

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DA CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

RUBENS EDUARDO UHLMANN FILHO

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE TELHADO VERDE PELA INI-C

FLORIANÓPOLIS, 2023.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DA CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

RUBENS EDUARDO UHLMANN FILHO

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE TELHADO VERDE PELA INI-C

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 Engenheiro Civil.

Orientador:
Prof. Sergio Parizotto Filho, Me.

FLORIANÓPOLIS, 2023.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

UHLMANN FILHO, RUBENS EDUARDO
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE TELHADO VERDE PELA INI-C
/ RUBENS EDUARDO UHLMANN FILHO; orientação de Sergio Parizotto
Filho. - Florianópolis, SC, 2023.
51 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. Telhado verde. 2. Classificação de eficiência
energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos
(INI-C). 3. Eficiência energética. 4. Fator solar.
I. Parizotto Filho, Sergio. II. Instituto Federal
de Santa Catarina. III. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE TELHADO
VERDE PELA INI-C.

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE TELHADO VERDE PELA INI-C

RUBENS EDUARDO UHLMANN FILHO

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

Florianópolis, 12 de dezembro, 2023.

Banca Examinadora:

Sergio Parizotto Filho, Mestre

Ana Lígia Papst de Abreu, Doutora

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina

Beatriz Francalacci da Silva, Doutora

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina

SUMÁRIO

RESUMO.....	6
1 INTRODUÇÃO	6
1.1 Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C)	8
1.1.1 Envoltória	8
1.1.2 Parâmetros para o Método Simplificado	11
1.2 Telhado verde	12
1.2.1 Centro de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Santa Catarina (CCB-UFSC)	13
2 METODOLOGIA.....	15
2.1 Envoltória	16
2.1.1 Conferir condições de aplicabilidade do método simplificado	17
2.1.2 Dividir as zonas térmicas	26
2.1.3 Levantar os parâmetros	27
2.1.4 Predizer a carga térmica e cálculo de percentual de redução	34
2.1.5 Classificar a envoltória	35
3 RESULTADOS	35
3.1 Análise da Envoltória pela INI-C	35
3.1.1 Conferindo condições de aplicabilidade do método simplificado	36
3.1.2 Dividindo as zonas térmicas	38
3.1.3 Levantando os parâmetros	39
3.1.4 Predizendo a carga térmica e cálculo de percentual de redução.....	44
3.1.5 Classificando a envoltória	46
4 CONCLUSÃO.....	46

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE TELHADO VERDE PELA INI-C

Rubens Eduardo Uhlmann Filho¹

RESUMO

A eficiência energética e o desenvolvimento sustentável são bases da inovação e qualidade na construção civil e outros nichos da indústria. A Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) aprovada em 2021 é o aprimoramento do Regulamento Técnico de Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) de 2010. Na INI-C existe a classificação da eficiência energética através da envoltória, do sistema de iluminação, do sistema de climatização e do sistema de aquecimento de água, podendo ser aplicada pelo método simplificado ou pelo método de simulação, classificando as edificações não residenciais quanto a sua eficiência energética em classes A até E. Neste trabalho foi verificada a eficiência energética de um telhado verde de um edifício público educacional através da utilização do método simplificado. A edificação classificada foi o Auditório do Centro de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Santa Catarina, localizado em Florianópolis-SC. Para realizar a classificação através da INI-C, utilizaram-se os dados das características térmicas da envoltória (absortância solar, transmitância térmica, capacidade térmica e fator solar) da parede, da cobertura e do vidro utilizados na edificação. Verificou-se que o telhado verde contribuiu positivamente para a eficiência energética da envoltória, embora outros parâmetros técnicos possam também estar associados ao resultado encontrado: a classificação de nível A para a envoltória da edificação.

Palavras-Chave: Telhado verde. Classificação de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos (INI-C). Eficiência energética. Fator solar.

1 INTRODUÇÃO

Segundo Melo (2012), a indústria da construção civil está neste momento em busca de um desenvolvimento mais sustentável e eficiente energeticamente. Com novas formas de usar materiais na construção civil, diferentemente das que têm sido empregadas nos últimos séculos, com isto vemos melhorias pontuais na indústria da construção civil. Segundo especialistas, a eficiência energética é determinada quando

¹ Acadêmico do curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Santa Catarina. rubens.euf@aluno.ifsc.edu.br

se obtém uma maior produtividade por meio de um menor consumo de energia (Lamberts; Dutra; Pereira, 2014). Portanto, desenvolvimento sustentável é a satisfação das necessidades atuais, da atual geração de consumidores, sem comprometimento da capacidade de satisfação da geração futura e suas necessidades (Brundtland, 1991).

As avaliações e certificações de desempenho energético de edificações são ferramentas importantes para alcançar a eficiência energética, conservação de energia e redução do consumo energético (Pessoa; Ghisi; Lamberts, 2013).

No Brasil, em 2010 foi implantado de maneira voluntária pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) o Regulamento Técnico de Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). O RTQ-C faz parte do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), no qual a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) é obtida num dos níveis a serem calculados, de “A” até “E”.

Em 2014, a etiqueta passou a ser obrigatória para edificações públicas federais novas ou suas reformas, conhecidas arquitetonicamente por *retrofit* (Brasil, 2010; Brasil, 2014). O RTQ-C teve limitações quanto à volumetria das edificações, com restrições de tipos de geometria, dados não significativos eram encontrados e seus resultados inconsistentes, parâmetros para edificação em sua totalidade eram utilizados embora as edificações tivessem mais de um tipo e até tipologias pouco usuais não classificadas (Carlo; Lamberts, 2010; Vieira *et al*, 2019). Posteriormente, em 2021, foi descontinuado o RTQ-C e decretada a Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C). Parte do desenvolvimento destes programas se deu a partir da necessidade de um uso racional dos recursos energéticos após crises energéticas que advém desde a década de 1970 com a crise do petróleo e também nos anos 2000 com apagões e racionamento (Pacheco, 2022).

O objetivo deste artigo é verificar a eficiência energética de um telhado verde de um edifício público educacional através da utilização do método simplificado da INI-C.

1.1 Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C)

A INI-C foi aprovada em 2021, como aperfeiçoamento do RTQ-C, que dispõe de duas metodologias (método simplificado e método de simulação) para determinar o consumo energético das edificações. Também classifica a edificação nos níveis “A”, “B”, “C”, “D” ou “E”.

O método simplificado possui critérios que precisam ser satisfeitos na sua totalidade para seu uso, caso contrário, utiliza-se o método de simulação. Nas duas metodologias a eficiência é calculada com base na envoltória completa, juntamente com um ou mais sistemas tais como condicionamento de ar, iluminação e aquecimento de água, este último sendo utilizado apenas para o método simplificado (Brasil, 2022; Andrade, 2022; Sirtuli *et al*, 2022). Neste artigo a metodologia de simulação não será contemplada.

No método simplificado a (CB3E, 2023a, p. 24):

“avaliação da eficiência energética da envoltória de edificações condicionadas artificialmente se baseia na predição da carga térmica. Esta predição se dá por meio de um metamodelo, desenvolvido com base em resultados de milhares de simulações computacionais. Este metamodelo pode ser acessado por meio de uma interface web. Para tanto, são necessários dados de entrada da edificação para que a predição destas variáveis seja realizada. Alguns parâmetros são levantados de acordo com a edificação completa, e outros são definidos a cada zona térmica (CB3E, 2023a, p. 24).

1.1.1 Envoltória

Segundo o item 4.48 da INI-C (Brasil, 2022, p. 139), o termo envoltória significa:

[...] conjunto de planos que separam o ambiente interno do ambiente externo, tais como fachadas, empenas, cobertura, aberturas, pisos, assim como quaisquer elementos que os compõem, desconsiderando as áreas que estão em contato com o solo (Brasil, 2022, p. 139).

Trata-se da pele da edificação, considerando todas as partes que estão em contato com o meio externo, excetuando-se as partes em contato com o solo (pisos, paredes e lajes enterradas). Assim, pode-se dizer que a área da envoltória são as áreas de cobertura, de piso e de parede acima do nível do solo e em contato com o ar externo (CB3E, 2023a).

Para o cálculo da envoltória no método simplificado, primeiro precisa-se avaliar se a edificação está de acordo com a Tabela 1 (Tabela 6.1 da INI-C). Os dados de avaliação são a absorptância térmica solar da cobertura – α_{cob} , absorptância térmica solar da parede – α_{par} (quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície), ângulo de obstrução vizinha – AOV (ângulo que representa o efeito do sombreamento de uma edificação vizinha, representada por uma superfície paralela à fachada da zona térmica), ângulo horizontal de sombreamento – AHS (ângulo de sombreamento entre a abertura e a proteção solar vertical instalada; é formado entre os dois planos verticais: o primeiro é o que contém a base da folha de vidro ou material translúcido; o segundo plano é formado pela extremidade mais distante da proteção solar vertical e a extremidade oposta da base da folha de vidro ou material translúcido), ângulo vertical de sombreamento – AVS (ângulo de sombreamento entre a abertura e a proteção solar horizontal instalada; é formado entre os dois planos que contêm a base da abertura: o primeiro é o plano vertical na base da folha de vidro ou material translúcido; o segundo plano é formado pela extremidade mais distante da proteção solar horizontal até a base da folha de vidro ou material translúcido), capacidade térmica da cobertura – CT_{cob} e capacidade térmica da parede externa – CT_{par} (quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema), transmitância térmica da cobertura – U_{cob} , da parede externa – U_{par} e do vidro – U_{vid} (transmissão de calor em unidade de tempo e através de uma área unitária de um elemento ou componente construtivo; neste caso, dos vidros e dos componentes opacos das paredes externas e coberturas, incluindo as resistências superficiais interna e externa, induzida pela diferença de temperatura entre dois ambientes), densidade de potência de equipamentos – DPE (razão entre o somatório da potência média de equipamentos instalados, considerando o tempo de uso e a área de um ambiente ou zona térmica), densidade de potência de iluminação – DPI (razão entre o somatório da potência de lâmpadas e reatores instalados e a área de um ambiente ou zona térmica), fator solar do vidro – FS (razão entre o ganho de calor que entra em um ambiente por uma abertura e a radiação solar incidente nesta mesma abertura, a qual inclui o calor radiante transmitido pelo vidro e a radiação solar absorvida, que é transmitida ao ambiente por condução ou convecção), pé-direito – PD (distância vertical entre o piso e a parte inferior do teto ou forro de um ambiente)

e percentual de área de abertura da fachada – PAF (razão entre a soma das áreas de abertura envidraçada, ou com fechamento transparente ou translúcido, de cada fachada de uma zona térmica e a área total de fachada da mesma zona térmica), dados explicados pela INI-C (Brasil, 2022).

Os valores para estes dados normalmente são obtidos a partir do projeto e memorial descritivo da edificação. Nos projetos e memoriais descritivos temos as características dos materiais a serem utilizados na execução da edificação. Os limites máximos e mínimos para uso do método simplificado precisam estar dentro dos intervalos requeridos, conforme Tabela 6.1 da INI-C (Brasil, 2022), apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Limites dos parâmetros de avaliação da envoltória atendidos pelo método simplificado (Tabela 6.1 da INI-C)

Parâmetros	Limites	
	Valor mínimo	Valor máximo
Absortância solar da cobertura (α_{cob})	0,2	0,8
Absortância solar da parede (α_{par})	0,2	0,8
Ângulo de obstrução vizinha (AOV)	0°	80°
Ângulo horizontal de sombreamento (AHS)	0°	80°
Ângulo vertical de sombreamento (AVS)	0°	90°
Capacidade térmica da cobertura (CT_{cob})	10 kJ/(m ² .K)	450 kJ/(m ² .K)
Capacidade térmica da parede externa (CT_{par})	40 kJ/(m ² .K)	450 kJ/(m ² .K)
Densidade de potência de equipamentos (DPE)	4 W/m ²	40 W/m ²
Densidade de potência de iluminação (DPI)	4 W/m ²	40 W/m ²
Fator solar do vidro (FS)	0,21	0,87
Pé-direito (PD)	2,6 m	6,6 m
Percentual de área de abertura da fachada (PAF)	0%	80%
Transmitância térmica da cobertura (U_{cob})	0,51 W/(m ² .K)	5,07 W/(m ² .K)
Transmitância térmica da parede externa (U_{par})	0,50 W/(m ² .K)	4,40 W/(m ² .K)
Transmitância térmica do vidro (U_{vid})	1,9 W/(m ² .K)	5,7 W/(m ² .K)

Fonte: Brasil, 2022.

Posteriormente verificam-se os parâmetros quanto ao fator de forma, ao intervalo entre classes de classificação de “A” à “E” e à carga térmica total anual, com seu coeficiente de redução, de acordo com a carga térmica total da edificação em sua condição de referência e sua condição real.

A condição de referência é uma condição mínima de qualidade energética com valores para classificação “D”, segundo os parâmetros para o método simplificado, com dados tabelados para cada parâmetro de acordo com o tipo de uso

da edificação. Já a condição real possui os dados dos materiais que são utilizados na edificação a ser classificada pela INI-C. A classificação da edificação através da envoltória se dá ao comparar os resultados da condição real com os resultados da condição de referência.

1.1.2 Parâmetros para o Método Simplificado

O método simplificado necessita primeiro passar por critérios específicos para que a edificação esteja dentro de limites para que os cálculos dos parâmetros possam ser efetivos na etiquetagem (Pacheco, 2022). Para ambientes com condicionamento artificial tem-se um método específico com critérios iniciais que não serão elencado por este artigo, e para ambientes de ventilação natural ou híbrido têm-se outros parâmetros iniciais para uso do método simplificado, tais como o valor das áreas de permanência prolongada (APPs), que de acordo com a INI-C (Brasil, 2022, p.19) são:

“Área de piso dos ambientes de ocupação contínua por longos períodos, incluindo as áreas destinadas às atividades de escritórios, venda de mercadoria, salas de aulas, cozinhas profissionais ou com postos de trabalho, refeitório, circulação de público em shoppings centers fechados, laboratórios, consultórios, saguões de entrada onde haja portaria ou recepção com ocupante, locais para prática de esportes, etc. Não são áreas de permanência prolongada: garagens e estacionamentos, depósitos, despensas, banheiros, áreas de circulação em geral e áreas técnicas onde a ocupação não é frequente. As áreas listadas nesta definição não excluem outras não listadas.” (Brasil, 2022, p.19).

Outros dados requeridos para o sistema de envoltória com ambientes de ventilação natural ou híbrida são o comprimento total (maior dimensão entre os lados da edificação), o fator da área da escada (relação entre a área de circulação vertical e a área total do edifício, não devendo ser considerados os elevadores e as escadas enclausuradas), a forma das janelas para ventilação (razão entre a largura e a altura das janelas para ventilação), o número de pavimentos, a profundidade total (menor dimensão entre os lados da edificação). Ainda existem outros parâmetros na INI-C – abertura zenital, vidro em frente de parede opaca, fachada ventilada, dispositivos móveis de sombreamento interno automatizados ou vidros com comportamento dinâmico – que ao se fazerem presente na edificação faz-se necessário o uso do método de simulação. A seguir, na Tabela 2, referente ao conteúdo da Tabela 6.2 da INI-C (Brasil, 2022), são apresentados os parâmetros da avaliação da envoltória de edificações com ventilação natural ou híbrida:

Tabela 2 - Parâmetros de avaliação da envoltória de edificações com ventilação natural ou híbrida (Tabela 6.2 da INI-C)

Parâmetros	Limites (unidade)	
	Valor mínimo	Valor máximo
Absortância solar da cobertura (α_{cob})	0,2	0,8
Absortância solar das paredes externas (α_{par})	0,2	0,8
Ângulo vertical de sombreamento (AVS)	0°	45°
Área das APPs	9 m ²	400 m ²
Capacidade térmica da cobertura (CT_{cob})	10 kJ/(m ² •K)	400 kJ/(m ² •K)
Capacidade térmica da parede externa (CT_{par})	40 kJ/(m ² •K)	500 kJ/(m ² •K)
Comprimento total (maior dimensão entre os lados da edificação)	13 m	200 m
Fator da área da escada	0	0,28
Fator solar do vidro (FS)	0,2	0,8
Forma das aberturas para ventilação: razão entre a largura e a altura das aberturas para ventilação	0,1	50
Número de pavimentos	1	5
Pé-direito	2,75 m	4,25 m
Percentual de área de abertura na fachada total (PAF _T)	0,05	0,7
Profundidade total (menor dimensão entre os lados da edificação)	8 m	50 m
Transmitância térmica da parede externa (U_{par})	0,1 W/(m ² •K)	5 W/(m ² •K)
Transmitância térmica da cobertura (U_{cob})	0,1 W/(m ² •K)	5 W/(m ² •K)
Transmitância térmica do vidro (U_{vid})	1 W/(m ² •K)	6 W/(m ² •K)

Fonte: Brasil, 2022.

1.2 Telhado verde

Os telhados verdes têm sido utilizados na arquitetura e engenharia com maior ênfase a partir do século XX. Seus benefícios são inúmeros: recreação, lazer, qualidade de vida, retenção e filtragem da água da chuva, redução do efeito das ilhas de calor, regulação térmica, regulação da umidade, diminuição dos níveis de ruído, também estando relacionado diretamente com a eficiência energética e a construção sustentável (Lamberts; Dutra; Pereira, 2014).

Os telhados verdes são uma solução sustentável e inovadora para melhorar o desempenho térmico de edificações. Eles oferecem diversos benefícios ambientais e de conforto. Ajudam a diminuir as chamadas ilhas de calor nas cidades, a vegetação presente nos telhados absorve parte do calor e evapora a água,

resfriando o ambiente. A camada de solo e vegetação nos telhados verdes atua como isolante térmico, reduzindo a variação de temperatura entre o dia e a noite. Ajudam a regular a temperatura interna dos edifícios, no verão, reduzindo a necessidade de refrigeração artificial, enquanto no inverno, atuam como isolante térmico, diminuindo o consumo de aquecimento artificial. Além de reduzir o consumo energético, os telhados verdes também contribuem para a biodiversidade urbana, oferecendo habitat para insetos, aves e plantas (Moreira, 2022; Vilarim, 2022).

Os telhados verdes são “sistemas de coberturas constituídos por camadas especiais que proporcionam a sobrevivência e integridade física de uma massa de vegetação sobre a superfície superior da edificação” (Parizotto Filho, 2010).

Podem ser do tipo intensivo, semi-intensivo e extensivo, o diferencial entre os tipos é a altura e predominância da vegetação e espessura do substrato. No tipo intensivo tem-se alta variedade vegetal, com árvores, arbustos e gramíneas e com substrato de 20 a 120 centímetros; no tipo semiextensivo tem-se alguma variedade vegetal, com gramíneas e arbustos e com substrato de 10 a 25 centímetros e no tipo extensivo tem-se baixa variedade vegetal, sendo elas rústicas ou rasteiras e com substrato de 5 a 15 centímetros (Silva, 2020).

Os telhados verdes funcionam devido a vegetação e substrato absorverem parte da radiação solar, criando uma barreira térmica eficiente quanto ao fluxo de calor ao armazenar o calor e ter uma grande troca de calor latente (Parizotto Filho, 2010). Ao se implantar um telhado verde, têm-se melhorias principalmente quanto ao uso excessivo de condicionamento artificial interno devido a diminuição da troca de calor entre ambiente interno e externo.

1.2.1 Centro de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Santa Catarina (CCB-UFSC)

O Centro de Ciências Biológicas (CCB) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) possui um telhado verde sobre parte da cobertura do Bloco E, localizando-se nas coordenadas latitude 27°35'54.5"S e longitude 48°30'52.3"W. Obteve-se autorização junto ao chefe de departamento para este estudo com base na realização desta pesquisa científica. A Figura 1 apresenta um croqui de localização do CCB-UFSC e o referido telhado verde:

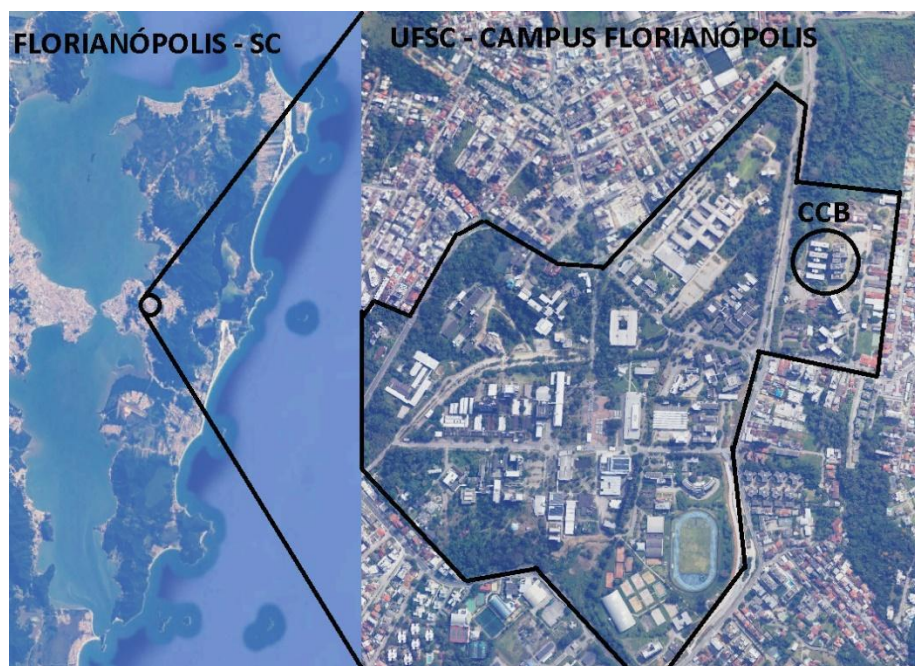
Figura 1 - Bloco E do CCB-UFSC



Fonte: imagem do Google Earth, adaptada pelo autor (2023).

O CCB-UFSC localiza-se no Campus Reitor João David Ferreira Lima (Campus Florianópolis), no bairro Trindade, na cidade de Florianópolis, conforme verificado na Figura 2:

Figura 2 - Campus UFSC em Florianópolis



Fonte: imagem do Google Earth, adaptada pelo autor (2023).

Apresentados os parâmetros para classificar a edificação através da INI-C, o telhado verde se propõe a melhorar a condição energética tornando a edificação mais eficiente. Na metodologia deste artigo será verificado se o telhado verde de fato contribuiu para melhoria da classificação da eficiência energética da envoltória do edifício público educacional do CCB-UFSC.

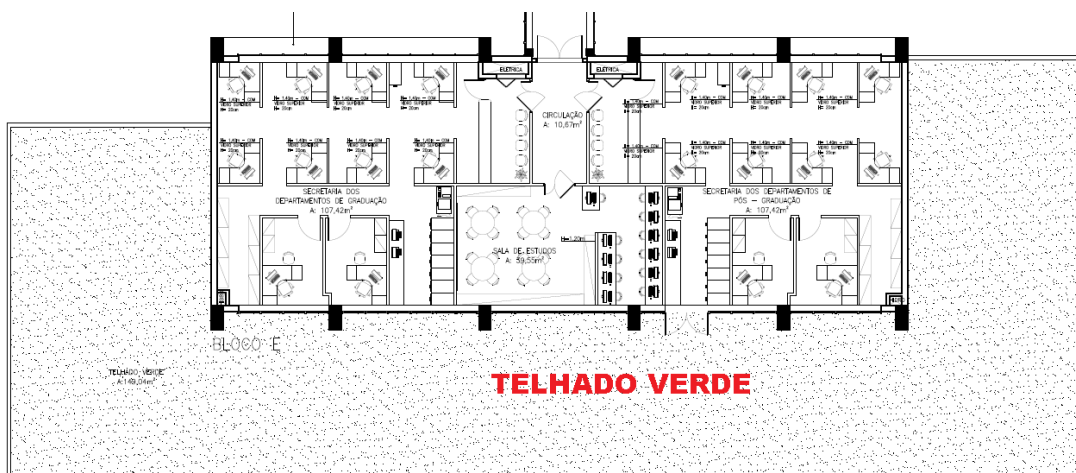
2 METODOLOGIA

Tendo como objetivo verificar a eficiência energética de um telhado verde através do método simplificado da INI-C, a classificação da edificação do Bloco E do CCB-UFSC, onde está situada a cobertura em análise, se dá pelo cálculo da envoltória, restringindo a utilização da INI-C apenas quanto a este quesito.

Para o edifício em questão foram avaliados o modelo de referência e o modelo real, por meio dos dados do projeto e equações da INI-C (Brasil, 2022) e NBR 15220-2 (ABNT, 2005_a). O cálculo do modelo de referência tem parte dos parâmetros (geometria da edificação) baseados no modelo real do edifício. Na condição real serão identificados os materiais utilizados na edificação e suas dimensões para cálculo das características térmicas para verificação e classificação da edificação.

Na Figura 3 temos a partir do projeto um croqui de localização do telhado verde do segundo pavimento do Bloco E do CCB-UFSC:

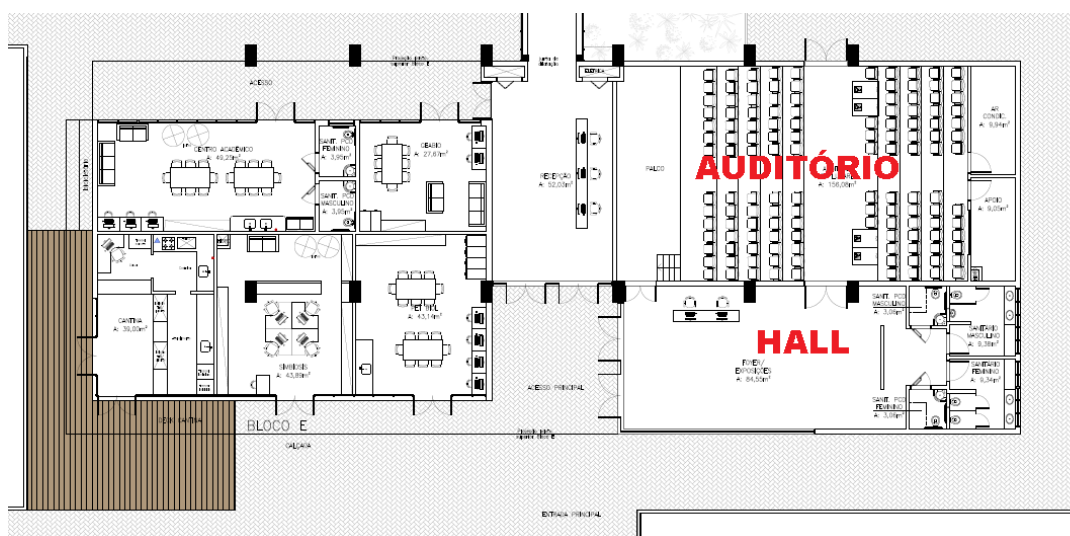
Figura 3 - Telhado verde do Bloco E do CCB-UFSC



Fonte: UFSC (2013), adaptado pelo autor (2023).

A parte utilizada no presente artigo para cálculo e levantamento é o Auditório e salas adjacentes, que não possuem acesso interno pelo Bloco E, apenas acesso externo, conforme apresentado na Figura 4. Os seis pilares em preto que estão no limite do auditório são a parte onde o segundo pavimento se sobrepõe ao auditório. Assim podemos dizer que na parte dos fundos do auditório, o mesmo está sob o telhado verde:

Figura 4 - Térreo com Auditório no Bloco E do CCB-UFSC



Fonte: UFSC (2013) adaptado pelo autor (2023).

2.1 Envolvória

Para a classificação da INI-C para a envoltória, utilizou-se o método simplificado, onde temos a predição da carga térmica através dos parâmetros levantados. No método simplificado é calculada a carga térmica através de um metamodelo de interface web, verificando a carga térmica para o modelo real e para o modelo de referência.

Os passos para a classificação da envoltória são (CB3E, 2023a):

- Conferir condições de aplicabilidade do método simplificado (Tabela 1);
- Dividir as zonas térmicas;
- Levantar os parâmetros;
- Predizer a carga térmica e cálculo de percentual de redução;
- Classificar a envoltória.

2.1.1 Conferir condições de aplicabilidade do método simplificado

Os parâmetros a serem conferidos da Tabela 1 são ângulo de obstrução vizinha – AOV, ângulo horizontal de sombreamento – AHS, ângulo vertical de sombreamento – AVS, a absorvância térmica solar da cobertura – α_{cob} e da parede – α_{par} , capacidade térmica da cobertura – CT_{cob} e capacidade térmica da parede externa – CT_{par} , transmitância térmica da cobertura – U_{cob} , da parede externa – U_{par} e do vidro – U_{vid} , densidade de potência de equipamentos – DPE, densidade de potência de iluminação – DPI, fator solar do vidro – FS, pé-direito – PD e percentual de área de abertura da fachada – PAF.

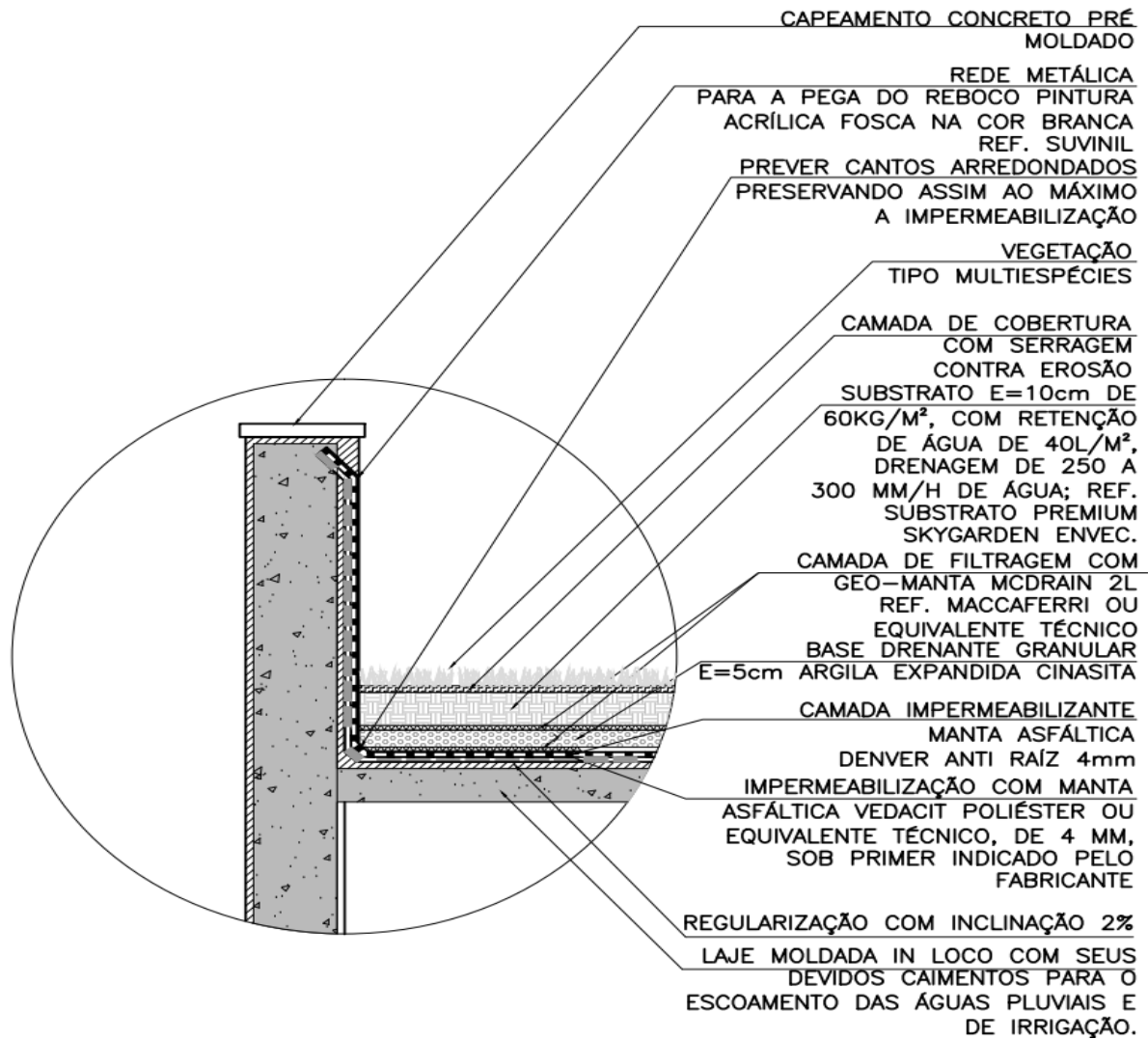
Os dados de transmitância, absorvância, capacidade térmica e fator solar dos materiais são calculados através de tabelamento da NBR 15220-2 (ABNT, 2005a), disponibilidade bibliográfica – Projeete (2023), Sorgato *et al* (2004), Dornelles e Roriz (2007) – e equações para cálculo de cada parâmetro conforme equações pesquisadas. Em relação aos materiais de parede, vidro e cobertura utilizados no projeto, têm-se através do memorial descritivo e projeto as seguintes informações sobre cada um deles:

Sobre o telhado verde da cobertura, do detalhamento do projeto temos 9 camadas. De baixo para cima temos laje moldada in loco, camada de regularização com inclinação de 2%, camada impermeabilizante com manta asfáltica de 4 milímetros sobre primer, camada impermeabilizante de manta asfáltica anti raiz de 4 milímetros, base drenante granular com argila expandida de espessura de 5 centímetros, camada de filtragem com geomanta, camada de substrato com espessura de 10 centímetros, camada de cobertura com serragem contra erosão e vegetação multiespécies (alterada para grama amendoim a pedido da UFSC), conforme apresentado na Figura 5:

Figura 5 – Cobertura do telhado

DESENHO ESQUEMÁTICO COBERTURA VERDE

SEM ESCALA



Fonte: UFSC, 2023.

Um esquema com sua configuração construtiva e respectivas espessuras das camadas é apresentada na Figura 6:

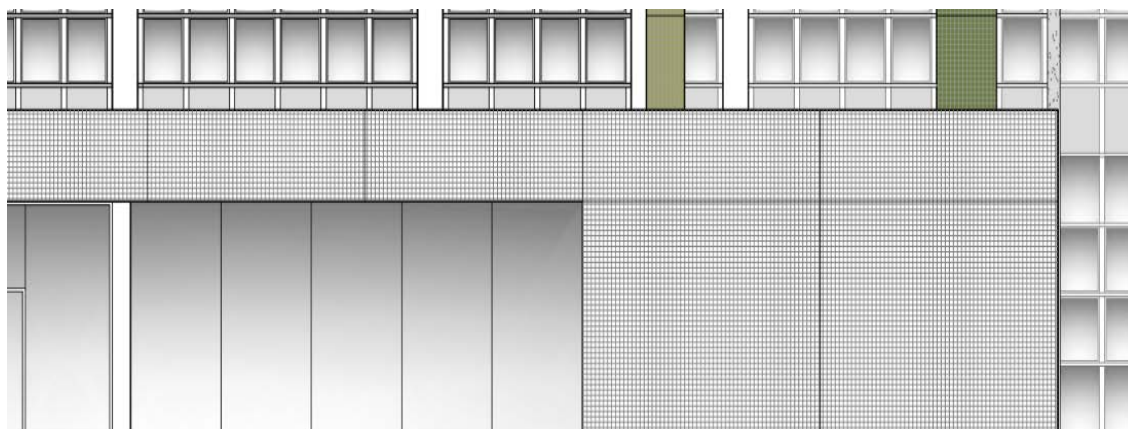
Figura 6 - Telhado vegetado e suas propriedades térmicas



Fonte: Projeteee, 2023.

Na fachada sul do edifício temos a fachada principal com duas partes predominantes. A primeira é o revestimento cerâmico com pastilhas na cor gelo ártico. A segunda é a esquadria de vidro, conforme pode ser observado com detalhes na Figura 7.

Figura 7 - Na face sul do prédio



Fonte: UFSC, 2013.

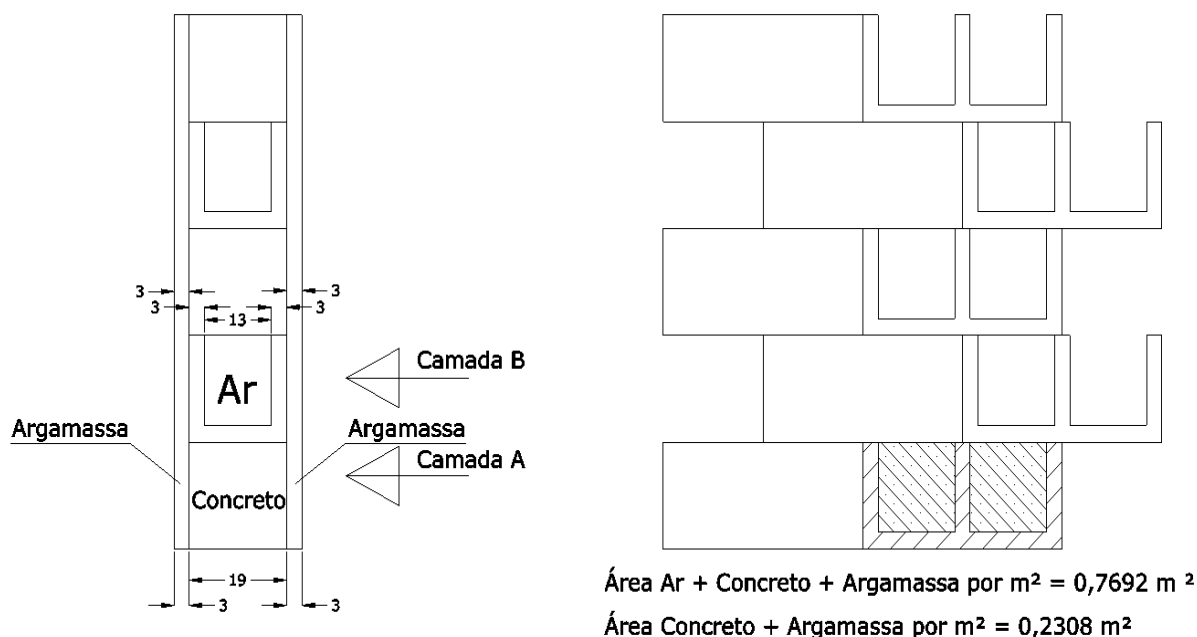
A parede possui espessura de 25 centímetros, seu revestimento de reboco externo e interno em argamassa tem 3 centímetros cada, o bloco de concreto de vedação possui 19 centímetros de espessura, o revestimento em pastilha cerâmica possui 8 milímetros de espessura (4 milímetros de cerâmica e 4 milímetros de argamassa colante).

Sobre a parede, temos do memorial que (UFSC, 2013):

Nas alvenarias externas indicadas em projeto, fica a cargo da CONTRATADA a aplicação de reboco tipo paulista, argamassa de cimento, cal e areia média lavada no traço 1:2:5, espessura 2,6cm. [...] Nas alvenarias externas indicadas em projeto, fica a cargo da CONTRATADA a aplicação de pastilha cerâmica de [...] cor GELO ÁRTICO (UFSC, 2013).

O croqui da Figura 8 representa a parede, com suas camadas de argamassa com bloco de concreto (Camada A) e de argamassa com bloco de concreto com câmara de ar (Camada B) e suas respectivas áreas (Camada A = 0,2308 m² por m² e Camada B = 0,7692 m² por m²):

Figura 8 - Croqui da parede



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Para as propriedades térmicas da parede, parte dos parâmetros foram pesquisado através do ProjeTEEE (2023), com sua calculadora de propriedades – dados da pastilha cerâmica – e os demais através de equações da NBR 15.220-2 (ABNT, 2005a) – resistência térmica de superfície a superfície (1), resistência térmica de superfície a superfície total (2), resistência térmica de ambiente a ambiente (3), capacidade térmica de um componente (4), capacidade térmica de um componente plano constituído de camadas homogêneas e não homogêneas (5) e transmitância térmica (6) – apresentadas a seguir.

A resistência térmica de superfície a superfície (R_t) calcula no plano de camadas homogêneas, os fluxos de calor perpendiculares a mesma, e está contida na Equação 1 (Equação 1 da NBR 15.220-2:2005). Nela temos a razão entre a espessura da camada (e) pela condutividade térmica do material (λ), que então é somada a resistência térmica de câmaras de ar. Os valores de λ e R_{ar} são tabelados (ABNT, 2005a). A condutividade do concreto ($\lambda_{concreto}$) é de 1,75 W/(m.K) e a do reboco ($\lambda_{alvenaria}$) é de 1,15 W/(m.K).

$$R_t = e/\lambda + R_{ar} \quad (1)$$

Onde:

R_t é a resistência térmica de superfície a superfície;

e = espessura de uma camada (m);

λ = condutividade térmica do material (W/ (m•K));

R_{ar} = resistência térmica de câmaras de ar ($m^2 \cdot K/W$).

Para a resistência térmica de superfície a superfície, necessita-se da resistência térmica de câmaras de ar. Na Tabela 3 (Tabela B.1 da NBR 15.220-2:2005) temos os parâmetros – emissividade da superfície (alta ou baixa), espessura da camada de ar em centímetros (entre 1 e 2, 2 e 5 ou maior que 5) e a direção do fluxo de calor (horizontal, ascendente ou descendente).

Tabela 3 – Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas, com largura muito maior que a espessura (Tabela B.1 da ABNT:NBR 15.220-2:2005)

Natureza da superfície da câmara de ar	Espessura "e" da câmara de ar cm	Resistência térmica R_{ar} $m^2 \cdot K/W$		
		Direção do fluxo de calor		
		Horizontal	Ascendente	Descendente
		⇔	↑	↓
Superfície de alta emissividade $\varepsilon > 0,8$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,14	0,13	0,15
	$2,0 < e \leq 5,0$	0,16	0,14	0,18
	$e > 5,0$	0,17	0,14	0,21
Superfície de baixa emissividade $\varepsilon < 0,2$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,29	0,23	0,29
	$2,0 < e \leq 5,0$	0,37	0,25	0,43
	$e > 5,0$	0,34	0,27	0,61

Fonte: ABNT, 2005a.

O cálculo da resistência térmica de superfície a superfície de um componente plano constituído de camadas homogêneas e não homogêneas (R_i) se dá conforme a Equação 2 (Equação 6 da NBR 15.220-2:2005). Com a Equação 2 podemos utilizar os valores da resistência térmica de superfície a superfície de cada

uma das camadas conhecidas (R_a, R_b, \dots, R_n) e calcular a resistência térmica total de superfície a superfície (R_t) através da média ponderada pela área de cada seção (A_a, A_b, \dots, A_n).

$$R_t = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b} + \dots + \frac{A_n}{R_n}} \quad (2)$$

Onde:

R_t é a resistência térmica de superfície a superfície;

R_a, R_b, \dots, R_n são as resistências térmicas de superfície a superfície para cada seção (a, b, ..., n);

A_a, A_b, \dots, A_n são as áreas de cada seção.

Já a resistência térmica de ambiente a ambiente (R_T) tem sua equação descrita na Equação 3 (Equação 7 da NBR 15.220-2:2005). Com a Equação 3 temos o resultado da resistência térmica de ambiente a ambiente (R_T) obtido pela soma da resistência térmica total de superfície a superfície (R_t) com as resistências superficiais externa (R_{se}) e interna (R_{si}).

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si} \quad (3)$$

Onde:

R_T é a resistência térmica de ambiente a ambiente;

R_t é a resistência térmica de superfície a superfície;

R_{se} e R_{si} são as resistências superficiais externa e interna, respectivamente.

Dados de R_{se} e R_{si} são encontrados na Tabela 4 (Tabela A.1 da ABNT:NBR 15.220-2:2005).

Tabela 4 – Resistência térmica superficial interna e externa (Tabela A.1 da ABNT:NBR 15.220-2:2005)

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: ABNT, 2005a.

A Capacidade térmica de um componente (C_T) é prevista conforme a Equação 4 (Equação 3 da NBR 15.220-2:2005). Na capacidade térmica de um componente temos o somatório do produto da condutividade térmica, da resistência térmica, do calor específico e da densidade de massa aparente do material de cada camada ou o somatório do produto da espessura, do calor específico e da densidade de massa aparente do material de cada camada.

$$C_T = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot R_i \cdot c_i \cdot \rho_i = \sum_{i=1}^n e_i \cdot c_i \cdot \rho_i \quad (4)$$

Onde:

C_T é a capacidade térmica dos componentes;

λ_i é a condutividade térmica do material da camada i^a ;

R_i é a resistência térmica da camada i^a de superfície a superfície;

e_i é a espessura da camada i^a ;

c_i é o calor específico do material da camada i^a ;

ρ_i é a densidade de massa aparente do material da camada i^a .

Já a capacidade térmica de um componente plano constituído de camadas homogêneas e não homogêneas se dá conforme a Equação 5 (Equação 9 da NBR 15.220-2:2005). Na capacidade térmica (C_T) utilizam-se os valores da capacidade

térmica do componente para cada seção (C_{Ta} , C_{Tb} , ..., C_{Tn}) e calcula-se a capacidade térmica total (C_T) através da média ponderada pela área de cada seção (A_a , A_b , ..., A_n).

$$C_T = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{C_{Ta}} + \frac{A_b}{C_{Tb}} + \dots + \frac{A_n}{C_{Tn}}} \quad (5)$$

Onde:

C_T é a capacidade térmica total de um componente com camadas homogêneas e não homogêneas;

C_{Ta} , C_{Tb} , ..., C_{Tn} são as capacidades térmicas do componente para cada seção (a, b, ..., n);

A_a , A_b , ..., A_n são as áreas de cada seção.

Por fim, a Transmitância térmica (U) é lida como o inverso da resistência térmica de ambiente a ambiente (R_T) conforme verificado na Equação 6 (Equação 2 da NBR 15.220-2:2005):

$$U = 1/R_T \quad (6)$$

Onde:

U é a transmitância térmica;

R_T é a resistência térmica de ambiente a ambiente.

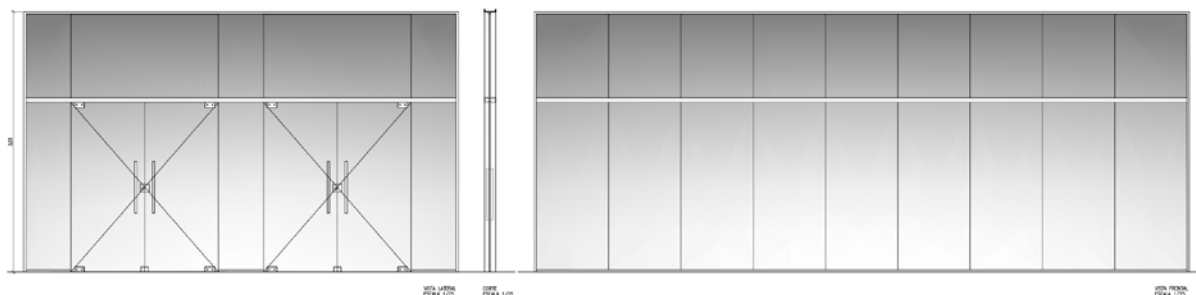
Sobre o vidro, temos a Porta de Vidro 1 (PV1) com as características retiradas do memorial descritivo e do projeto arquitetônico com a seguinte descrição: a PV1 tem duas partes com as dimensões 1 e 2, a parte 1 com 8,88m por 3,53m e a parte 2 com 5,86m por 3,53m. É uma esquadria em "L" com 2 portas de abrir com 2 folhas cada. O vidro da PV1 é descrito como do tipo blindex laminado duplo, de espessura 8+8 milímetros, na tonalidade transparente. Na Figura 9 temos o croqui do projeto da PV1 (UFSC, 2013):

Figura 9 – Projeto da PV1.

PV1

888x353+586x353

ESQUADRIA EM "L" COM 2 PORTAS DE ABRIR COM 2 FOLHAS E MÓDULOS DE JANELA FIXA COM ESTRUTURA EM ALUMÍNIO ACABAMENTO COM PINTURA ELETROSTÁTICA NA COR BRANCA E VIDRO BLINDEX LAMINADO 8+8mm TRANSPARENTE NO TRAVA TETRA Ref. 140 PAPAIZ; PUXADOR Ref. PAPAIZ 500 (COM SELO DE INCLUSÃO E ACESSIBILIDADE) ACABAMENTO CROMO ACETINADO OU EQUIVALENTES TÉCNICOS.
MOLA HIDRÁULICA DE PISO COM REGULAGEM DE POTÊNCIA EM 1-4 COM TRAVA A 90° UMA PARA CADA FOLHA DE ABRIR, REF. DORMA BTS75V OU EQUIVALENTE TÉCNICO
2 PORTAS DE ABRIR COM 2 FOLHAS CADA



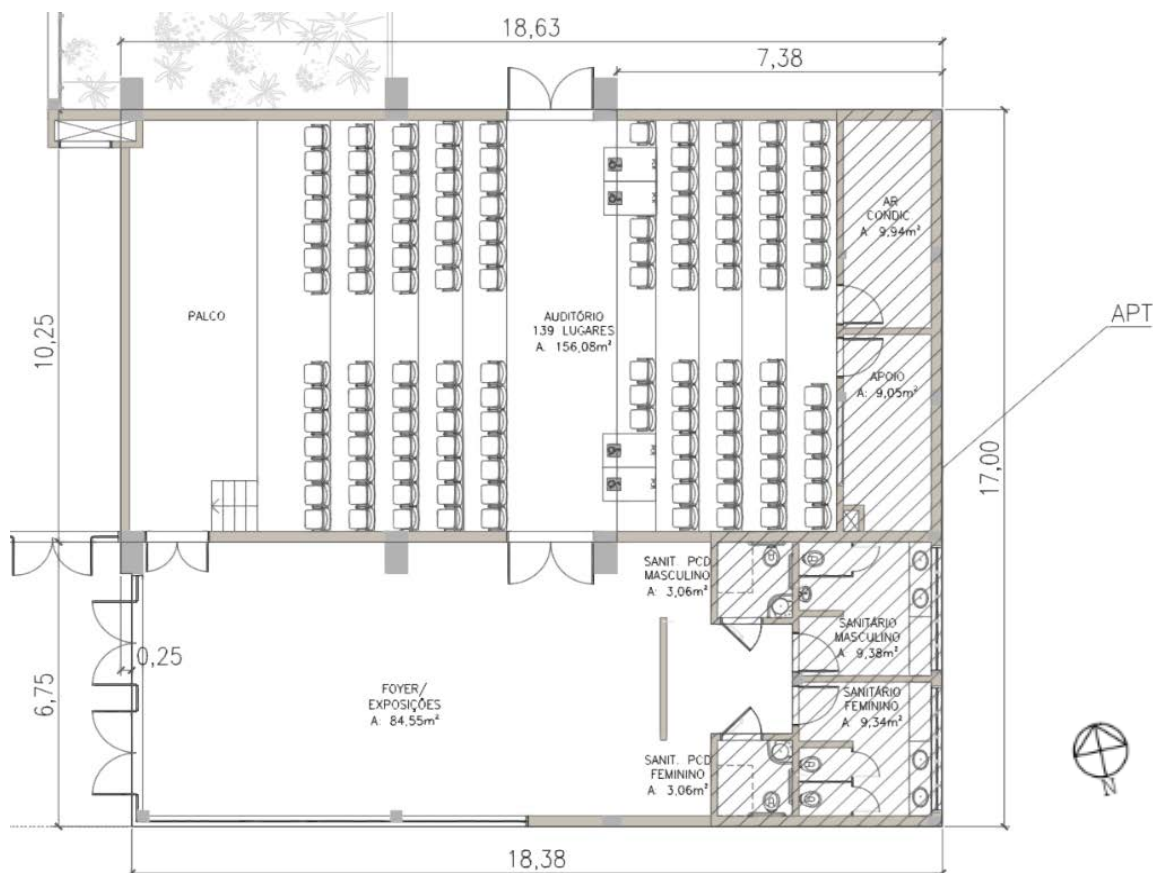
Fonte: UFSC, 2023.

Para o percentual de área de abertura total da fachada (PAF_T), tem-se o percentual sendo a razão entre a soma das áreas de abertura para ventilação de cada fachada e a área total de fachada da edificação.

2.1.2 Dividir as zonas térmicas

Para o cálculo das zonas térmicas da envoltória, retiram-se as áreas de permanência transitória (APT), conforme Figura 10. As APT são “área de piso dos ambientes de permanência transitória, ou seja, área de piso dos ambientes que não são de permanência prolongada” (Brasil, 2022, p. 20). No caso da edificação, a sala do ar condicionado, o apoio e os sanitários foram considerados APTs.

Figura 10 – Áreas de permanência transitória



Fonte: UFSC (2013), adaptado pelo autor (2023).

Após, divide-se as áreas em zona térmica interna e zona térmica perimetral, e posteriormente dividem-se as zonas térmicas perimetrais por orientação, com linhas de *offset* de 4,5 metros, depois ângulos médios nas esquinas (45°) e por fim delimitando as zonas com suas respectivas áreas.

2.1.3 Levantar os parâmetros

Utilizam-se as equações contidas na INI-C para encontrar os valores dos parâmetros a serem utilizados como dados de entrada para a classificação da envoltória através do metamodelo da interface web.

As equações para uma primeira verificação são o fator de forma – FF (tipologia, área construída, tipo de condicionamento de ar), posteriormente o percentual de horas ocupadas em conforto térmico (PHOCT) e num outro momento a densidade de potência de equipamentos – DPE (razão entre o somatório da potência

média de equipamentos instalados, considerando o tempo de uso e a área de um ambiente ou zona térmica), juntamente com os demais parâmetros já apresentados anteriormente nas Tabelas 1 e 2.

O Fator de forma (FF) é calculado pela razão entre a área da envoltória pelo volume total construído da edificação, conforme Equação 7 (Equação 8.8 da INI-C):

$$FF = A_{env} / V_{tot} \quad (7)$$

Onde:

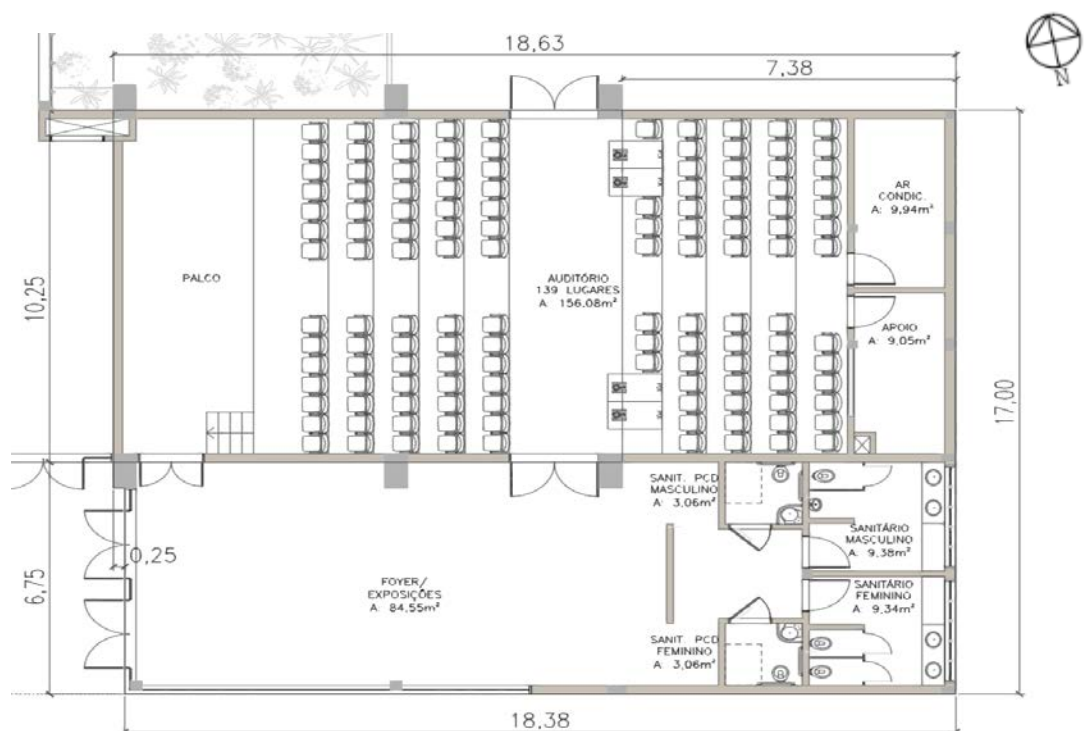
FF é o fator de forma da edificação (m^2/m^3);

A_{env} é a área da envoltória (m^2);

V_{tot} é o volume total construído da edificação (m^3).

Para a edificação, temos como pé-direito médio o valor de 3,35 metros (3,45 metros no foyer / exposições e sanitários e 3,35 metros nos níveis principais do auditório). Na Figura 11 vemos as dimensões de comprimento e largura da edificação.

Figura 11 - Auditório do Bloco E do CCB-UFSC



Fonte: UFSC (2013), adaptado pelo autor (2023).

Com o fator de forma (FF), o próximo passo é saber a Zona Bioclimática (ZB) da edificação. De acordo com a NBR15.220-3, uma Zona Bioclimática é uma “região geográfica homogênea quanto aos elementos climáticos que interferem nas relações entre ambiente construído e conforto humano” (ABNT, 2005b).

Florianópolis está na Zona Bioclimática 3 (ZB 3), e a partir do cálculo do fator de forma (FF) podemos encontrar o coeficiente de redução do consumo de energia primária da classificação D para A ($CRCgTT_{D-A}$), de acordo com a Tabela 5 (Tabela 8.13 da INI-C).

Tabela 5 – Edificações educacionais: coeficiente de redução da carga térmica anual da classificação “D” para a “A” ($CRCgTT_{D-A}$) com base no fator de forma (FF) e classificação climática correspondente (Tabela 8.13 da INI-C)

Classificação Climática	Coeficiente de redução da carga térmica anual da classificação D para a classificação A ($CRCgTT_{D-A}$)				
	FF ≤ 0,20	0,20 < FF ≤ 0,30	0,30 < FF ≤ 0,40	0,40 < FF ≤ 0,50	FF > 0,50
ZB 1	0,19	0,20	0,24	0,30	0,34
ZB 2	0,16	0,17	0,21	0,27	0,32
ZB 3	0,14	0,15	0,17	0,19	0,20
ZB 4	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15
ZB 5	0,14	0,15	0,17	0,19	0,21
ZB 6	0,12	0,13	0,14	0,14	0,14
ZB 7	0,08	0,08	0,09	0,08	0,08
ZB 8		0,09	0,10	0,10	0,10

Fonte: Brasil, 2022.

Utiliza-se então o valor do coeficiente de redução da carga térmica total anual de classe “D” para a “A” ($CRCgTT_{D-A}$) multiplicado por 100 e dividido por 3, obtendo o valor que representa o intervalo entre as classes em valores percentuais (i), conforme Equação 8 (Equação 8.10 da INI-C):

$$i = (CRCgTT_{D-A} \cdot 100) / 3 \quad (8)$$

Onde:

i é o valor calculado que representa o intervalo entre as classes, em %;

$CRCgTT_{D-A}$ é o coeficiente de redução de carga térmica total anual da classificação “D” para a “A”.

O próximo passo é ter os limites dos intervalos das classificações de eficiência energética da envoltória. Os limites são calculados a partir da multiplicação do valor de i (intervalo de classes) por 3, 2, 1 e 0 para termos as faixas de classificação do percentual de redução da carga térmica total anual ($RedCgTT$) para as classes “A” até “E”, conforme Tabela 6 (Tabela 8.11 da INI-C):

Tabela 6 – Limites dos intervalos das classificações de eficiência energética da envoltória (Tabela 8.11 da INI-C)

Classificação de Eficiência	RedCgTT (%)				
	A	B	C	D	E
	$RedCgTT > 3i$	$3i \geq RedCgTT > 2i$	$2i \geq RedCgTT > i$	$i \geq RedCgTT \geq 0$	$RedCgTT < 0$

Fonte: Brasil, 2022.

Assim, necessita-se calcular a referência quanto a carga térmica total anual da edificação na sua condição de referência ($CgTT_{refD}$) e na condição real ($CgTT_{real}$), com base na Tabela 7 (Tabela A.2 da INI-C) para utilizar-se destes valores no metamodelo da interface web:

Tabela 7 - Valores de referência para edificações educacionais (Tabela A.2 da INI-C)

Uso típico	Edificações educacionais	
	Condição real	Condição de referência
		Ensino superior
Geometria		
Área (m ²)		Condição real
Orientação solar		Condição real
Pé-direito (piso a teto) (m)		Condição real
Aberturas		
PAF - Percentual de área de abertura da fachada (%)	Condição real	40 (0,40)
Componentes construtivos		
Parede	Condição real	Argamassa interna (2,5 cm), bloco cerâmico furado (9 cm), argamassa externa (2,5 cm)
Upar - Transmitância da parede externa (W/(m ² •K))	Condição real	2,39
αPAR - Absortância da parede (adimensional)	Condição real	0,5
CTpar - Capacidade térmica da parede externa (kJ/(m ² •K))	Condição real	150
Cobertura	Condição real	Telha de fibrocimento, câmara de ar (>5 cm) e laje maciça de concreto (10 cm)
Ucob - Transmitância da cobertura (W/(m ² •K))	Condição real	2,06
αCOB - Absortância da cobertura (adimensional)	Condição real	0,8
CTcob - Capacidade térmica da cobertura (kJ/(m ² •K))	Condição real	233
Vidro	Condição real	Vidro simples incolor 6mm
FS – Fator solar do vidro (adimensional)	Condição real	0,82
Uvid - Transmitância do vidro (W/(m ² •K))	Condição real	5,7
AHS - Ângulo horizontal de sombreamento (°)	Condição real	0
AVS - Ângulo vertical de sombreamento (°)	Condição real	0
AOV - Ângulo de obstrução vizinha (°)		Condição real
Iluminação e ganhos internos		
DPI - Densidade de potência de iluminação (W/m ²)	Condição real	15,5
Ocupação (m ² /pessoa)	Condição real	1,5
DPE - Densidade de potência de equipamentos (W/m ²)	Condição real	15,0
Horas de ocupação (horas)		8
Dias de ocupação (Nano)		200
Situação do piso		Condição real
Situação da cobertura		Condição real
Isolamento do piso	Condição real	Sem isolamento

Fonte: Brasil, 2022, adaptado pelo autor, 2023.

Outros parâmetros necessários são calculados através do Natural Comfort (CB3E, 2023b, p. 1) que:

“é uma ferramenta de estágio inicial que fornece orientação de projeto para melhorar o conforto em edifícios comerciais passivos e naturalmente ventilados em climas quentes. A partir do uso desta ferramenta é possível obter uma estimativa e intervalos de precisão para a fração de horas ocupadas em que um edifício será desconfortável (CB3E, 2023b, p. 1).

Os dados de entrada do Natural Comfort são a tipologia (escola ou escritório), características geométricas (comprimento total, profundidade total, pé-direito, número de pavimentos, área das salas ocupadas, fator da área da escada, percentual de área de abertura na fachada total – PAF_t , ângulo vertical de sombreamento – AVS), propriedades térmicas (absortância solar da parede, transmitância térmica da parede, capacidade térmica da parede, absortância solar da cobertura, transmitância térmica da cobertura, capacidade térmica da cobertura, fator solar do vidro e transmitância térmica do vidro) e ventilação (fator de correção do vento, obstáculos do entorno, forma das janelas para ventilação e tipo de janela para ventilação), conforme citados na Tabela 8.

Tabela 8 - Natural Comfort (dados de entrada)

LOCALIZAÇÃO
TIPOLOGIA
CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS
Comprimento total
Profundidade total
Pé-direito
Número de pavimentos
Área das salas ocupadas
Fator da área da escada
PAF_t
Ângulo vertical de sombreamento (AVS)
PROPRIEDADES TÉRMICAS
Absortância solar da parede
Transmitância térmica da parede
Capacidade térmica da parede
Absortância solar da cobertura
Transmitância térmica da cobertura
Capacidade térmica da cobertura
Fator solar do vidro
Transmitância térmica do vidro
VENTILAÇÃO
Fator de correção do vento
Obstáculos do entorno
Forma das janelas para ventilação
Tipo de janela para ventilação
Ventilador

Fonte: CB3E, 2023^a, adaptado pelo autor, 2023.

Como dados de saída do Natural Comfort temos o percentual de horas em desconforto térmico por calor (EHF_{hot}) e a fração de horas de desconforto térmico por calor em relação às horas ocupadas (FHD_{Desc}).

A partir do percentual de horas ocupadas em desconforto térmico por calor (EHF_{hot}), tem-se o percentual de horas ocupadas em conforto térmico (PHOCT), conforme descrito na Equação 9 (Equação B.I.6 da INI-C):

$$\text{PHOCT} = 100 - \text{EHF}_{\text{hot}} \quad (9)$$

Onde:

PHOCT é o percentual de horas ocupadas em conforto térmico (%);

EHF_{hot} é o percentual de horas ocupadas em desconforto térmico por calor (%).

2.1.4 Predizer a carga térmica e cálculo de percentual de redução

Para o cálculo da Carga térmica total anual da edificação real ($\text{CgTT}_{\text{real}}$), multiplica-se a carga térmica de refrigeração anual da edificação real ($\text{CgTR}_{\text{real}}$) pela fração de horas de desconforto por calor em relação às horas de ocupação (FH_{desc}) conforme temos na Equação 10 (Equação B.I.2 da INI-C), sendo o FH_{desc} calculado pelo Natural Comfort e Equação 9:

$$\text{CgTT}_{\text{real}} = \text{CgTR}_{\text{real}} \cdot \text{FH}_{\text{desc}} \quad (10)$$

Onde:

$\text{CgTT}_{\text{real}}$ é a carga térmica total anual da edificação real (kWh/ano);

$\text{CgTR}_{\text{real}}$ é a carga térmica de refrigeração anual da edificação real (kWh/ano);

FH_{desc} é a fração de horas de desconforto por calor em relação às horas de ocupação.

Para o cálculo do percentual de redução da carga térmica total anual da envoltória (RedCgTT), onde subtrai-se da carga térmica total anual da edificação na sua condição de referência ($\text{CgTT}_{\text{refD}}$) a carga térmica total anual da edificação real ($\text{CgTT}_{\text{real}}$), este valor faz-se a razão pela carga térmica total anual da edificação na sua condição de referência ($\text{CgTT}_{\text{refD}}$) e multiplica-se por 100, conforme temos na Equação 11 (Equação B.I.1 da INI-C):

$$\text{RedCgTT} = ((\text{CgTT}_{\text{refD}} - \text{CgTT}_{\text{real}}) / \text{CgTT}_{\text{refD}}) \cdot 100 \quad (11)$$

Onde:

RedCgTT é o percentual de redução da carga térmica total anual da envoltória (%);

CgTT_{refD} é a carga térmica total anual da edificação na sua condição de referência (kWh/ano);

CgTT_{real} é a carga térmica total anual da edificação real (kWh/ano).

2.1.5 Classificar a envoltória

Com a carga térmica total anual da edificação na sua condição de referência (CgTT_{refD}) e a carga térmica total anual da edificação na sua condição real (CgTT_{real}) tem-se o percentual de redução da carga térmica total anual da envoltória (RedCgTT), conforme Tabela 6 já apresentada anteriormente.

Com o percentual de redução da carga térmica total anual da envoltória (RedCgTT) apura-se a classificação da edificação para a envoltória, de “A” a “E”.

3 RESULTADOS

Os resultados obtidos através deste artigo envolvem a análise da eficiência energética de uma edificação pública educacional com telhado verde através da análise do desempenho de sua envoltória, classificando sua condição real através da INI-C.

3.1 Análise da Envoltória pela INI-C

Os resultados foram calculados, pesquisados e classificados de acordo com a introdução e metodologia apresentada.

3.1.1 Conferindo condições de aplicabilidade do método simplificado

Primeiramente, levantou-se o ângulo de obstrução vizinha – AOV, a fachada norte possui ângulo de obstrução de 80° com a edificação vizinha (hall do bloco E). As demais fachadas possuem AOV igual a 0°.

O ângulo horizontal de sombreamento – AHS tem valor de 0° para todas as fachadas.

O ângulo vertical de sombreamento – AVS é de 45° na fachada oeste e 0° nas demais fachadas. A partir destes dados e dos dados das dimensões da edificação obtém-se o AVS de 5° conforme os cálculos apresentados abaixo:

$$AVS = 6,75 \cdot 45 + (18,38+17+18,63) \cdot 0 / (6,75+18,38+17+18,63) = 5^\circ$$

No Natural Comfort os valores de AVS são múltiplos de 15°. Sendo assim, os 5° obtidos são arredondados para 0°. No metamodelo da classificação da envoltória os dados de AVS serão utilizados de acordo com cada zona térmica.

Para os valores dos parâmetros do telhado verde, o Projeteo (2023) possui uma configuração de telhados verdes calculados, com dados de resistência térmica, transmitância térmica, atraso térmico e capacidade térmica. Para o cálculo da envoltória utilizam-se os dados de transmitância térmica e capacidade térmica. O telhado verde da edificação tem transmitância térmica de 2,18 W/m²·K e capacidade térmica de 363 kJ/m²·K.

A vegetação do telhado verde é do tipo grama amendoim, e para a mesma foi adotada a absorvância da vegetação no valor de 0,25, conforme Oke (1987).

No levantamento da parede, sobre a pastilha cerâmica, o Projeteo (2023) gera os seguintes resultados através da sua calculadora de propriedades: resistência térmica total ($R_{t\text{cerâmica}}$) = 0,21; capacidade térmica (kJ/m²·K) = 7,4; transmitância térmica (W/m²·K) = 4,7.

Para a alvenaria, utilizando a Equação 1, para Camada A temos:

$$R_{\text{Camada A}} = 0,06/1,15 + 0,19/1,75 = 0,1607 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

Utilizando-se a Tabela 3, temos que a emissividade do bloco de concreto é alta, a espessura da camada de ar sendo maior que 5 centímetros e a direção do fluxo de calor sendo horizontal, resultando numa resistência térmica de câmaras de ar de $0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$.

Então temos, para a Camada B, com a Equação 1:

$$R_{\text{Camada B}} = 0,17 + 0,06/1,15 + 0,06/1,75 = 0,2565 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

Com os dados da Figura 8, temos que:

$$\text{Área } A_{\text{Camada A}} = 0,2308 \text{ m}^2/\text{m}^2$$

$$\text{Área } A_{\text{Camada B}} = 0,7692 \text{ m}^2/\text{m}^2$$

Para o material não homogêneo (alvenaria), temos ao utilizar a Equação 2 que:

$$R_t = (0,2308 + 0,7692) / ((0,2308/0,1607) + (0,7692/0,2565)) = 0,2255 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

Para os dois materiais (cerâmica e alvenaria), temos também pela Equação 2 que:

$$R_t = (0,26 + 0,008) / ((0,26/0,2255) + (0,008/0,21)) = 0,2250 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

De acordo com a Tabela 4, a parede possuindo fluxo de calor na direção horizontal, temos que o valor das resistências superficiais são 0,04 para externa (R_{se}) e 0,13 para interna (R_{si}).

Com isto, através da Equação 3, temos que R_T tem o valor de:

$$R_T = 0,04 + 0,2250 + 0,13 = 0,3950 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

Pela Equação 4, temos que a capacidade térmica das camadas A e B (C_{TA} e C_{TB}) possui os seguintes resultados:

$$C_{TA} = (0,19 \cdot 2400 \cdot 1 + 0,06 \cdot 2000 \cdot 1) = 576 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$C_{TB} = (0,06 \cdot 2400 \cdot 1 + 0,06 \cdot 2000 \cdot 1) = 264 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

A capacidade térmica total (C_T) tem seu resultado através do seguinte uso da Equação 5:

$$C_T = (0,2308 + 0,7692) / ((0,2308/576) + (0,7692/264)) = 301,71 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Através do resultado da resistência térmica de ambiente a ambiente (R_T), temos o resultado da transmitância térmica (U) através da Equação 6:

$$U = 1/0,3950 = 2,5316 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

O resultado de capacidade térmica da parede foi de 301,71 kJ/m²·K e a transmitância térmica de 2,5791 W/m²·K. A absorptância solar da parede, que possui tom de branco médio, na cor de fábrica gelo ártico, é de 0,35 a 0,50 (Dornelles; Roriz, 2007).

Os dados de transmitância térmica (U_{vid}) e fator solar (FS) do vidro laminado de 8+8 milímetros foram obtidos através de pesquisa bibliográfica. O fator solar (FS) é de 0,45 e a transmitância térmica do vidro (U_{vid}) = 5,7W/m²·K (Sorgato *et al*, 2014).

Sobre o percentual de área de abertura total da fachada para o edifício (PAF_T), têm-se:

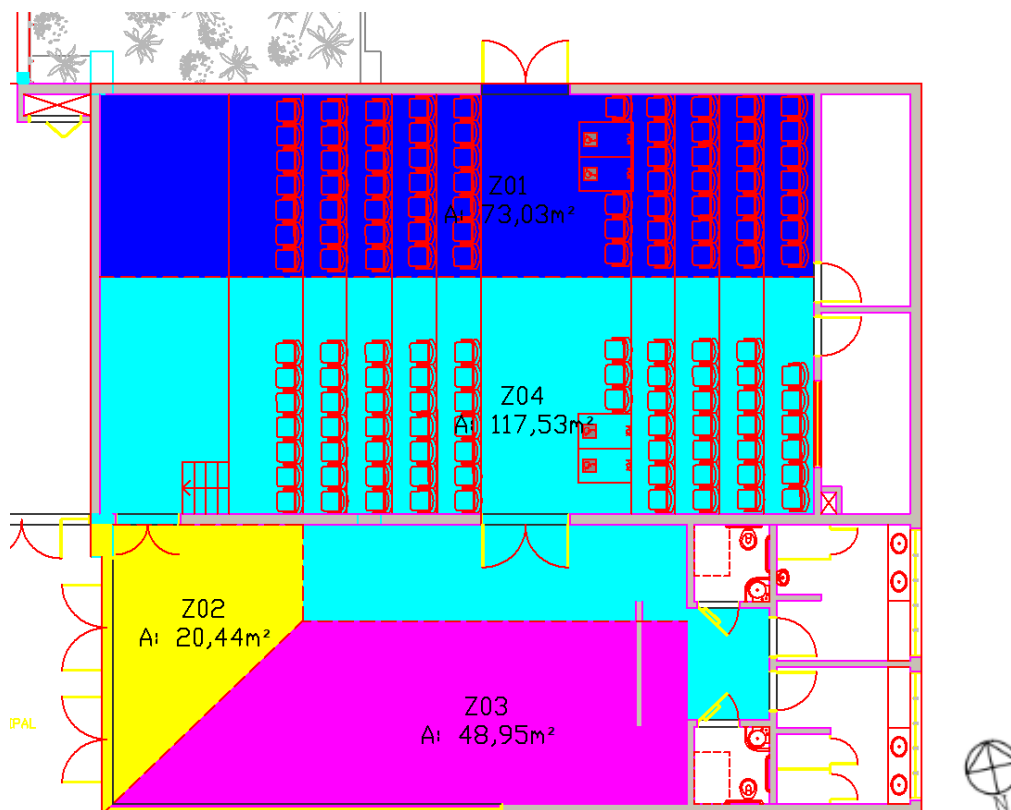
$$PAF_T = ((8,88 + 5,86) \cdot 3,53) / (6,75 + 18,38 + 17,00 + 18,63) \cdot 4,40 = 0,19$$

ou 19%.

3.1.2 Dividindo as zonas térmicas

A edificação deste artigo foi dividida em 4 zonas térmicas, Z01 perimetral norte com 73,03 m², Z02 perimetral oeste com 20,44 m², Z03 perimetral sul com 48,95 m² e Z04 interna com 117,53 m², conforme Figura 12.

Figura 12 - Planta baixa com exposição das zonas térmicas



Fonte: UFSC (2013), adaptado pelo autor (2023).

3.1.3 Levantando os parâmetros

Com as dimensões da Figura 10, temos o cálculo da área da envoltória, volume da envoltória (V_{tot}) e fator de forma (FF) através da Equação 7:

$$A_{env} = (6,75 + 18,38 + 17,00 + 18,63) \cdot 3,35 + 6,75 \cdot 18,38 + 10,25 \cdot 7,38 = 403,26 \text{m}^2$$

$$V_{tot} = (6,75 \cdot 18,38 + 10,25 \cdot 18,63) \cdot 3,35 = 1.055,33 \text{m}^3$$

$$FF = 403,26 / 1.055,33 = 0,38/\text{m}$$

Sabendo que Florianópolis está na Zona Bioclimática 3 (ZB 3) e o fator de forma da edificação (FF) é de 0,38, então o coeficiente de redução do consumo de energia primária da classificação D para A ($CRCgTT_{D-A}$) resulta em 0,17, de acordo com a Tabela 5 (Tabela 8.13 da INI-C).

Para a edificação deste artigo, o coeficiente de redução do consumo de energia primária da classificação D para A ($CRCgTT_{D-A}$) possui i (intervalo entre as classes) sendo (Equação 8):

$$i = 0,17 \cdot 100 / 3 = 5,7\%.$$

Temos como resultado da classificação da eficiência os seguintes dados de percentual de redução da carga térmica: a classe “A” com o $RedCgTT$ maior que 17%, a classe “B” entre 11,3% e até 17%, a classe “C” entre 5,7% e até 11,3%, a classe “D” entre 0% inclusive e até 5,7% e a classe “E” menor que 0%, apresentado na Tabela 9:

Tabela 9 - Percentual de redução da carga térmica

Classificação de Eficiência	RedCgTT (%)				
	A	B	C	D	E
	$RedCgTT > 17$	$17 \geq RedCgTT > 11,3$	$11,3 \geq RedCgTT > 5,7$	$5,7 \geq RedCgTT \geq 0$	$RedCgTT < 0$

Fonte: elaborado pelo autor (2023), adaptado de Brasil (2022).

O valor da carga térmica total anual da edificação na sua condição real e a carga térmica total anual da edificação na sua condição de referência são calculados a partir do metamodelo da interface web, com valores dos parâmetros nas Tabela 10 para a condição real:

Tabela 10 - Dados de entrada para cálculo da envoltória na condição real

REAL				
Zona	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4
Área da zona térmica (m ²)	73,03	20,44	48,95	117,53
Tipo de zona térmica (perimetral/interna)	Perimetral	Perimetral	Perimetral	Interna
Se existe contato com o solo	Sim	Sim	Sim	Sim
Se a cobertura é voltada para o exterior	Sim	Sim	Sim	Sim
Existência de isolamento térmico para o piso	Não	Não	Não	Não
Orientação solar	N	O	S	-
Densidade de potência de equipamentos (W/m ²)	40	40	40	40
Densidade de potência de iluminação (W/m ²)	13,15	21,92	25,72	13,67
Fator solar do vidro (FS)	0,45	0,45	0,45	-
Uvidro (transmitância térmica do vidro) W/(m ² K)	5,7	5,7	5,7	-
Absortância solar da cobertura	0,25	0,25	0,25	0,25
Absortância solar da parede	0,35	0,35	0,35	-
Pé-direito (m)	3,4	3,4	3,4	3,4
Percentual de área de abertura de fachada da zona térmica (PAF)	0,19	0,19	0,19	-
AHS (ângulo horizontal de sombreamento)	0	0	0	-
AVS (ângulo vertical de sombreamento)	0	45	0	-
AOV (ângulo de obstrução vizinha)	0	80	0	-
Horas de ocupação por dia (horas)	8	8	8	8
Ucob (transmitância térmica da cobertura) W/(m ² K)	2,18	2,18	2,18	2,18
Upar (transmitância térmica de parede externa) W/(m ² K)	2,58	2,58	2,58	2,58
CTcob (capacidade térmica da cobertura) kJ/(m ² K)	363	363	363	363
CTpar (capacidade térmica da parede) kJ/(m ² K)	302	302	302	302

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

E para a condição de referência tem-se os dados dos parâmetros apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Condição de referência

Condição de Referência				
Zona	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4
Área da zona térmica (m ²)	73,03	20,44	48,95	117,53
Tipo de zona térmica (perimetral/interna)	Perimetral	Perimetral	Perimetral	Interna
Se existe contato com o solo	Sim	Sim	Sim	Sim
Se a cobertura é voltada para o exterior	Sim	Sim	Sim	Sim
Existência de isolamento térmico para o piso	Não	Não	Não	Não
Orientação solar	N	O	S	-
Densidade de potência de equipamentos (W/m ²)	40	40	40	40
Densidade de potência de iluminação (W/m ²)	15	15	15	15
Fator solar do vidro (FS)	0,8	0,8	0,8	-
Uvidro (transmitância térmica do vidro) W/(m ² K)	5,7	5,7	5,7	-
Absortância solar da cobertura	0,8	0,8	0,8	0,8
Absortância solar da parede	0,5	0,5	0,5	-
Pé-direito (m)	3,4	3,4	3,4	3,4
Percentual de área de abertura de fachada da zona térmica (PAF)	0,40	0,40	0,40	-
AHS (ângulo horizontal de sombreamento)	0	0	0	-
AVS (ângulo vertical de sombreamento)	0	0	0	-
AOV (ângulo de obstrução vizinha)	0	0	0	-
Horas de ocupação por dia (horas)	8	8	8	8
Ucob (transmitância térmica da cobertura) W/(m ² K)	2,06	2,06	2,06	2,06
Upar (transmitância térmica de parede externa) W/(m ² K)	2,39	2,39	2,39	2,39
CTcob (capacidade térmica da cobertura) kJ/(m ² K)	233	233	233	233
CTpar (capacidade térmica da parede) kJ/(m ² K)	150	150	150	150

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Para a edificação, no Natural Comfort, os dados de entrada são que a localização é em Florianópolis – SC, a tipologia é de escola, o comprimento total é de 17 metros, a profundidade total é de 18,6 metros, o pé-direito é arredondado para o valor de 3,4 metros, o número de pavimentos é 1. A área das salas ocupadas é 240,6 m², o fator da área da escada é 0, o percentual de área de abertura na fachada total é de 0,19, o ângulo vertical de sombreamento é 0°, a absortância solar da parede é de 0,35, a transmitância térmica da parede é de 2,58 W/m²•K, a capacidade térmica da parede é de 302 kJ/m²•K, a absortância solar da cobertura é de 0,25, a transmitância térmica da cobertura é de 2,18 W/m²•K, a capacidade térmica da

cobertura é de 363 kJ/m²•K, o fator solar do vidro é de 0,45, a transmitância solar do vidro é de 5,70 W/m²•K, o fator de correção do vento é de centros urbanos, os obstáculos do entorno são de proteção local leve com poucas obstruções, a forma das janelas para ventilação é de 4,2, o tipo de janela para ventilação é basculante, não existindo ventiladores, conforme verificado na Tabela 12.

Tabela 12 - Natural Comfort (dados de entrada)

LOCALIZAÇÃO	Florianópolis - SC
TIPOLOGIA	Escola
CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS	
Comprimento total	17.0m
Profundidade total	18.6m
Pé-direito	3.4m
Número de pavimentos	1
Área das salas ocupadas	240.6 m ²
Fator da área da escada	0.00
PAF _t	0.19
Ângulo vertical de sombreamento (AVS)	0°
PROPRIEDADES TÉRMICAS	
Absortância solar da parede	0.35
Transmitância térmica da parede	2.58 W/m ² •K
Capacidade térmica da parede	302 kJ/m ² •K
Absortância solar da cobertura	0.25
Transmitância térmica da cobertura	2.18 W/m ² •K
Capacidade térmica da cobertura	363 kJ/m ² •K
Fator solar do vidro	0.45
Transmitância térmica do vidro	5.70 W/m ² •K
VENTILAÇÃO	
Fator de correção do vento	Centros Urbanos
Obstáculos do entorno	Proteção local leve com poucas obstruções
Forma das janelas para ventilação	4.2
Tipo de janela para ventilação	Janela basculante
Ventilador	sem ventilador

Fonte: CB3E, 2023^a, adaptado pelo autor, 2023.

Para o modelo real, os resultados do Natural Comfort foram de 3% para o percentual de horas em desconforto térmico por calor ($E_{HF_{hot}}$) e de 0,03 para a fração de horas de desconforto térmico por calor em relação às horas ocupadas (F_{HDesc}). Já no modelo de referência, o resultado foi de 25% para o percentual de horas em desconforto térmico por calor ($E_{HF_{hot}}$) e de 0,25 para a fração de horas de desconforto térmico por calor em relação às horas ocupadas (F_{HDesc}).

A partir do $E_{HF_{hot}}$ da condição real, no valor de 3%, tem-se através da Equação 9 que o percentual de horas ocupadas em conforto térmico (PHOCT) é de 97% na condição real e a partir do $E_{HF_{hot}}$ da condição de referência, no valor de 25%, tem-se que o percentual de horas ocupadas em conforto térmico (PHOCT) é de 75% na condição de referência.

3.1.4 Predizendo a carga térmica e cálculo de percentual de redução

A carga térmica é calculada com a interface web da envoltória disponível no site do PBEEdifica (CB3E, 2023a), com os parâmetros das zonas térmicas anteriormente levantados e citados nas tabelas 10, 11 e 12.

Como dados de saída da interface web, temos as cargas térmicas real e de referência de refrigeração anual da edificação por zona ($C_{gTR_{real}}$ e $C_{gTR_{refD}}$), nos valores de cada uma das zonas térmicas da edificação, com $C_{gTR_{real}}$ para Zona 1 no valor de 14.831,13, para Zona 2 no valor de 3.983,23, para Zona 3 no valor de 10.154,38 e para Zona 4 no valor de 21.162,28, em kWh/ano. Para a $C_{gTR_{refD}}$, Zona 1 no valor de 20.075,69, Zona 2 no valor de 5.463,35, Zona 3 no valor de 12.350,43 e Zona 4 no valor de 25.887,30, em kWh/ano, conforme descrito na Tabela 13:

Tabela 13 – Resultado da envoltória pelo metamodelo da interface web para a carga térmica de refrigeração anual da edificação

Resultado de avaliação da envoltória real (método simplificado)				
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
Carga térmica de refrigeração anual da edificação real - $CgTR_{real}$ (por zona): (kWh/ano)	14.831,13	3.983,23	10.154,38	21.162,28
Resultado de avaliação da envoltória de referência (método simplificado)				
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
Carga térmica de refrigeração anual da edificação de referência - $CgTR_{refD}$ (por zona): (kWh/ano)	20.075,69	5.463,35	12.350,43	25.887,30

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Para a Condição real temos que a fração de horas de desconforto por calor em relação às horas de ocupação (FH_{desc}) é de 0,03 e para Condição de referência a fração de horas de desconforto por calor em relação às horas de ocupação (FH_{desc}) é de 0,25, então a partir dos $CgTR_{real}$ da Tabela 13, temos que a condição real possui para a zona térmica 1 o $CgTT_{real}$ no valor de 444,93 kWh/ano, para a zona térmica 2 o valor de 119,50 kWh/ano, para a zona térmica 3 o valor de 304,63 kWh/ano, para a zona térmica 4 o valor de 634,87 kWh/ano e para a área da edificação o valor de 1.503,93 kWh/ano, utilizando para estes cálculos a Equação 10. Enquanto que para a condição de referência, temos para a zona térmica 1 o $CgTT_{refD}$ no valor de 5.018,93 kWh/ano, para a zona térmica 2 o valor de 1.365,84 kWh/ano, para a zona térmica 3 o valor de 3.087,61 kWh/ano, para a zona térmica 4 o valor de 6.471,83 kWh/ano e para área da edificação o valor de 15.944,19 kWh/ano utilizando a Equação 10, conforme Tabela 14.

Tabela 14 – Resultado da carga térmica total da edificação real e de referência por zona e total

Zona Térmica	1	2	3	4	Total
$CgTR_{refD}$	20.075,69	5.463,35	12.350,43	25.887,30	
$CgTT_{refD}$	5.018,92	1.365,84	3.087,61	6.471,83	15.944,19
$CgTR_{real}$	14.831,13	3.983,23	10.154,38	21.162,28	
$CgTT_{real}$	444,93	119,50	304,63	634,87	1.503,93

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Com a carga térmica total anual da edificação na sua condição de referência ($CgTT_{refD}$) e a carga térmica total anual da edificação na sua condição real

($Cg_{TT_{real}}$) tem-se que o percentual de redução da carga térmica total anual da envoltória ($RedCg_{TT}$) através da Equação 11 é de 90,57%.

$$RedCg_{TT} = ((15.944,19 - 1.503,93) / 15.944,19) \cdot 100 = 90,57$$

3.1.5 Classificando a envoltória

Com o percentual de redução da carga térmica total anual da envoltória ($RedCg_{TT}$) acima de 17%, apura-se que a edificação possui a envoltória na classificação “A”, utilizando a Tabela 9 para averiguar tal classificação.

4 CONCLUSÃO

A partir dos dados coletados passa-se, nesta seção, para a discussão e conclusão pertinente a classificação da eficiência energética de um telhado verde através do método simplificado da INI-C para a envoltória do edifício.

Como pode ser observado, a envoltória foi classificada com resultado classe “A”, sendo um ponto positivo o telhado verde, com grande influência da absorvância frente ao modo de referência, vide tabela 10 e 11.

Pelo Natural Comfort, o percentual de horas em desconforto térmico por calor calculado ($E_{HF_{hot}}$) é de 3% para a condição real e 25% para a condição de referência. Esta diferença contribui significativamente no resultado, com os valores de percentual de horas ocupadas em conforto térmico (PHOCT) de 97% para a condição real e 75% para a condição de referência. Com tais dados podemos dizer que apenas 3% das horas ocupadas terão desconforto térmico na condição real, com seu telhado verde, e no modelo de referência 25% das horas ocupadas terão desconforto térmico. Esta disparidade causa aumento do uso da carga térmica, com maior utilização de refrigeração na edificação, diminuindo a eficiência energética e a classificação da mesma, sendo que o valor de referência é para ter-se a classificação “D”.

Os dados de referência para a absorvância da cobertura para o modo de referência é de 0,8, enquanto que para o telhado verde é de 0,25, tal dado é um dos responsáveis pela diferença de eficiência energética, como vemos nos dados de saída da interface web, nas tabelas 13 e 14, com valores muito distantes entre si. Ao refletir

75% da radiação recebida, o telhado verde está sendo uma ferramenta mais eficiente que o modo de referência, que reflete apenas 20% da radiação.

O auditório com telhado verde da edificação Bloco B do CCB-UFSC possui uma eficiência energética de classificação “A” para envoltória de acordo com a INI-C, assim, conclui-se que o telhado verde é uma parte do resultado que beneficia a eficiência energética da envoltória, embora outros parâmetros técnicos possam estar associados a obtenção de tal classificação. Outros materiais e métodos construtivos podem encontrar resultados iguais ou até melhores que o telhado verde, cabe então verificar os prós e contras para cada situação.

Sugere-se como trabalhos futuros a realização de um estudo mais aprofundado, com períodos de monitoramento térmico interno e externo, em locais com circulação controlada, com aferimento de horas de uso e consumo de energia elétrica, dando ênfase também sobre a utilização de brises no bloco F e outros sistemas de eficiência energética do CCB-UFSC (uso da água da chuva e aquecimento solar da água para uso nos laboratórios).

A utilização da INI-C nesta pesquisa conseguiu abordar a qualidade do sistema construtivo pesquisado frente ao modelo de referência, verificando o nível de conforto térmico e convidando o leitor e autor para estudos futuros.

Concluindo este artigo, o objetivo proposto inicialmente foi alcançado, ao se verificar por meio da INI-C a classificação da envoltória do auditório do Bloco E do CCB-UFSC, podendo-se dizer que o telhado verde colaborou positivamente para a obtenção da classificação “A” para a envoltória da edificação em estudo.

GREEN ROOF ENERGY EFFICIENCY BY INI-C

ABSTRACT

Energy efficiency and sustainable development are the basis of innovation and quality in civil construction and other industry niches. The Inmetro Normative Instruction for the Energy Efficiency Classification of Commercial, Service and Public Buildings (INI-C) approved in 2021 is the improvement of the Technical Quality Regulation for the Energy Efficiency Level of Commercial, Service and Public Buildings (RTQ -C) of 2010. In the INI-C there is a classification of energy efficiency through the envelope, the lighting system, the air conditioning system and the water heating system, which can be applied using the simplified method or the simulation method. INI-C classifies non-residential buildings according to their energy efficiency into classes A to E. In this work, the energy efficiency of a green roof of a public educational building was verified using the simplified method. The building classified was the Auditorium of the Center for Biological Sciences of the Federal University of Santa Catarina, located in Florianópolis-SC. To carry out the classification through INI-C, data on the thermal characteristics of the envelope (solar absorptance, thermal transmittance, thermal capacity and solar factor) of the wall, roof and glass used in the building were used. It was found that the green roof contributed positively to the energy efficiency of the envelope, although other technical parameters may also be associated with the result found: the classification of level A for the building's envelope.

Keywords: Green roof. Energy efficiency rating for commercial, service and public buildings (INI-C). Energy efficiency. Solar factor.

REFERÊNCIAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15220-3:** Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social. Rio de Janeiro, 2005_b.

ANDRADE, Henrique José Caravita de. **Análise da Eficiência Energética em Edificações Usando os Métodos RTQ-C e INI-C.** 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). UFSCar, São Carlos, 2022.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATION AND AIR CONDITIONING ENGINEERS - ASHRAE: **Fenestration** - Handbook of fundamentals. Atlanta, 1997.

BRAMSON, MIKAÉL'A. **Infrared Radiation:** A Handbook for Applications. Springer Science & Business Media, 2013.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). **Portaria nº 372**, 17 de setembro de 2010. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). Rio de Janeiro, 2010.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Instrução Normativa nº 2**, de 04 de junho de 2014. Rio de Janeiro, 2014.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). **PORTARIA Nº 309, DE 6 DE SETEMBRO DE 2022.** Aprova as Instruções Normativas e os Requisitos de Avaliação da Conformidade para a Eficiência Energética das Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas e Residenciais – Consolidado. Rio de Janeiro, 2022.

BRUNDTLAND, Gro Harlem. **Nosso futuro comum:** comissão mundial sobre meio ambiente e desenvolvimento. 2. ed. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1991.

CARLO, J. C.; LAMBERTS, R. Roberto. Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios: parte 2: método de simulação. **Ambiente Construído** [online]. 2010, v. 10, n. 2, p. 27-40. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-86212010000200002>.

CB3E – CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – UFSC; Eletrobras/Procel. **Manual INI-C:** Método Simplificado. 2022. Disponível em: https://pbeedifica.com.br/sites/default/files/manuais/Manual-INI-C_Simplificado-AGO-23.pdf. Acesso em: 03 out. 2023_a.

CB3E – CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – UFSC. **Sobre o Natural Comfort**. Disponível em: <https://www.pbeedifica.com.br/node/601>. Acesso em: 03 out. 2023b.

DORNELLES, Kelen Almeida; RORIZ, Maurício. Métodos alternativos para identificar a absorção solar de superfícies opacas. **Ambiente Construído**, v. 7, n. 3, p. 109-127, 2007.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. Ilustrações de Luciano Dutra. 3. ed. Rio de Janeiro: Eletrobras/Procel, 2014.

MELO, Ana. Paula. **Desenvolvimento de um método para estimar o consumo de energia de edificações comerciais através da aplicação de redes neurais**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

MOREIRA, Fernanda. **Avaliação do desempenho térmico de telhado verde extensivo**: estudo de caso no contexto climático de Brasília. Dissertação (Mestre em Arquitetura e Urbanismo). Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal. 2023.

OKE, T R; A CLUEUG, H. **Urban heat storage derived as energy balance residuals**. New York: Boundary- Layer Meteorology, 1987.

PARIZOTTO FILHO, S. Telhado vegetado. In: Lamberts, R. et al. (ed.). **Casa eficiente**: bioclimatologia e desempenho térmico. Florianópolis: UFSC/LabEEE, 2010. p. 89-122.

PACHECO, Thalysson Paulo Alves. **Avaliação da eficiência energética de envoltória e classificação de acordo com o método simplificado da INI-C**: estudo de caso de uma EAS em Cacoal/RO. Monografia (Especialista em Sustentabilidade em Cidades, Edificações e Produtos). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022.

PESSOA, João Lorenço Novaes; GHISI, Edení; LAMBERTS, Roberto. **Estado da Arte em Eficiência Energética**: Iluminação e Envoltória. Centro Brasileiro de Eficiência Energética de Edificações. Julho, 2013.

PROJETEEE: Conheça soluções bioclimáticas para projetar edificações energeticamente eficientes, 2023. Disponível em: <http://projeteee.mma.gov.br/>. Acesso em: 03 nov. 2023.

SORGATO, Marcio José *et al.* Análise comparativa entre os resultados de simulações termo energéticas de edificações sob diferentes condições de entrada das propriedades dos vidros. **XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, p. 23-32, 2014.

SILVA, Wellington Souza. **Desempenho do sistema de telhado verde como estratégia de condicionamento térmico passivo no semiárido alagoano**.

Wellington Souza Silva. – 2020. 204 f. Orientador: Ricardo Victor Rodrigues Barbosa. Co-orientadora: Simone Carnaúba Torres. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2020.

SIRTULI, Bruna Perovano; DIAS, Rosany Hellen Matos de Paiva; RODRIGUES, Edna Aparecida Nico. **Eficiência energética da envoltória de edifícios históricos: métodos RTQ-C e INI-C.** PARC Pesq. em Arquit. e Constr., Campinas, SP, v. 13, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.20396/parc.v13i00.8660644>

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – UFSC. **Memorial Descritivo e de Especificações Hidrossanitário.** Centro de Ciências Biológicas – CCB, 2013.

VIEIRA, J. C.; EVANGELISTA, M. A.; LIMA, F. R. S.; OLIVEIRA, R. D. Estudo de classificação da eficiência energética do prédio 20 do CEFET-MG. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. 15; ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11,2019, João Pessoa. **Anais [...].** João Pessoa: ENCAC-ELAC, 2019.

VILARIM, Maiana Borba. **Desempenho térmico de telhado verde de baixo custo em região de clima tropical úmido.** 2022. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Recife, 2022