e parede 3. O histograma a baixo demonstra os resultados obtidos.

Gráfico 17 –Histograma estratificado por tipo de parede

Fonte: Autor (2019)

Dos três tipos de paredes analisados, o que possibilitou maior ocorrência de casos nível “A”, foi a parede 1, com maior transmitância térmica. Dos 12 casos onde chegou-se a um desempenho satisfatório, 9 foram utilizando a parede 1, 2 utilizando parede 2 e apenas 1 caso de parede 3. O Gráfico 17 demonstra essa distribuição.

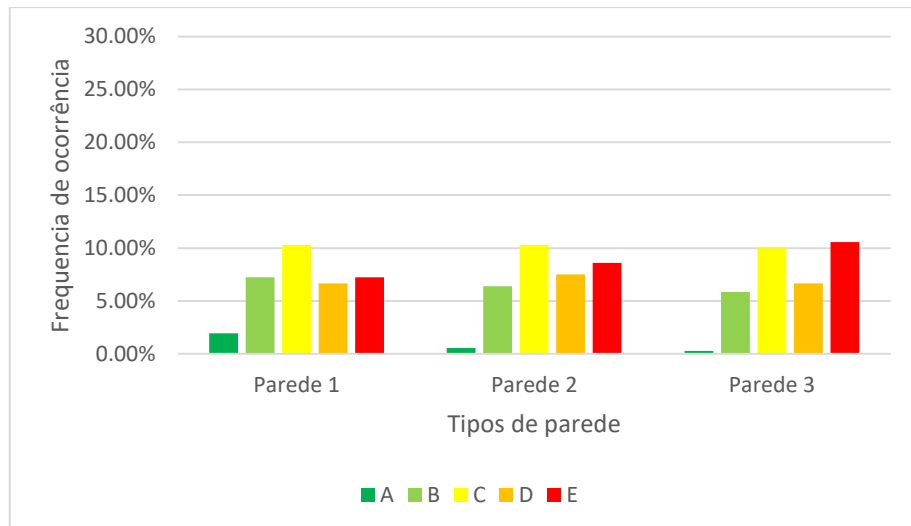
O tipo 3 de parede, que apresenta transmitância de $0,9 \text{ W/m}^2\text{-K}$ é evidenciado quando se observa a maior ocorrência de níveis “E”. Das 129 ocorrências “E” 51 foram para as paredes de menor transmitância térmica, o que representa 39% dos casos. Em contrapartida as paredes com maior transmitância térmica (parede 1) apresentaram 27% dos casos, uma diferença de 12%.

Ainda em relação ao desempenho da parede do tipo 3, observa-se que apenas 8% dos casos níveis “A” ocorreram com baixas transmitâncias na parede. Já para as paredes tipo 1 tiveram 75% dos casos nível “A”.

Esse fato pode ser explicado pelo mesmo motivo da cobertura isolada ter apresentado um desempenho levemente menor em alguns casos. A carga térmica interna da edificação pode ser retirada de maneira mais fácil através de um sistema não isolado.

Analisando o desempenho das paredes em cada geometria de maneira separada observa-se que o padrão de distribuição é igual para as duas, onde a parede mais pesada possui um desempenho melhor.

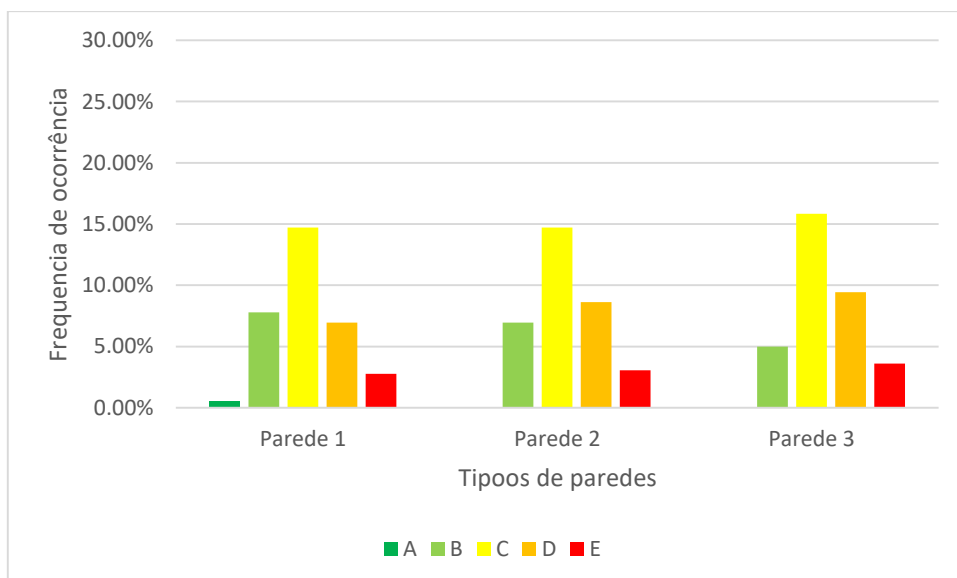
Gráfico 18 – Histograma níveis por tipo de parede para geometria 1



Fonte: Autor (2019)

Na geometria 1, inclusive 70% dos casos de níveis “A” foram para paredes pesadas enquanto que para paredes isoladas obteve-se 10% dos níveis “A”. Já para a geometria 2 100% dos casos de nível A foram para paredes pesadas.

Gráfico 19 – Histograma níveis por tipo de parede para geometria 2



Fonte: Autor (2019)

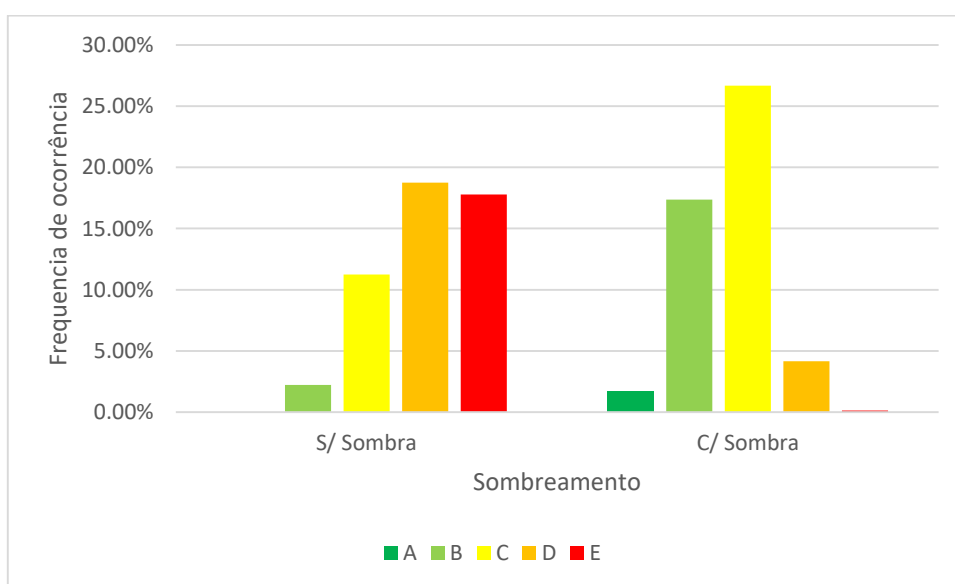
A distribuição dos casos estratificada pelos tipos de paredes não segue a mesma lógica do que o comportamento das coberturas. As paredes, tanto para a geometria 1 quanto para a geometria 2 quando isoladas não apresentam um bom desempenho. Vale ressaltar que a composição das paredes são semelhantes, portanto a inércia térmica é semelhante. A parede isolada, portanto dificulta que o calor de ambas as geometrias saia da edificação, piorando os resultados para estes casos.

Desta forma a escolha do sistema de vedação fica condicionado ao tipo de geometria. Ainda assim por mais que se opte por utilizar a geometria 1 somente uma opção de parede isolada permite atingir o nível máximo de eficiência. Contudo é importante frisar que existem outros fatores envolvidos nas tomadas de decisões como o aspecto financeiro.

4.3.6 Análise estratificada por sombreamento

A distribuição dos níveis de eficiência energética para os casos com e sem sombra estão apresentados no gráfico a seguir, onde é possível analisar a influência de cada diretriz.

Gráfico 20 – Distribuição geral entre sombra e sem sombra



Fonte: Autor (2019)

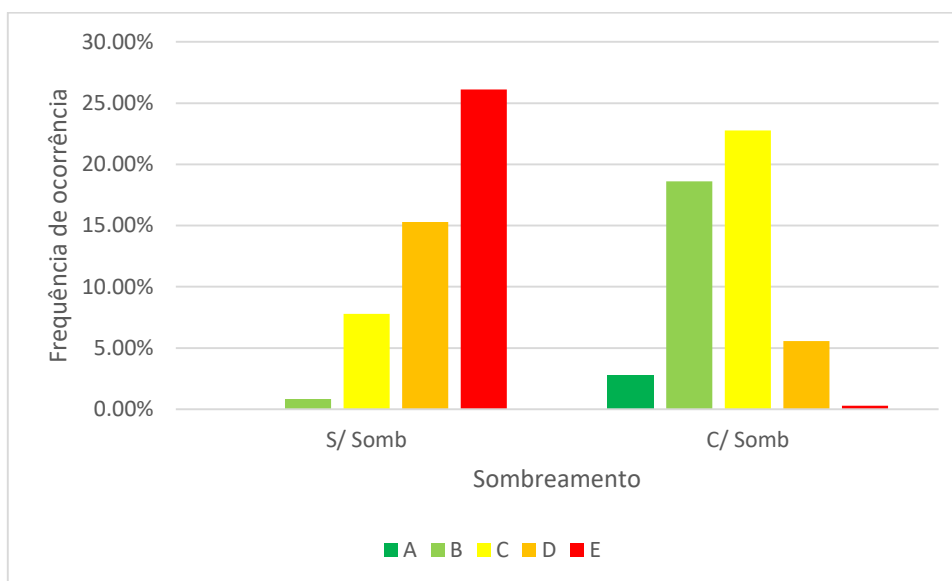
Analisando os resultados gerais observa-se que só foi possível obter um desempenho elevado com a presença do sombreamento. Os níveis “A” estão 100% concentrados nas simulações com sombreamento. A ocorrência de nível “B” foi 15% maior nas simulações sombreadas do que nas simulações sem sombreamento horizontal. Portanto a presença do sombreamento horizontal garante 45% de chance de o resultado ficar entre os níveis “A” e “B”.

Destaca-se ainda que a presença do sombreamento eliminou praticamente 100% da chance de obter casos nível “E”, somente 1 dos 360 casos com sombra atingiu nível “E”. Das 129 classificações “E”, 128 foram para casos sem sombreamento, um total de 99% dos casos.

Ao analisar as geometrias de maneira isolada percebe-se que o padrão de comportamento é o mesmo. A presença do sombreamento é fundamental para o bom desempenho térmico da edificação.

Na geometria 1, as simulações que não apresentaram sombra apresentaram 52% dos resultados como nível “E”, ou seja mais da metade dos resultados apresentaram desempenho insuficiente. Apenas 1 % dos resultados foram nível “B” e nenhum resultado nível “A” foi atingido sem sombra.

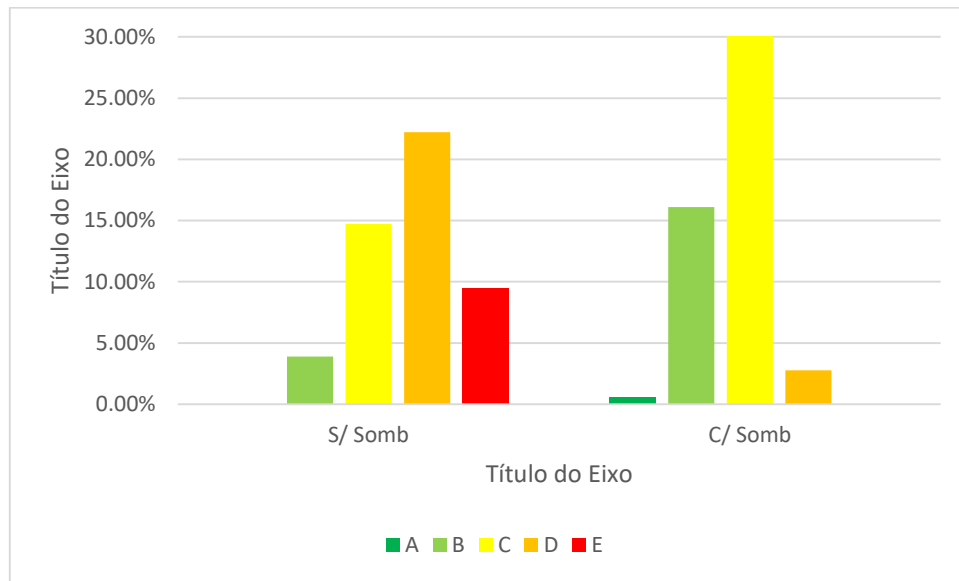
Já quando se utiliza sombreamento para proteção das áreas de abertura, é possível perceber um comportamento completamente inverso. Menos de 1% dos resultados apresentaram nível E, enquanto que 43% dos resultados ficaram entre “A” (6%) e “B” (37%).

Gráfico 21– Níveis por sombreamento geometria 1

Fonte: Autor (2019)

A geometria 2 apresenta uma distribuição semelhante ao da geometria 1. O uso do sombreamento possibilitou a eliminação total de casos E, porém não aumentou significativamente o desempenho para níveis “A” e “B”. Enquanto na geometria 1 o sombreamento permitiu que 43% dos casos ficassem entre “A” e “B”, para a geometria 2 somente 33% ficaram nesse intervalo. Em comparação entre as geometrias observa-se que a geometria 2 apresentou maior ocorrência de níveis “C” quando sombreada.

Ao optar-se por retirar o sombreamento o desempenho da geometria 2 também foi inferior. Contudo esse desempenho ficou levemente superior ao da geometria 1 não sombreada. Enquanto a geometria 1 atingiu apenas 1% de níveis “B” a geometria 2 apresenta 8% de casos nível “B”. A distribuição entre os demais níveis também foi mais homogênea na geometria 2 do que na geometria 1.

Gráfico 22– Histograma níveis por sombreamento geometria 2

Fonte: Autor (2019)

Desta forma para os casos aqui analisados, o sombreamento é obrigatório para atingir o nível máximo de eficiência energética.

4.3.7 Considerações finais sobre os parâmetros

Das 720 simulações apenas 12 casos apresentaram níveis de eficiência energética “A”. A Tabela 21 apresenta os 12 casos bem como as diretrizes associadas a eles.

Tabela 21 – Casos de eficiência energética nível “A”.

Cobertura	Geometria	sombra	Fator Solar	Absortância	Tipo Parede	PAF	Classificação
Cob Isolada	1	sim	0.60	0.30	1.00	40.00%	A
Cob Isolada	1	sim	0.60	0.30	1.00	30.00%	A
Cob Isolada	1	sim	0.60	0.30	3.00	30.00%	A
Cob Isolada	1	sim	0.60	0.30	2.00	30.00%	A
Cob Isolada	1	sim	0.60	0.50	1.00	30.00%	A
Cob Isolada	1	sim	0.84	0.30	1.00	30.00%	A
Cob Isolada	1	sim	0.84	0.30	1.00	40.00%	A
Cob Isolada	1	sim	0.84	0.30	2.00	30.00%	A
Cob Isolada	1	sim	0.84	0.50	1.00	30.00%	A
Cob Isolada	1	sim	0.60	0.30	1.00	30.00%	A
Cob não Isolada	2	sim	0.60	0.30	1.00	30.00%	A
Cob não Isolada	2	sim	0.84	0.30	1.00	30.00%	A

Fonte: Autor (2019)

A Tabela 21 demonstra que a geometria 1 apresentou a maior ocorrência de níveis “A”. As diretrizes de cobertura não tiveram casos excluídos, ambas apareceram com nível “A”. O mesmo ocorreu com fator solar sendo encontrado tanto o FS de 0,6 e FS 0,84.

As absortâncias demonstra um predomínio de valores baixos (0,3) e ausência de absortâncias escuras (0,7). O tipo de parede que ocorreu com maior frequência foi o tipo 1 (transmitância 1,9 W/m²-K) com 9 ocorrências. Duas ocorrências para o tipo de parede 2 e uma para o tipo 3. Os percentuais de abertura somente 2 dos 12 casos foram com 40% de abertura, evidenciando o desempenho superior quando utilizando percentuais de 30% de abertura.

Assim as diretrizes adotadas para uma edificação que represente as geometrias aqui abordadas devem apresentar, de preferência: Paredes com transmitância de 1,9 W/m²-K, cores claras (absortâncias de 0,3) tanto para coberturas quanto para as paredes. Percentuais de abertura de fachada de 30%, coberturas isoladas e utilização de sombreamento horizontal.

Observou-se que na geometria 1, onde as zonas térmicas ocupadas estão distribuídas mais na periferia, foi necessário isolar a cobertura, a fim de evitar a

entrada de calor através do telhado. Entretanto, as paredes com isolantes dificultaram a troca de calor através das vedações verticais.

Já na geometria 2, onde as zonas térmicas ocupadas não possuem tanto contato com o exterior, as coberturas isoladas acabaram prejudicando o desempenho final. Desta forma tanto as coberturas quanto as paredes sem isolamento apresentaram melhores resultados.

As absorptâncias das edificações apresentaram um desempenho como esperado, absorptâncias mais claras favorecendo a ocorrência de níveis “A” de eficiência. Entretanto vale ressaltar que as absorptâncias foram trocadas da edificação como um todo, ou seja todas as paredes e coberturas possuíam a mesma cor.

É interessante notar também que o ganho de carga térmica devido a radiação solar ocorre principalmente através das aberturas, ou seja pelas janelas para os dois modelos propostos.

Os percentuais de aberturas analisados bem como a presença ou não do sombreamento, evidenciaram esse ganho de calor através das janelas, mostrando a importância de se trabalhar sempre com sombreamento nos modelos.

Observou-se também que cada parâmetro possui uma influência maior ou não nos resultados finais, portanto serão analisados a seguir os parâmetros de maneira a definir qual a influência deles na carga térmica final, a fim de determinar quais devem ser priorizados nas tomadas de decisões nas fases de projeto.

4.4 Peso dos parâmetros no resultado final

Ao realizar a análise parâmetro por parâmetro ficou evidente que alguns apresentaram maior influência no resultado final do que outros. Assim foi realizada uma análise de sensibilidade para determinar quais combinações de parâmetros precisam ser observadas durante a fase projetual.

Em um primeiro momento montou-se uma matriz de correlação determinando como os parâmetros se relacionam entre si. Utilizando os dados das 720 simulações montou-se a Tabela 22.

Tabela 22 – Matriz de correlação geral

	<i>Geometria</i>	<i>somb</i>	<i>Cobertura</i>	<i>Fator Solar</i>	<i>Abs</i>	<i>Parede</i>	<i>PAF</i>	<i>CgReal</i>
Geometria	1.00							
somb	0.00	1.00						
Cobertura	0.00	0.00	1.00					
Fator Solar	0.00	0.00	0.00	1.00				
Abs	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00			
Parede	0.01	0.00	0.01	-0.01	-0.01	1.00		
PAF	-0.01	0.00	-0.01	0.00	0.01	-0.01	1.00	
CgReal	0.01	-0.60	0.04	0.15	0.26	0.12	0.40	1.00

Fonte: Autor (2019)

A diagonal principal da matriz, destacado em vermelho apresenta os valores 1,00. Estes valores indicam que os parâmetros possuem uma correlação máxima entre si, ou que estamos olhando para o mesmo parâmetro, como é o caso da diagonal acima.

Já os valores como 0,00 e valores próximos identificam uma independência entre os parâmetros. Desta forma, fica evidente que os parâmetros são independentes entre si. A carga térmica interna da edificação, porém, é dependente de todos os parâmetros estudados.

O parâmetro que possui maior influência na carga térmica total da edificação é o sombreamento com -0,60. O valor negativo significa que o parâmetro influencia na retirada de carga térmica da edificação. De fato a presença de mecanismos de sombreamento é fundamental para a redução de carga térmica interna, principalmente quando há elevados valores de área envidraçada.

Mesmo que o ganho de carga térmica interna seja relevante, reduzir os ganhos através da envoltória e permitir ao mesmo tempo que a envoltória seja utilizada como mecanismo de retirada do calor interno é fundamental para um bom desempenho da edificação. A presença do sombreamento permite que o ganho de calor pelas janelas e pelas paredes seja reduzido, fazendo com que a carga térmica tenda a ter valores menores do que o de referência.

Em segundo lugar, pode-se destacar o percentual de abertura das fachadas. Com um valor de 0,40 o percentual de abertura representa um fator importante na adição de carga térmica, ou seja, no ganho de calor através dos vidros.

Portanto considera-se que a área envidraçada deve ser um fator a ser estudado nas próximas fases de projeto.

Da mesma forma que foi observado na análise dos parâmetros o percentual de abertura nas fachadas é um fator determinante no desempenho da edificação. Tanto que são os valores com maior correlação com a carga térmica final. As áreas translúcidas permitem que o calor entre na edificação através da radiação, ou seja não há uma resistência a entrada deste calor através destas superfícies.

O terceiro fator de maior influência é a absortância, ou seja as cores da edificação. É interessante notar que as absortâncias apresentam uma relação, ainda que pequena, com o percentual de abertura e o tipo de parede a ser escolhido. É evidente que uma área maior de vidro representa menor área opaca, ou seja menor área com cores. Já no caso das paredes, os elementos mais isolados são menos suscetíveis ao efeito de cores mais escuras.

Contudo é fundamental que se leve em consideração o efeito da absortância nas próximas fases de projeto, para que se escolham cores que mantenham o desempenho final dentro do desejado.

O tipo de parede e o fator solar das janelas apresentaram resultados semelhantes de correlação com a carga térmica de resfriamento. Sua importância no resultado final é inferior aos três fatores citados acima, entretanto não se pode ignorar a escolha destes fatores.

A cobertura não representou uma relevância significativa no resultado final das cargas térmicas. Esse resultado já havia sido observado na análise parâmetro por parâmetro e pode ser confirmado através da matriz de correlação.

Por fim a geometria apresenta o menor índice de correlação com a carga térmica. Este fato pode indicar que, entre as geometrias adotadas neste trabalho, não há diferença significativa para o desempenho final que justifique a escolha entre uma e outra. Contudo, analisando a frequência de ocorrência de níveis “A”, nota-se que a geometria 1 teve predominância com 10 dos 12 casos. A geometria 2 só atinge nível “A” quando apresenta absortâncias claras e (0,3) e percentuais de abertura de 30%.

4.4.1 Análise da correlação dos principais fatores

Durante a análise do peso de cada variável no resultado final constatou-se a necessidade de verificar como os principais parâmetros se comportam de maneira isolada. Para isso da mesma forma que criou-se uma matriz de correlação geral entre todos os parâmetros, foram criadas matrizes para cada parâmetro em relação aos outros.

As variáveis analisadas foram o sombreamento e o percentual de abertura. Em cada caso foi isolado uma das variáveis, estudando como cada um dos outros dados de entrada influencia na carga térmica da edificação. Esse estudo foi realizado tanto para as edificações sombreadas, quanto para as edificações sem sombra, além disso, para os percentuais de abertura foram escolhidos os valores de 30% e 60% (os extremos) e realizada a mesma análise.

Ao analisar as matrizes de correlação o primeiro ponto a ser observado foi que a correlação das geometrias com os demais parâmetros altera significativamente quando se avalia o percentual de abertura de maneira isolada.

Tabela 23 – Matriz de correlação usando PAF de 30% como referencia

CORRELACAO PAF 30%								
	<i>Geometria</i>	<i>somb</i>	<i>COB</i>	<i>FS</i>	<i>ABS</i>	<i>PAR</i>	<i>PAF</i>	<i>CgReal</i>
Geometria	1							
somb	0.22	1.00						
COB	-0.15	0.05	1.00					
FS	-0.16	0.05	0.08	1.00				
ABS	-0.06	0.02	0.02	0.03	1.00			
PAR	0.00	0.00	0.01	-0.02	-0.02	1.00		
PAF	0.25	0.44	0.04	0.07	0.03	-0.01	1.00	
CgReal	0.12	-0.26	-0.17	0.22	0.38	0.15	0.38	1.00

Fonte: Autor (2019)

Tabela 24 - Matriz de correlação usando PAF de 60% como referencia

CORRELACAO PAF 60%								
	<i>Geometria</i>	<i>somb</i>	<i>COB</i>	<i>FS</i>	<i>ABS</i>	<i>PAR</i>	<i>PAF</i>	<i>CgReal</i>
Geometria	1							
somb	0.23	1.00						
COB	-0.15	0.06	1.00					
FS	-0.14	0.05	0.10	1.00				
ABS	-0.04	0.02	0.05	0.03	1.00			
PAR	0.01	0.00	0.01	-0.02	-0.02	1.00		
PAF	-0.25	-0.41	-0.08	-0.05	-0.02	0.00	1.00	
CgReal	-0.25	-0.79	-0.18	0.14	0.22	0.11	0.54	1.00

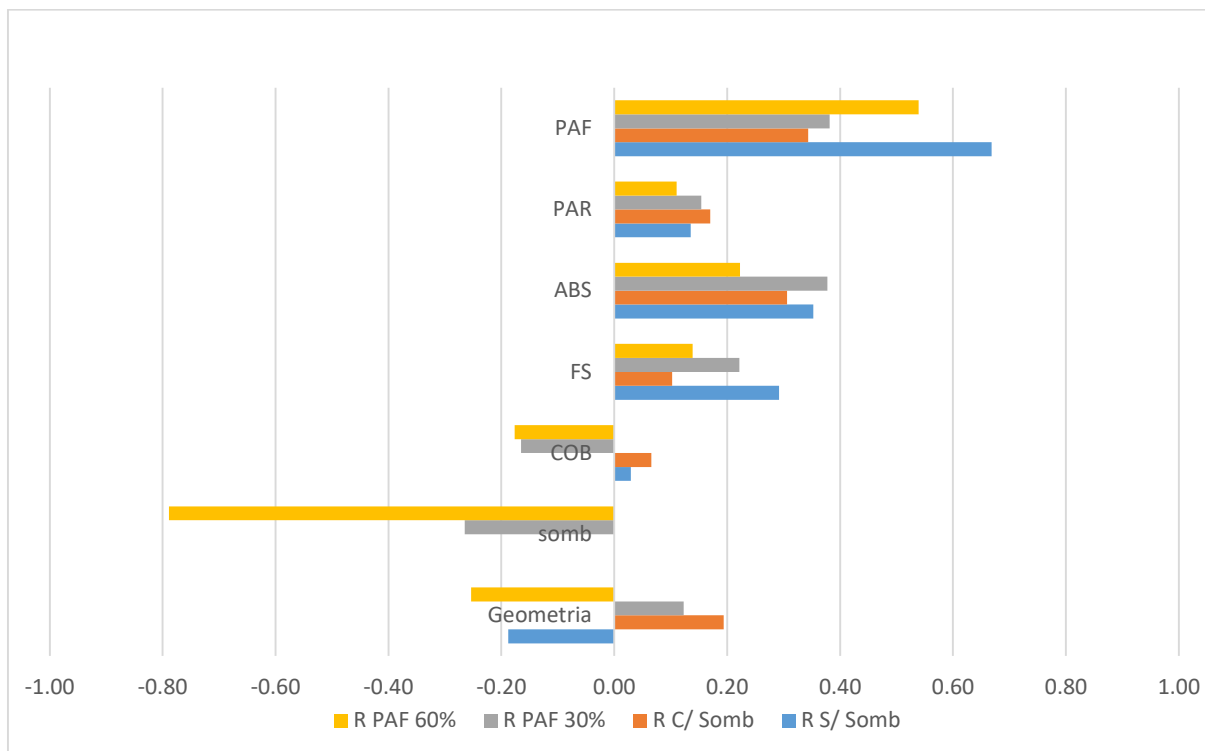
Fonte: Autor (2019)

Em um primeiro momento observa-se que a geometria, antes um índice pouco importante para a carga térmica final, ganhou um peso maior tanto para aberturas de 30% quanto para de 60%. Já o sombreamento passa a ser muito mais importante com percentuais elevados do que percentuais mais baixos.

Nota-se também que a geometria passou a ter relação com outros parâmetros, por exemplo no quesito de percentual de abertura. Quando analisada a matriz geral a relação entre percentual de abertura e geometria era de 0,01. Agora, porém a relação passa a ser de 0,25. Isso mostra que quando fixamos a porcentagem de vidro, a geometria passa a ter uma influência maior no resultado final.

Outro fator interessante de ser notado é que a absorvância das paredes, antes o terceiro fator com grau de importância passa a ser o primeiro quando se trabalha com percentuais de janela de 30%. Evidentemente quanto menos área de janelas tem a edificação, maior área de paredes. Portanto a absorvância passar a ter maior influência na carga térmica final.

As coberturas e os tipos de parede continuaram com pouca influência em comparação com os outros fatores. Para compreender melhor como funcionam as tabelas de correlação e qual a sua importância em uma fase de pré-projeto como a abordada neste trabalho elaborou-se o Gráfico 23.

Gráfico 23 – Correlação entre parâmetros e carga térmica final estratificada

Fonte: Autor (2019)

O gráfico acima permite avaliar com maior clareza o que possui maior peso na decisão final quando são analisados fatores de maneira isolada. Com as matrizes de correlação e com o gráfico acima é possível determinais quais são as variáveis construtivas (paredes, sombras, tipos de vidro, cores, entre outros) que vão apresentar maior peso no desempenho energético final da edificação. Desta forma a equipe de projeto pode trabalhar para escolher as melhores variáveis possíveis para o projeto.

Analisando o Gráfico 23, por exemplo, conclui-se que quando se trabalha com a hipótese de não utilizar sombreamento o que irá determinar de maneira mais significativa o desempenho térmico da edificação é o percentual de abertura. Depois a absorvância e o fator solar do vidro. Portanto caso a equipe de projeto opte por não utilizar sombreamentos, a mesma deve levar em consideração reduzir o percentual de abertura de fachada.

Caso a equipe de projeto decida utilizar o sombreamento horizontal então as variáveis mais importantes a serem estudadas são percentual de abertura e absorvâncias. É interessante notar que a presença de sombreamento possibilita

escolher vidros sem controle solar, portanto mais baratos. Analisando o gráfico na variável FS observa-se que a barra laranja relacionada a presença de sombreamento é menor do que a barra azul, relacionada a ausência do sombreamento.

A análise do gráfico também permite concluir que quanto maior for o percentual de abertura das fachadas maior será a importância de prever sombreamentos na edificação.

Por fim para cada variável fixada pela equipe de projeto é possível montar as tabelas novamente para todas as outras variáveis e assim decidir ponto a ponto quais serão os sistemas construtivos adotados para a edificação.

Vale ressaltar que esse método de análise pode ser aplicado para qualquer caso e geometria e qualquer variável. Contudo a maneira como cada variável irá se relacionar com as cargas térmicas finais bem como entre si pode variar de projeto para projeto.

4.4.2 Considerações finais Matrizes de correlação

Assim como o observado na avaliação dos parâmetros, com a matriz de correlação ficou mais evidente a relação entre cada variável e o resultado final das simulações.

Portanto é fundamental que durante as etapas de projeto as atenções estejam voltadas para elaborar uma edificação que controle o ganho solar através das áreas translúcidas, seja reduzindo o percentual de abertura, adicionado sombreamentos ou ainda utilizando vidros com controle solar.

Destas opções, reduzir o percentual de abertura e adicionar sistemas de sombreamento externo na edificação são soluções mais baratas, que tem menor custo para a execução. Já a utilização de vidros com controle solar apresenta um custo elevado em comparação as outras estratégias.

As áreas opacas contribuíram também para o ganho de calor, porém contribuem também para retirar a carga térmica interna da edificação. Desta forma as opções com isolamento não foram necessariamente as melhores estratégias. Quando se alia o sombreamento com paredes pesadas, o efeito de retirada de carga térmica

interna é ainda potencializado, pois as paredes estão protegidas da radiação solar e o ganho de calor é reduzido.

As matrizes de correlação indicaram ainda que as geometrias, que durante toda a avaliação não apresentaram pesos significativos, passam a ganhar destaque quando isolamos os parâmetros de percentual de abertura. Isso indica que as geometrias devem ser analisadas sempre de maneira separada, pois as decisões tomadas para uma delas não necessariamente será boa para outras. Isso ainda evidencia a questão de que as análises devem sempre serem feitas em todas as etapas de projeto.

Por fim a utilização de matrizes de correlação mostram como se comportam cada parâmetro. Sendo assim sugere-se a utilização das matrizes como ferramenta de consultoria nas etapas iniciais de projetos, para identificar quais os pontos importantes a serem analisados, e possibilitarem um melhor entendimento entre os diversos profissionais que participam da tomada de decisões.

5 CONCLUSÃO

A importância de escolher as diretrizes construtivas corretas é uma realidade na construção civil. Seja por questões associadas a preço ou por questões associadas ao desempenho da edificação.

Quanto ao desempenho da edificação os estudos necessários para a escolha das diretrizes se tornam mais rigorosos e devem ser realizados preferencialmente desde as primeiras ideias de projeto.

O desempenho térmico de uma edificação influencia diretamente no consumo energético. Em se tratando de edificações educacionais, por mais que o consumo de equipamentos (computadores, máquinas de laboratório, entre outros) seja elevado, é possível reduzir o consumo de ar condicionado e iluminação ao escolher as diretrizes de projeto adequadas para cada situação.

Neste trabalho foi realizado o estudo de uma edificação de ensino superior por meio de simulações paramétricas baseadas na metodologia descrita no INI-C. A análise paramétrica permitiu realizar a análise combinatória de todas as diretrizes escolhidas e estimar que apresentam maior influência no desempenho térmico da edificação.

As 720 simulações foram classificadas seguindo as escalas de referência propostas pelo INI-C. Classificando as edificações de “A” até “E”, sendo “A” edificações com maior nível de eficiência energética e edificações classificadas como “E” os piores níveis de eficiência energética.

Observou-se que, atingir níveis superiores de eficiência energética está mais difícil, a distribuição geral dos resultados apresentou resultados concentrados em “C” (resultados médios) e deslocamento dos resultados para a direita (níveis “D” e “E”). Das 720 simulações somente 1,67% apresentou nível “A” e 19% nível “B”.

Esses baixos casos de níveis superiores evidencia que na proposta de atualização do método as edificações precisam ter projetos e diretrizes construtivas realmente pensadas de maneira sustentável e visando economia de energia, adotando estratégias passivas como ventilação natural para economizar com sistemas de refrigeração.

As análises dos casos permitiram determinar as diretrizes construtivas. Portanto sugere-se que as aberturas (janelas) não devem ocupar mais do que 30% das áreas de fachada de ambas as geometrias propostas. As paredes devem ser do tipo pesadas, sem isolante e pintadas preferencialmente de branco. O tipo de vidro do ponto de vista energético deve possuir controle solar, contudo é possível atingir o nível “A” com vidros incolores simples. As coberturas podem ser tanto isoladas quanto normais, não influenciando significativamente neste primeiro momento.

Cada variável apresentou uma influência diferente no consumo final da edificação. A utilização do sombreamento junto com o percentual de abertura apresentam os pontos críticos, que devem ser levados em consideração no decorrer de toda a fase de projeto.

De fato as aberturas de uma edificação são áreas que permitem a entrada de calor através da radiação, não fornecendo resistência a entrada de. Portanto, as estratégias de sombreamento permitem que as aberturas sejam protegidas da radiação direta, diminuindo o ganho de energia.

Ao trabalhar com reduções das áreas translucidas deve-se levar em consideração, também a iluminação natural no interior da edificação. Pois ao reduzir o percentual de abertura para garantir menor carga térmica de refrigeração estamos também reduzindo a entrada de iluminação natural e aumentando o consumo de energia através das luminárias. Assim é fundamental que para o desenvolvimento do projeto seja levado em consideração também a quantidade de iluminação natural da edificação.

As absorptâncias apresentaram uma influência significativa, fazendo com que nas diretrizes sejam adotadas cores mais claras e médias em detrimento de cores escuras. As paredes e coberturas bem como o fator solar dos vidros apresentaram menor impacto na carga térmica total da edificação. Todavia esse fato não exclui o estudo destes componentes nas outras fases de projeto, pois os resultados aqui obtidos servem somente para as duas geometrias propostas.

As áreas opacas da edificação apresentaram comportamentos diferentes das translucidas. Ainda que sejam áreas por onde o calor entra na edificação são também uma maneira de retirar o calor interno. Ao contrário do que ocorre nas janelas, os elementos opacos transmitem o calor para o interior da edificação através da

condução, fazendo com que materiais escolhidos apresentem maior ou menor resistência a conduzir este calor.

As paredes pesadas utilizadas neste trabalho apresentam materiais com maior inércia térmica, ou seja maior resistência a passagem do calor por condução, reduzindo o ganho de calor através dos elementos opacos. Mesmo quando isolou-se as paredes, os principais materiais não foram alterados, portanto os elementos continuaram apresentando inércia térmica.

As áreas opacas tiveram seu desempenho influenciado principalmente pelas absorptâncias das superfícies externas. Absorptâncias maiores do que 0,5 acabam absorvendo mais calor e as paredes conduzem este calor para o inteiro. Mesmo trabalhando com paredes e coberturas com isolamento, as cores escuras acabaram prejudicando o desempenho geral, fazendo com que se mantenha a preferência por cores claras.

5.1 Limitações do trabalho e sugestões de trabalhos futuros

Diversos foram os pontos que limitaram este trabalho: geometrias, orientação solar, ventilação natural, ocupação e uso da edificação, estratégias de sombreamento e composição das absorptâncias nas paredes e coberturas.

Somente dois modelos de geometrias estudados, mantendo o fator de forma e o volume total da edificação iguais. Limitando, assim os casos a serem estudados e utilização destes resultados para as próximas fases de projeto caso a volumetria seja completamente diferente da proposta neste estudo.

A orientação solar também é um fator limitante, uma vez que mesmo mantendo as mesmas geometrias seria possível uma análise com 4 orientações solares diferentes, aumentando a abrangência do estudo. O uso da ventilação natural pode gerar resultados completamente diferentes, reduzindo o consumo de ar condicionado

. A ocupação interna proposta pelo INI-C limita a ocupação diária de 8 horas. Porém, os prédios do IFSC possuem ocupação das 7:30 até 22:30 na maioria das salas de aula. Considerando o período de almoço e o intervalo entre as aulas da tarde e da noite além dos intervalos de 20 minutos em cada período teríamos ainda

uma ocupação de 12 horas. O que poderia gerar uma carga térmica de refrigeração mais elevada.

Foi avaliada somente a presença ou não de sombreamento e não foram testadas diferentes estratégias que poderiam ter impacto maior ou menor na carga térmica de refrigeração.

Como sugestão para trabalhos futuros, portanto, tem-se em um primeiro momento abordar diferentes geometrias, alterando o volume e a forma da edificação. Também deve-se adotar estratégias de ventilação natural e realizar uma análise qualitativa, dividindo as salas de aula em uma zona térmica cada e avaliando também a diferença de usos de cada espaço, como espaços administrativos, laboratórios de informática, de materiais e salas de aula.

A variação dos usos de cada espaço ainda podem ser completadas com a variação da ocupação e carga térmica de cada zona térmica. Uma análise mais qualitativa permite que estes padrões de ocupação sejam alterados junto com a atividade desenvolvida em cada ambiente.

Quanto as estratégias de sombreamento adotadas sugere-se que para os próximos trabalhos sejam testados outros modelos, como brises, venezianas externas, sistemas automatizados e outros. Além disso os materiais aqui utilizados podem ser substituídos por outros, ampliando a gama de variáveis. Na questão das absorvâncias, por exemplo, sugere-se trabalhar com divisão de absorvâncias nas paredes, para determinados espaços terem absorvâncias claras e outros escuras.

Por fim neste trabalho não foi levado em consideração o custo de cada estratégia. Portanto para trabalhos futuros sugere-se levantar o custo de execução de cada estratégia para assim definir quais sistemas construtivos apresentam o melhor custo benefício.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.575: Edificações Habitacionais – Desempenho**. Rio de Janeiro, 2013

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.220: Desempenho térmico em edificações**. Rio de Janeiro, 2003

ASHRAE Standard 90.1: Energy Standard for Buildings except Low-rise Residential Building. 2016.

BATISTA, J. O.; LAMBERTS, R.; WESTPHAL, F. S. Avaliação de Desempenho Térmico de Componentes Construtivos Utilizando o EnergyPlus. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 8., 2005, Maceió. Anais... Maceió: ANTAC, 2005. p. 145-154.

BEN. Balanço Energético Nacional 2015. Ano base 2017. EPE. Rio de Janeiro. 2018. Acessado em: 28 de maio de 2018.

BRASIL. Lei no 10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Lex: Diário Oficial da União, Brasília, 2001.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Plano Nacional de Eficiência Energética. Brasília, 2011.

BREAM. Certificação BREAM. 2018. Disponível em <<https://www.breeam.com/>>. Acesso em 22 de setembro de 2018

CHENG, V.; NG, E.; GIVONI, B. Effect of envelope colour and thermal mass on indoor temperatures in hot humid climate. **Solar Energy**, v. 78, n. 4 SPEC. ISS., p. 528–534, 2005.

CHVATAL K.M.S: **Relação entre o Nível de Isolamento Térmico da Envolvente dos Edifícios e o Potencial de Sobreaquecimento no Verão**. 2007. p 280.

CHVATAL . SOARES, K. M. **Relação entre o nível de isolamento térmico da envolvente dos edifícios e o potencial de sobreaquecimento no Verão**. Disponível em: <[https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/12181/2/Texto integral.pdf](https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/12181/2/Texto%20integral.pdf)>. Acesso em: 8 out. 2018.

DORNELLES, K. A.; RORIZ, M. Thermal Inertia , Comfort and Energy Consumption in Buildings : A Case Study in São Paulo State - Brazil. **International Journal for housing science and its applications**, v. 28, n. January 2004, p. 153–162, 2004.

ENERGYPLUS. **Getting Started with EnergyPlus**. 2013. p. 68

FOSSATI M.; LAMBERTS R.: Eficiência energética da envoltória de edifícios de escritórios de Florianópolis: discussões sobre a aplicação do método

prescritivo do RTQ-C. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 2, 56-59, Jun. 2010.

FRANDOLOSO M.A.L.; BRANDLI L.L.; SCHEFFER A.P: Avaliação do parque construído da universidade de Passo Fundo -RS, com base na eco eficiência: o consumo da energia e o conforto dos usuários. **Revista de Arquitetura da IMED**, v. 2, n.2, 123-145, 2010.

GONÇALVES J.C.S.; DUARTE D.H.S. Arquitetura Sustentável: uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e ensino. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.6, n. 4, p51-58, Dez. 2006.

GRANJA, A. D.. LABAKI, L. C. Influence of external surface colour on the periodic heat flow through a flat solid roof with variable thermal resistance. **International Journal of Energy Research**, v. 27, n. 8, p. 771–779, 25 jun. 2003.

INMETRO. RTQ-C: **Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos**. Brasília, 2014.

INMETRO. RTQ-R: **Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais**. Brasília, 2014.

INMETRO. Tabela de edificações comerciais, de serviços e publicas, Brasília, 2019. Disponível em <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/tabelas-comerciais.pdf>

JEPLUS. **JePlus User's Manual**. Version 1.6. Disponível em <http://www.jeplus.org/wiki/doku.php?id=docs:manual_1_6>. Acesso em: 10 outubro 2018.

KOWALTOWSKI, Doris K.. Arquitetura escolar. O projeto do ambiente de ensino. São Paulo, Oficina de Textos, 2011.

LAM, J. C. Energy analysis of commercial Environment, v. 35, n. 1, p. 19-26, 2000. Buildings in subtropical climates. Building and

LIMA, G. L. F. **Influência de variáveis arquitetônicas no desempenho energético de hotéis no clima quente e humido da cidade de Natal/rn**. p. 77. 2007.

MELO. ANA PAULA; LAMBERTS. ROBERTO; Envelope Insulation and Heating Balance in Comercial Buildings. **Proceedings of Building Simulation 2009:11th Conference of International Building Performance Simulation**, IBPSA: p. 2243-2250

MELO. A P.; LAMBERTS, R.; VERSAGE. R.S.; ZHANG. YI. Is Thermal Insulation Always Beneficial in Hot Climate? **Proceedings of Building Simulation 2015:14th Conference of International Building Performance Simulation**, IBPSA.

PALMER, C. M.; GENTRY, T. A Better Distinction for Standard

Specifications of Low-E Coatings for Diverse Climate Conditions. PLEA. Anais...North Carolina at Charlotte USA, 2012

PBEEDIFICA: Programa Brasileiro de Etiquetagem em Edificações. Disponível em: <<http://www.pbeedifica.com.br/conhecendo-pbe-edifica>>

PEDRINI, A.; LAMBERTS R.: Influência do tamanho e forma sobre o consumo de energia edificações de escritório em clima quente. ENCAC -COTEDI 2003.

PROCEL; Relatório de Resultados do Procel 2018 - ano base 2017. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/resultadosprocel2018/>>

QUEVEDO. TIAGO DE C., BAUMANN. VICTOR A., VERSAGE ROGERIO DE S. Analise Paramétrica do Nível de Eficiência Energética da Envolória de uma Edificação Publica pelo Método Prescritivo do RTQ-C. ENCAC 2017.

ROCHE, P. LA; MILNE, M. Effects of window size and thermal mass on building comfort using an intelligent ventilation controller. **Solar Energy 77**, p 421 - 434. 2004.

RORIZ, M. Classificação de climas do Brasil – Versão 3.0. ANTAC: São Carlos, 2014. 5 p.

RORIZ, M. Segunda proposta de revisão do zoneamento bioclimático do Brasil. ANTAC: São Carlos, 2012. 12p.

RORIZ, M. Uma proposta de revisão do zoneamento bioclimático brasileiro. ANTAC: São Carlos, 2012a. 22 p.

RORIZ, M.; CHVATAL K.M.S; CAVALCANTI F.S. Sistemas construtivos de baixa resistência térmica podem proporcionar mais conforto. Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. ENCAC, 2019.

SAMPIERI, R. H.; COLLADO, C. F.; LUCIO, M. D. P. B. **Metodologia da Pesquisa**. 5. ed. Penso. p. 624, 2015.

SANTANA, M. V. ENEDIR GHISI, **influência do percentual de área de janela na fachada e da absorvância de paredes externas no consumo de energia em edifícios de escritório da cidade de florianópolis-sc**. p 196. 2007.

SHAMERI, M. A. et al. Perspectives of double skin façade systems in buildings and energy saving. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 3, p. 1468–1475, abr. 2011.

SILVA, A. S.; GHISI, E. Uncertainty analysis of user behaviour and physical parameters in residential building performance simulation. **Energy and Buildings**, v. 76, p. 381–391, jun. 2014.

USGBC. Certificação Leed. 2018. Disponível em: <<https://new.usgbc.org/leed>>. Acesso em 22 de setembro de 2018

VANZOLINI. Certificação Aqua. 2018. Disponível em <<https://vanzolini.org.br/aqua/certificacao-aqua-hqe>>. Acesso em 22 de setembro de 2018

VERSAGE, R. **Metamodelo para estimar a carga térmica de edificações condicionadas artificialmente**. P 176. 2015.

WIT, S. D. Uncertainty in Building Simulation. In: MALKAWI, A. M. e AUGENBROE, G. (Ed.). **Advanced Building Simulation**. New York, London: Spon Press, 2003. cap. 2, p.32