CLASSIFICAÇÃO PARCIAL DO BLOCO 3 DO COMPLEXO DA ESCOLA DE ENGENHARIA DA UFMG PELA INI-C

Pâmela Rebecka Avelar (1); Roberta Vieira Gonçalves de Souza (2)
(1) Arquiteta urbanista, plmrebecka@gmail.com
(2) Doutorado em Engenharia Civil, arquiteta, robertavgs@ufmg.br, Universidade Federal de Minas Gerais, R. Paraíba, 697 - Savassi, Belo Horizonte - MG, 30130-141, (31) 3409-8872

RESUMO
O presente trabalho tem como objetivo aplicar o novo método estabelecido pela Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C), publicada em março de 2021, para classificação de eficiência energética dos sistemas de iluminação e envoltória para obtenção da ENCE parcial. O objeto de estudo é o Bloco 3 da Escola de Engenharia da UFMG, uma edificação de ensino superior formada por 3 blocos conectados, denominados para fins de análise como blocos A, B e C. Os blocos se encontram dentro do limite de aplicação do metamodelo para cálculo da carga térmica de refrigeração (CgTR), mas não da ferramenta *Natural Comfort* utilizada para cálculo da fração de horas de desconforto por calor (FHdesc), para a qual foram feitas adequações à geometria da edificação. Ao final, as envoltórias foram classificadas como A e os sistemas de iluminação receberam classificação B. A análise permitiu indicar gargalos do novo método, e considera-se que houve evolução em relação ao RTQ-C apesar de, na avaliação de desempenho da envoltória, haver dificuldade na divisão de zonas térmicas em edificações de geometria mais complexa. Também não foi possível considerar o sombreamento existente tanto de paredes sem abertura quanto causado por arborização, bastante presente no Campus. Considera-se ainda que a classificação de eficiência do sistema de iluminação artificial é permissiva, permitindo boa classificação para sistemas que ainda usam tecnologia fluorescente, menos eficiente que a atual tecnologia de LEDs.

Palavras-chave: INI-C, Eficiência Energética, Etiqueta Parcial, Edificação Educacional.

ABSTRACT
The present work aims to apply the new construction method of the Normative Instruction for Services of the Normative and Public Instruction for the Energy Efficiency Classification (INI-C), published in March 2021, for the energy efficiency of lighting and envelope systems for delivery of partial ENCE. The object of study is the Block 3 of the UF School of Engineering, a higher education building compound by 3 connected blocks, named for analysis purposes as blocks A, B and C. The blocks are within the limit of application of the metamodel for thermal load calculation temperature (CgTR), but it was not used to manufacture the heating hours tools (FHdesc), for which adjustments were made in the end, the envelopes were classified as A and the lighting systems were classified as B. The analysis allowed to indicate bottlenecks of the new method, and it is considered that there was evolution in relation to the RTQ-C although, in the evaluation of the performance of the envelope, there is difficulty in the division of thermal zones in buildings of more complex geometry. It was also not possible to consider the existing shading of both unopened walls and caused by afforestation, quite present in the Campus. It is also considered that the efficiency rating of the artificial lighting system is permissive, allowing good classification for systems that still use fluorescent technology, less efficient than the current LED technology.

Keywords: INI-C, Energy Efficiency, Partial Label, Educational Building.

1. INTRODUÇÃO

O consumo de eletricidade representou 18,7% do consumo de energia gerada no Brasil em 2021, dessa porcentagem os setores comercial e público (que englobam edifícios, iluminação pública, energia para distribuição do sistema de abastecimento de água etc.), foram responsáveis por consumir 15,7% e 7,5%, respectivamente. O consumo de energia elétrica pelos setores comercial e público, aumentaram 19,62% e 11,95%, nesta ordem, entre os anos de 2011 e 2019. Apesar do aumento da participação de outras fontes na matriz energética brasileira, o consumo de eletricidade apresenta-se crescente desde a década de 70 (EPE, 2021).

Em outubro de 2001, foi promulgada a Lei n°. 10.295/2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, responsável pela criação do Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética (CGIEE) e, especificamente para edificações, o "Grupo Técnico para Eficientização de Energia nas Edificações no País" (GT-Edificações), visando regulamentar e elaborar procedimentos para avaliação da eficiência energética de edificações construídas no Brasil, além do uso racional da energia elétrica, que, posteriormente, se desdobraria no Programa Procel Edifica e, em 2009, nos Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), e no RTQ-R para avaliação de edificações residenciais em 2010.

Em 2017, junto ao Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E), o PROCEL Edifica, lançou uma nova proposta de método para a avaliação do desempenho energético das edificações, com objetivo de aprimoramento do RTQ-C, a Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C). E em março de 2021, a proposta foi aprovada por meio da Portaria nº 42, de 24 de fevereiro de 2021, pelo Ministério da Economia, junto ao Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO).

Este trabalho se insere dentro das iniciativas de sustentabilidade da Universidade Federal de Minas Gerais, mais especificamente no projeto Oásis (UFMG, 2022).

2. OBJETIVO

Avaliar o nível de eficiência energética da envoltória e do sistema de iluminação de uma edificação educacional pública de nível superior, conforme o método estabelecido pela INI-C, com finalidade de obter a etiqueta parcial de classificação, ressaltando as limitações encontradas na aplicação do método.

3. MÉTODO

O método utilizado tem como base os procedimentos e critérios estabelecidos para o método simplificado da INI-C. O objeto escolhido para o estudo de caso, é o Bloco 3 do complexo da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (Figura 1), localizado no município de Belo Horizonte.

3.1. Descrição do Estudo de caso



Figura 1 – Vista aérea do Bloco (Google Earth, 2022)

A edificação é dotada de salas de aula e áreas administrativas, dispõe de pilotis, circulação aberta e é condicionada naturalmente. Possui 10.000 m² de área construída, distribuída em 4 pavimentos. Seu entorno direto é composto sobretudo por gramados e indivíduos arbóreos, com presença de algumas edificações de no máximo 4 pavimentos.

A cobertura da edificação é de telhas metálicas trapezoidais de aço galvanizado na cor marfim com lajes de concreto de 15cm sem forro. As paredes são de alvenaria de tijolos cerâmicos furados revestidas e pintadas, com espessuras finais das paredes externas e internas de 17,5 e 12,0 cm. A pintura externa é composta pelas cores branco gelo e flamingo.

As janelas são em fita e possuem esquadria metálica e vidro comum. As salas de aula da fachada noroeste são protegidas por árvores de grande porte e varanda, que compõem o sistema de circulação do edifício, além disso, a edificação utiliza de lajes projetadas para fora que geram proteção solar.

3.2. Classificação do sistema de iluminação

O método para classificação do sistema de iluminação utilizado no presente artigo pode ser ilustrado pelo fluxo apresentado na figura 2.

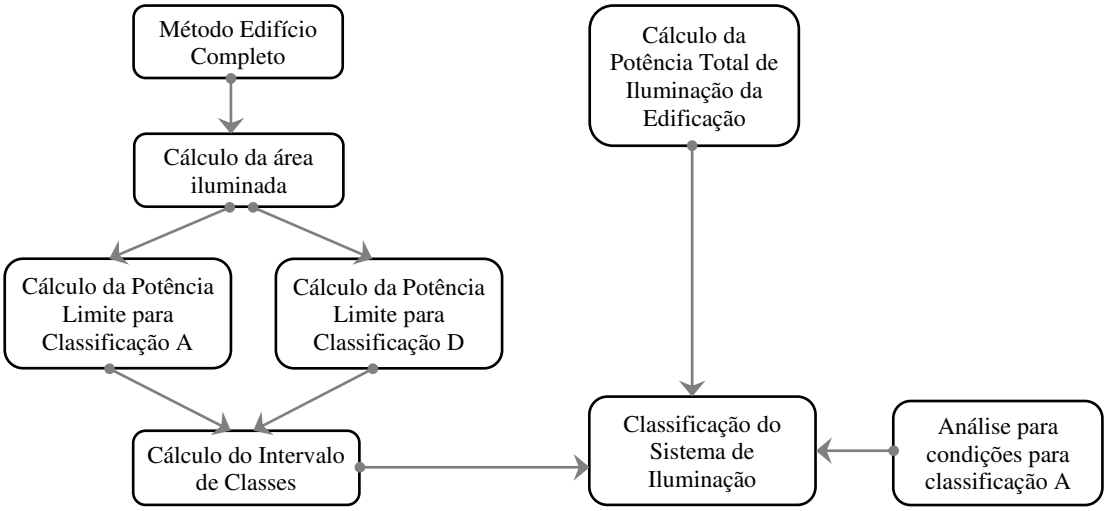


Figura 2 – Fluxograma da metodologia para classificação do sistema de iluminação

A classificação do sistema de iluminação artificial é dada com base na potência instalada de iluminação total (PI_T), entretanto, para ser elegível a classificação A é necessário atender para pelo menos 90% da potência instalada de iluminação, quando aplicáveis, os critérios de: contribuição da luz natural, controle local e desligamento automático do sistema de iluminação. Além disso, deve ser informado o potencial de integração entre o sistema de iluminação e a luz natural disponível. O não atendimento aos critérios citados, limita o sistema a classificação no máximo B. Para auxiliar o processo de levantamento de dados necessários, foi elaborada uma planilha, na qual foram listados todos os ambientes da edificação e associadas as informações de potência, área e status em relação ao cumprimento de cada pré-requisito para classificação A, conforme exemplo apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Exemplo de planilha desenvolvida para a classificação dos pré-requisitos do sistema de iluminação

Ambiente	Area iluminada	Número de luminárias	Potência da lâmpada	Lâmpada por luminária	Dissipação do reator	Potência instalada (kW)	Zona Primária de Iluminação (m²)	Cotribuição Luz Natural	Controle local	Desligamento automático
SUBSTACAO 101	27,37	4	32	2	1,1	0,28	0	Não	Sim	n/a
SALA DE PAINEIS	17,94	4	32	2	1,1	0,28	0	Não	Sim	n/a
COPA 101	17,04	2	32	2	1,1	0,14	17,04	Não	Sim	n/a

Primeiro, para cálculo do Potencial de Integração entre o Sistema de Iluminação e a Luz Natural disponível que é obtido através da razão entre a somas das áreas das zonas primárias de luz natural e a área total construída, foram traçadas Zonas Primárias de Iluminação em planta, a partir das aberturas laterais foram desenhadas superfícies com profundidade correspondente à altura da verga da janela e largura equivalente ao plano translúcido da janela, somando-se metade da altura da verga da janela para cada lado, descontando porções da zona que se encontram atrás de algum tipo de obstrução de altura maior ou igual a 1,80m. Não foram contabilizadas aberturas com projeções externas com fator de projeção (razão entre a profundidade horizontal da projeção de sombreamento e a medida da base da abertura até o nível da projeção de sombreamento) maior que 1,0 para projeções orientadas para sul ou maior que 1,5 para demais orientações. Em segundo, foi analisada a Contribuição da Luz Natural, que diz respeito a necessidade de ambientes que contenham mais de uma fileira de luminária(s), possuam acionamento independente das luminárias que se inserem nas zonas primárias de iluminação. Foram consideradas exceções a esse critério a primeira fileira de luminárias paralelas ao quadro em salas de aula e circulações. Em terceiro, foi analisado o controle local, que demanda cada ambiente fechado possuir pelo menos um dispositivo de controle manual para o acionamento da iluminação. Em quarto, foi avaliado o critério de desligamento automático do sistema de iluminação, aplicável para ambientes com área superior a 250m², que devem possuir dispositivo de controle automático para o desligamento da iluminação.

Para cálculo da potência instalada de iluminação total (PI_T) deve-se somar a potência da iluminação sem controle automatizado e da parcela que é controlada por sensores, deve ser considerado todos os conjuntos de luminárias instalados, incluindo as lâmpadas, reatores, transformadores e sistemas de controles.

Para cálculo das potências de iluminação limites para classificação A e D através do método do edifício completo, são atribuídas as densidades de potência de iluminação limite (DPI_L) para classificação A e D por meio da definição da(s) atividade(s) principais da edificação, que multiplicada pela área iluminada (AI) de

cada uma da(s) atividade(s) resulta nas potências de iluminação limite para classificação A e D, conforme equação 1.

$$PI_L = \sum_{i=1}^{n=3} A_I \cdot DPI_L \qquad \text{Equação 1}$$

Para definição do limite para os demais níveis de classificação da eficiência energética, deve-se dividir por 3 a diferença entre potências de iluminação limite para classificação A e D, obtendo como resultado o coeficiente que representa os intervalos entre as classificações, "i", conforme equação 2.

$$i = \frac{(PI_{LD} - PI_{LA})}{3} \qquad \text{Equação 2}$$

A partir do valor de "i" e das potências limites para classificação A (PI_{LA}) e D (PI_{LD}), a Tabela 2 de classificação energética deve ser preenchida e, posteriormente, o valor resultante do cálculo de potência instalada total da edificação (PI_T) em sua condição real deve ser comparado com os da tabela para encontrar a classificação correspondente ao sistema de iluminação.

Tabela 2 – Limites dos intervalos das classificações de eficiência energética para o sistema de iluminação.

Classificação de eficiência	A	B	C	D	E
Limite superior	-	> PI_{LD} – 3i	> PI_{LD} – 2i	> PI_{LD} – i	> PI_{LD}
Limite inferior	< PI_{LD} – 3i	≤ PI_{LD} – 2i	≤ PI_{LD} – i	≤ PI_{LD}	-

3.3. Classificação do sistema de envoltória

O método para classificação do sistema de envoltória utilizado no presente artigo pode ser ilustrado pelo fluxo apresentado na figura 3.

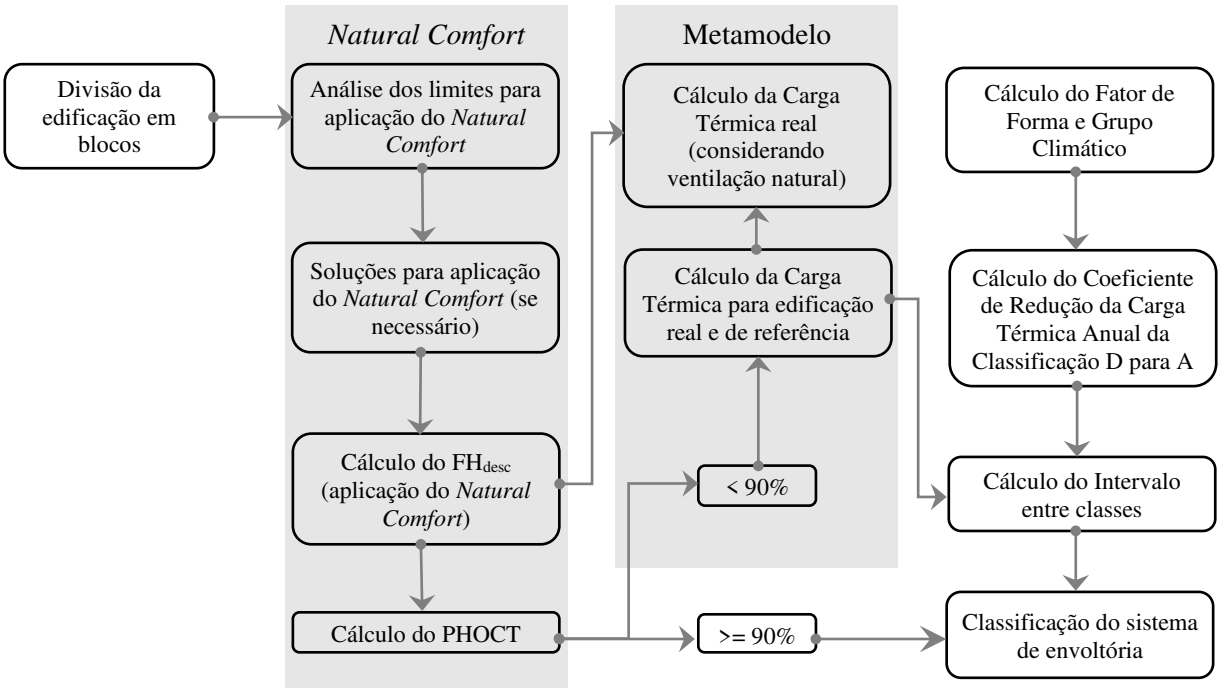


Figura 3 – Fluxograma da metodologia para classificação do sistema de iluminação

Na avaliação da envoltória através do método simplificado, para edificações compostas por blocos conectados deve ser gerada uma ENCE para cada um dos blocos. Para edificações com ventilação natural ou híbrida deve ser calculado o Percentual de Horas em Conforto Térmico (PHOCT), conforme equação 3.

$$\mathbf{PHOCT = 100 - FHdesc} \qquad \text{Equação 3}$$

Para se obter o valor de fração de horas de desconforto por calor (FHdesc), foi utilizada a interface do *Natural Comfort*, assim, primeiramente, foi feita uma análise dos limites para aplicação da ferramenta, conforme apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Limites dos intervalos das classificações de eficiência energética da envoltória.

Parâmetros	Limites

	Valor mínimo	Valor máximo
Absortância solar da cobertura (αcob)	0,2	0,8
Absortância solar da parede (αpar)	0,2	0,8
Ângulo vertical de sombreamento (AVS)	0°	45°
Capacidade térmica da cobertura (CTcob)	10 kJ/(m².K)	400 kJ/(m².K)
Capacidade térmica da parede externa (CTpar)	40 kJ/(m².K)	500 kJ/(m².K)
Fator solar do vidro (FS)	0,2	0,8
Pé-direito (PD)	2,75	4,25
Percentual de área de abertura da fachada (PAF)	0,05	0,7
Transmitância térmica da cobertura (Ucob)	0,10 W/(m².K)	5,00 W/(m².K)
Transmitância térmica da parede externa (Upar)	0,1 W/(m².K)	5,00 W/(m².K)
Transmitância térmica do vidro (Uvid)	1 W/m²	6,00 W/m²
Área média das APPs	9 m²	400 m²
Comprimento total	13 m	200 m
Fator da área da escada	0	0,28
Forma das aberturas para ventilação	0,1	50
Número de pavimentos	1	5
Profundidade total	8 m	50 m

Além de estar dentro dos limites apresentados, a edificação também deve atender as seguintes condições:

- Variação na metragem quadrada das Áreas de Permanência Prolongada (APPs) menor que 10%
- Formato quadrado ou retangular
- Altura máxima de 16 metros
- Aberturas para ventilação em todas as APPs
- Tipologia escolar ou escritório
- Sem pilotis
- Razão de largura/comprimento maior que 1/4

Posteriormente, foi feito o levantamento dos 23 dados entrada necessários: localização; tipologia; comprimento e profundidade da edificação; pé-direito; número de pavimentos; área das APPs; fator da área de escada; PAF; ângulo vertical de sombreamento; absortância solar, transmitância térmica e capacidade térmica da parede e da cobertura; fator solar e transmitância do vidro; fator de correção do vento; obstáculo do entorno; forma e fator de abertura das janelas; existência de ventiladores.

Edificações que apresentarem o PHOCT igual ou superior à 90% são classificadas como A, caso contrário deve ser classificada conforme a Redução de Carga Térmica para Resfriamento Anual.

Para determinação da carga térmica de refrigeração (CgTR) é empregado um metamodelo de análise que utiliza redes neurais artificiais, no qual os dados de entrada são inseridos por zonas térmicas da edificação. Para isso, é preciso dividir as APPs da edificação em planta entre zonas internas e perimetrais, sendo a última limitada a profundidade de 4,50 (ou 5,50m) com relação a parede. Os seguintes fatores também devem ser levados em conta para divisão das zonas térmicas: a tipologia da edificação, o pé-direito, a orientação geográfica, o sistema de condicionamento de ar, o piso em contato com o solo e a cobertura exposta.

Após a separação, é necessário levantar os seguintes dados relativos às zonas, para entrada no metamodelo: área; se há contato com o solo; se está sobre pilotis; se possui cobertura exposta; se possui isolamento no piso; zona interna ou perimetral; orientação solar; densidade de potência de equipamentos (DPE); densidade de potência de iluminação (DPI); fator solar e transmitância térmica do vidro; absortância, transmitância e capacidade térmica da cobertura e parede externa; pé-direito; percentual de abertura da fachada (PAF); ângulo horizontal de sombreamento (AHS); ângulo vertical de sombreamento (AVS); ângulo de obstrução vizinha (AOV); horas de ocupação;

Após o uso do metamodelo, é obtido a carga térmica total anual da envoltória (CgTTreal) e nos casos em que for considerado o aproveitamento da ventilação natural, deve-se computar a fração de horas de desconforto por calor (FHdesc), através da Equação 4.

$$\mathrm{CgTTreal} = \mathrm{CgTRreal} \,.\, \mathrm{FHdesc} \qquad \text{Equação 4}$$

O cálculo de intervalo entre as classes (i) instituirá os valores máximos e mínimos, conforme Tabela 3, para cada classe de eficiência (de A à E), que posteriormente serão comparados ao valor de carga térmica total anual da edificação real (CgTTreal). Para calcular o "i", é necessário encontrar o produto entre a carga térmica total da edificação em sua condição de referência (CgTTref) e o coeficiente de redução de carga térmica total anual da classificação D para a A (CRCgTTD−A), e depois dividir o produto em três parcelas iguais, conforme Equação 5.

Para obter o Coeficiente de Redução da Carga Térmica Total Anual da Classificação D para A (CRCgTTD-A), é necessário cruzar o Fator de Forma e o Grupo Climático nas tabelas definidas pela INI-C, de acordo com a tipologia da edificação e fazer a classificação da envoltória de acordo com a Tabela 4.

$$\mathbf{i} = \frac{(\mathbf{CgTT_{ref}}.\mathbf{CRCgTT_{D-A}})}{\mathbf{3}} \qquad \text{Equação 5}$$

Tabela 4 – Limites dos intervalos das classificações de eficiência energética da envoltória.

Classificação de eficiência	A	B	C	D	E
Limite superior	-	> $CgTT_{ref}$ – 3i	> $CgTT_{ref}$ – 2i	> $CgTT_{ref}$ – i	> $CgTT_{ref}$
Limite inferior	≤ $CgTT_{ref}$ – 3i	≤ $CgTT_{ref}$ – 2i	≤ $CgTT_{ref}$ – i	≤ $CgTT_{ref}$	-

4. RESULTADOS

Tendo em vista que o Bloco 3 é constituído por três blocos conectados por circulação aberta (dotadas apenas de guarda corpos) e a necessidade expressa de cada bloco ter sua envoltória analisadas separadamente, de modo que cada bloco receba uma ENCE, a iluminação também foi analisada por bloco.

Assim, o Bloco 3 foi decomposto, formando os blocos A, B e C. No texto da INI-C não é definido o procedimento ou algum critério para divisão das edificações composta por blocos. No presente trabalho, os blocos foram delimitados de modo que a potência de iluminação instalada nas circulações (destacadas em amarelo na Figura 4) fosse dividida igualmente para cada bloco.

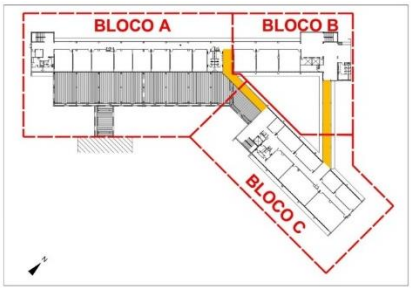


Figura 4– Divisão do Bloco 3 em blocos.

4.1. Classificação do sistema de iluminação

Para levantamento do sistema de iluminação do Bloco 3, foram utilizadas as plantas do projeto elétrico e arquitetônicos, datados do ano de 2008, assim como os memoriais descritivos.

4.1.1. Elegibilidade para Classificação A

Após a aplicação dos procedimentos descritos na metodologia foi possível averiguar o potencial de integração entre o sistema de iluminação e a luz natural para os blocos A, B e C, sendo 31%, 46% e 42%, respectivamente. E das condições para classificação A, foi observado que nenhum dos blocos cumpre todas as condições em 90% da potência instalada, o que limita a classificação da eficiência energética da iluminação dos blocos à no máximo B (Tabela 5).

Tabela 5 – Porcentagem da potência instalada em atendimento aos critérios de elegibilidade para classificação A.

Critérios	Bloco A	Bloco B	Bloco C
Contribuição da luz natural	34%	76%	28%
Controle local	100%	100%	100%
Desligamento automático	98%	100%	100%

4.1.2. Elegibilidade para Classificação A

O sistema de iluminação do Bloco 3 é constituído por luminárias de sobrepor instaladas em calhas, dotadas de lâmpadas fluorescente tubulares de 16W ou 32W, e luminária arandela composta por lâmpada fluorescente compacta de 23W.

Através do levantamento feito por meio do sistema exemplificado pela Tabela 1, foram alcançadas as seguintes potências de iluminação instaladas para cada bloco, apresentadas na Tabela 6:

Tabela 6 – Potência de iluminação instalada por bloco.

Bloco	Potência de iluminação instalada (w)
Bloco A	33.144
Bloco B	13.269
Bloco C	27.313

Para cálculo das potências limites, através do método edifício completo, foi definida a tipologia principal dos blocos como Escola/Universidade e, portanto, os valores de densidade de potência limites para classificação A e D, são 8,7 e 15,5 W/m², respectivamente. Com os valores de densidade de potência limite e área iluminada definidos, através do produto entre os dois, foi possível encontrar os valores de potência limite para classificação A (PI_{LA}) e D (PI_{LD}), de cada bloco, conforme Tabela 7. Através da definição de "i" e das potências limites para classificação A e D, foi possível definir os limites dos intervalos para os demais níveis de classificação, conforme as tabelas 8, 9 e 10.

Tabela 7 – Potência de iluminação limite para classificação A e D, por bloco.

Bloco	PI_{LA} (W)	PI_{LD} (W)
Bloco A	29.407	52.393
Bloco B	15.337	27.325
Bloco C	22.998	40.973

Tabela 8– Limites dos intervalos das classificações de eficiência energética do sistema de iluminação do Bloco A.

Classificação de eficiência	A	B	C	D	E
Limite superior	-	29.407	37.069	44.731	52.393
Limite inferior	29.407	37.069	44.731	52.393	-

Tabela 9– Limites dos intervalos das classificações de eficiência energética do sistema de iluminação do Bloco B.

Classificação de eficiência	A	B	C	D	E
Limite superior	-	15.337	19.333	23.329	27.325
Limite inferior	15.337	19.333	23.329	27.325	-

Tabela 10– Limites dos intervalos das classificações de eficiência energética do sistema de iluminação do Bloco C.

Classificação de eficiência	A	B	C	D	E
Limite superior	-	22.998	28.990	34.982	40.973
Limite inferior	22.998	28.990	34.982	40.973	-

A partir da comparação da potência de iluminação instalada com os valores limites definidos nas tabelas para classificação de eficiência, foi verificado que os blocos A e C são classificados com eficiência B, e o Bloco B foi classificado com eficiência A. Porém, por não cumprir as condições de elegibilidade para a classificação A, a classificação final do bloco B também é B.

4.2. Classificação do sistema de envoltória

Para levantamento do sistema de envoltória do Bloco 3, foram utilizadas as plantas dos projetos arquitetônicos, datados do ano de 2008, assim como os memoriais descritivos.

4.2.1. Natural Comfort

Dos valores limite para aplicação da ferramenta *Natural Comfort* referentes às características construtivas, o fator solar do vidro estava fora dos limites, os blocos são majoritariamente dotados de vidro comum com fator solar de 0,87, e o máximo aceito pelo programa é de 0,8. Das demais condições limites para utilização da ferramenta, nenhum dos blocos possui variação das metragens quadradas das APPs menor que 10%.

Além disso, o Bloco A possui no primeiro pavimento uma área construída que não está presente nos demais pavimentos, assim esta área foi avaliada de forma separada, como um anexo, denominado Bloco A-2, sendo o restante do bloco denominado Bloco A-1 (Figura 5), e o resultado da fração de horas de desconforto por calor (FHdesc) do Bloco A foi obtida pela ponderação dos valores encontrados para os Blocos A-1 e A-2 por suas respectivas áreas.



Figura 5 – Divisão do Bloco A nos Blocos A-1 e A-2 (Google Earth, 2022)

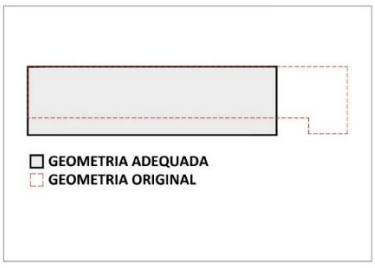


Figura 6– Adequação da geometria do Bloco A-1.

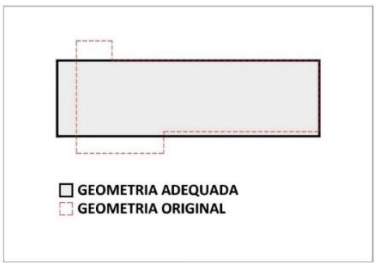


Figura 7– Adequação da geometria do Bloco B.

O Bloco B, possui pilotis na maior parte do seu primeiro pavimento, assim, conforme proposto por Medeiros (2021) foram utilizados dois modelos distintos para testes no *Natural Comfort*, o primeiro, denominado como Bloco B-1, que considera a área de pilotis fechada por paredes de 17,5 cm, o segundo, denominado como Bloco B-2, que desconsidera o pavimento que possui pilotis e avalia apenas os 3 andares superiores. E os blocos A e B não possuem formato retangular, e ainda em relação à geometria, o Bloco A possui a razão entre largura/comprimento da edificação superior a 1/4, nesse sentido foram feitas adequações nas geometrias dos blocos sem alterar suas respectivas áreas, conforme ilustrado pela Figuras 6 e 7.

A tabela 11 apresenta os dados de entrada usados no *Natural Comfort* para cada bloco e seus respectivos resultados.

Tabela 11 – Parâmetros de entrada e resultados de cada bloco no *Natural Comfort*.

Parâmetro	**Bloco A-1**	**Bloco A-2**	**Bloco B-1**	**Bloco B-2**	**Bloco C**
Localização	Belo Horizonte				
Tipologia	Escola	Escola	Escola	Escola	Escola
Comprimento total (m)	50	40	38	38	45,3
Profundidade total (m)	13,8	14,2	11	11	14,9
Pé-direito (m)	3,7	4,2	3,7	3,5	3,7
Número de pavimentos	4	1	4	3	4
Área das salas ocupadas (m²)	44,6	30,1	52,1	54,5	32,1
Fator da área da escada	0,03	0	0,05	0,05	0,02
PAF	0,07	0,31	0,05	0,2	0,3
Ângulo vertical de sombreamento	30	30	45	30	30
Absortância solar da parede	0,39	0,36	0,39	0,39	0,39
Transmitância térmica da parede (W/m².K)	3,06	2,83	2,86	2,81	2,83
Capacidade térmica da parede (kJ/m².K)	208	233	228	232	233
Absortância solar da cobertura	0,36	0,61	0,36	0,36	0,36
Transmitância térmica da cobertura (W/m².K)	1,39	1,39	1,39	1,39	1,39
Capacidade térmica da cobertura (kJ/m².K)	347	347	347	347	347
Fator solar	0,8	0,8	0,87	0,8	0,8
Transmitância térmica do vidro (W/m².K)	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7
Fator de correção do vento	Áreas urbanas, suburbanas, industriais e florestas				
Obstáculos do entorno	Proteção densa com muitas obstruções	Proteção muito densa com muitas obstruções grandes	Proteção densa com muitas obstruções	Proteção densa com muitas obstruções	Proteção densa com muitas obstruções
Forma das janelas	1,1	1	1,3	1,4	1
Fator de abertura	Janela de correr				
Ventilador	Com Ventilador				
RESULTADOS	**31**	**20**	**13**	**17**	**31**

Em vista de que nenhum dos blocos apresentou PHOCT superior à 90%, foi preciso calcular a Carga Térmica de Refrigeração Anual da envoltória, para concluir a classificação do sistema da envoltória.

4.2.2. Cálculo da Carga Térmica de Refrigeração Anual (CgTR)

Por meio do método descrito neste artigo, foram divididas as zonas térmicas dos três blocos que formam o Bloco 3, separadamente (ver figuras de 8 a 10). Para cálculos de capacidade térmica e transmitância das paredes e coberturas, foi utilizada a NBR 15.220-2 (ABNT, 2005). Para determinação das absortâncias foi consultado o Anexo V da Portaria Inmetro nº 50/2013. E para definição do Fator Solar e transmitância térmicas dos vidros foi utilizada base de dados de componentes construtivos da Projeteee – Projetando Edificações Energeticamente Eficientes.



Figura 8 – Divisão de zonas térmicas do bloco A

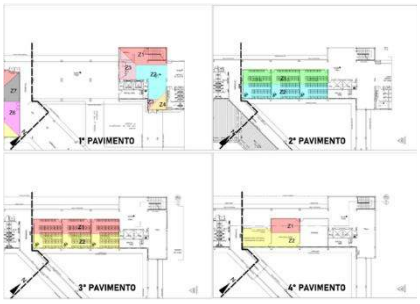


Figura 9 – Divisão de zonas térmicas do bloco B

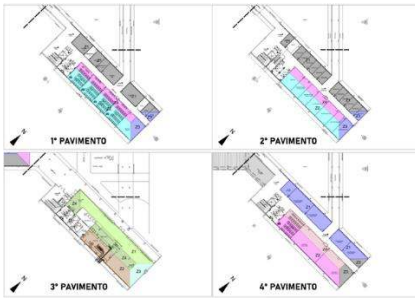


Figura 10 – Divisão de zonas térmicas do bloco C

Após a divisão das zonas térmicas foram levantados seus respectivos dados de entrada para análise no metamodelo, conforme exemplo fornecido na Tabela 12. A partir da inserção dos parâmetros de entrada apresentados nas tabelas no metamodelo, foram obtidos os valores de carga térmica de refrigeração anual da edificação – CgTRreal (kWh/ano), e por meio da substituição dos valores de PAF, transmitância da parede, cobertura e vidro, capacidade térmica da parede e cobertura, absortância da parede e cobertura, capacidade térmica da parede e cobertura, fator solar do vidro e densidade de potência de iluminação pelos valores definidos no Anexo A da INI-C (BRASIL, 2021)para condição de referência para edificações educacionais. Foi obtido então o valor de carga térmica total anual da edificação de referência – CgTTref (kWh/ano), conforme apresentado na Tabela 13.

Tabela 12 – Parâmetros de entrada do bloco A no Metamodelo para cálculo de carga térmica.

Bloco A	**1° Pavimento**							**2° pavimento**		**3° pavimento**		**4° pavimento**	
Edif. Educacional	**Z1**	**Z2**	**Z3**	**Z4**	**Z5**	**Z6**	**Z7**	**Z1**	**Z2**	**Z1**	**Z2**	**Z1**	**Z2**
Área	164,23	168,48	20,22	112,88	33,09	31,98	25,08	190,73	193,6	190,74	193,6	190,74	193,6
Contato com o solo?	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	não	não	não	não	não	não
Zona sobre pilotis?	não	não	não	não	não	não	não	não	não	não	não	não	não
Cobertura exposta?	não	sim	sim	não	sim	sim	não	não	não	não	não	sim	sim
Isolamento do piso?	não	não	não	não	não	não	não	-	-	-	-	-	-
Tipo de zona	per	per	per	int	int	per	per	per	per	per	per	per	per
Orientação Solar	NO	SE	SO	-	-	NE	NE	NO	SE	NO	SE	NO	SE
DPE	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
DPI	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81
FS	0,87	0,87	-	-	-	-	-	-	0,87	-	0,87		0,87
U vid	5,7	5,7	-	-	-	-	-	-	5,7	-	5,7		5,7
Acob	-	0,61	0,61	-	0,61	0,61	-	-	-	-	-	0,36	0,36
Apar	0,36	0,36	0,47	-	-	0,36	0,36	0,36	0,4	0,36	0,36	0,36	0,36
Pé direito	4,25	4,25	4,25	4,25	4,25	4,25	4,25	3,5	3,5	3,5	3,5	3,55	3,55
PAF %	0,25	0,28	0	-	-	0	0	0,00	0,34	0,00	0,34	0,00	0,34
AHS	0	0	0	-	-	0	0	0	0	-	0	0	0
AVS	60	26	0	-	-	0	0	0	0	-	32	0	32
AoV	7	0	0	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0
Horas de ocupação	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Ucob	-	1,39	1,39	-	1,39	1,39	-	-	-	-	-	1,39	1,39
Upar	2,96	2,83	2,83	-	-	3,4	3,4	3,4	2,83	3,4	2,83	3,4	2,83
Ctcob	-	347,3	347,3	-	347,3	347,3	-	-	-	-	-	347,3	347,3
Ctpar	218,7	233,1	233,1	-	-	170,4	170,4	170,44	233,1	170,44	233,1	170,44	233,1

Tabela 13 – Valores de carga térmica total anual para edificação e de referência.

	Bloco A	**Bloco B**	**Bloco C**
CgTRreal (kWh/ano)	334.302,41	104.442,35	347.051,45
CgTTref (kWh/ano)	470.255,83	150.152,07	424.817,00

Por meio do levantamento dos parâmetros, foi possível fazer algumas constatações em relação a insuficiência da descrição da edificação real pelos dados que são requisitados: não é possível considerar ângulo vertical de sombreamento para paredes que não possuem janelas e indivíduos arbóreos não são qualificados para entrada no parâmetro de ângulo de obstrução vizinha, uma vez que este ângulo é representado apenas pelo efeito do sombreamento de uma edificação vizinha. A partir do valor da carga térmica total da edificação de referência e dos valores de intervalo entre as classificações de eficiência energética, foi preenchido o quadro de limites de intervalos das classificações de A até E para os 3 blocos considerados (tabelas 16 a 18).

Tabela 16– Limites dos intervalos das classificações de eficiência energética do sistema de envoltória do bloco A.

Classificação de eficiência	A	B	C	D	E
Limite superior	-	310.368,83	363.664,49	416.960,15	470.255,81
Limite inferior	310.368,83	363.664,49	416.960,15	470.255,81	-

Tabela 17– Limites dos intervalos das classificações de eficiência energética do sistema de envoltória do bloco B.

Classificação de eficiência	A	B	C	D	E
Limite superior	-	103.604,91	119.120,63	134.636,34	150.152,05
Limite inferior	103.604,91	119.120,63	134.636,34	150.152,05	-

Tabela 18– Limites dos intervalos das classificações de eficiência energética do sistema de envoltória do bloco C.

Classificação de eficiência	A	B	C	D	E
Limite superior	-	293.123,73	337.021,49	380.919,24	424.817,00
Limite inferior	293.123,73	337.021,49	380.919,24	424.817,00	-

4.2.3. Carga Térmica Total Anual da Edificação Real

Com o propósito de considerar a ventilação natural, foi aplicada a equação 5 sobre o valor de carga térmica de refrigeração anual da edificação real resultando nos valores de carga térmica total anual da edificação real (CgTTreal) apresentados na Tabela 19. Por meio da comparação dos limites para classificação A dos blocos e suas respectivas cargas térmicas total anual, é possível verificar que os valores de carga térmica para resfriamento se tornam muito inferiores aos valores limites para classificação A após considerar a ventilação natural (Equação 4). Sem levar em conta a ventilação natural, os blocos A e B estariam classificados com nível de eficiência B e o bloco C como C.

Tabela 19– Valor de carga térmica total anual por bloco.

	Bloco A	**Bloco B**	**Bloco C**
$CgTT_{real}$	127.034,9	13.577,51	107.585,95

5. CONCLUSÕES

A INI-C estabelece procedimentos e critérios de análise inovadores, entretanto ainda é possível fazer considerações em relação à sua aplicabilidade e eficácia. O sistema de iluminação, apesar de ser composto por lâmpadas pouco eficientes, considerando as opções acessíveis hoje no mercado, receberam uma classificação considerada elevada, considerando, principalmente, que o bloco B receberia classificação máxima se não fossem as condições de elegibilidade para classificação A.

Em relação a análise da envoltória, nenhum dos blocos se encaixou totalmente nos pré-requisitos para aplicação do *Natural Comfort*, com relação às características geométricas e construtivas foi possível fazer correções para viabilizar seu uso, porém o parâmetro que se apresentou mais restrito foi o de variação das áreas de permanência prologada até 10%, para o qual não foi factível realizar alguma adequação. Além disso, apesar de avaliado o condicionamento natural, não foi possível obter a ENCE geral da edificação sem a análise do sistema de condicionamento de ar artificial, o qual o objeto de estudo não dispõe, devido aos métodos definidos pela norma.

O metamodelo para cálculo de carga térmica para resfriamento prevê um procedimento e resultados mais detalhados, em comparação ao *Natural Comfort*, em vista da divisão da edificação em zonas térmicas, entretanto, ainda possui limitações em relação à descrição da edificação e seu entorno, por meio dos parâmetros de entrada. E também por se tratar de uma rede neural seus métodos de análise dos parâmetros não são explícitos, dificultando identificar como cada fator está influenciando mais o resultado final.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. 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, 2003.

____. NBR 15575: Edificações habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

BEN 2021, Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2021, ano base 2020. Disponível em: < https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-596/BEN2021.pdf>. Acesso em: fev. 2022.

BRASIL. Eletrobras/Procel. Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E). Manual de aplicação da INI-C Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas. V.1. junho de 2021. Disponível em: http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/Manual%20INI-C_JUN_V01.pdf. Acesso em: dez. 2021.

____. Decreto nº 9.864, de 27 de junho de 2019. Regulamenta a Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dispõe sobre o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 27 jun. 2019. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2019/Decreto/D9864.htm>. Acesso em: fev. 2022.

____. Lei nº. 10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Poder legislativo, Brasília, DF, 17 out 2001. Disponível em: < https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/LEIS_2001/L10295.htm>. Acesso em: fev. 2022.

____. Ministério Da Economia. Instituto Nacional De Metrologia, Qualidade E Tecnologia (INMETRO). Portaria Nº 42, de 24 de fevereiro de 2021. Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C). 2021. Disponível em: http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002707.pdf. Acesso em: dez. 2021.

____. Ministério Da Economia. Instituto Nacional De Metrologia, Qualidade E Tecnologia (INMETRO). Consulta Pública n°3, de 9 de março de 2021. Proposta de aperfeiçoamento dos Requisitos de Avaliação da Conformidade (RAC) para a Eficiência Energética de Edificações. 2021. Disponível em: http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002708.pdf. Acesso em: jul. 2022.

MEDEIROS, H. G. Método simplificado de avaliação do conforto térmico para ambientes ventilados naturalmente ou híbridos do INI-C: desempenho e limitações. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável) – Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais, p. 98. 2021.

PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM (PBE). Nova INI-C 2022. Disponível em: https://pbeedifica.com.br/nova-ini/. Acesso em: jul. 2022. A

PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM (PBE). Fórum INI-C 2022. Disponível em: http://pbeedifica.com.br/forum/. Acesso em: fev. 2022. B

_____. PBE EDIFICA, 2022. Interface Web para a estimativa da carga térmica de resfriamento anual da envoltória (edificações condicionadas artificialmente). Disponível em: http://pbeedifica.com.br/redes/comercial/index_with_angular.html#. Acesso em: fev. 2022. C

_____. PBE EDIFICA, 2022. Interface Web para a estimativa da fração de horas excedentes por calor (edificações ventiladas naturalmente e híbridas). Disponível em: http://pbeedifica.com.br/naturalcomfort/. Acesso em: fev. 2022. D

RACKES, A. Natural Comfort – User's Guide. Disponível em: http://www.pbeedifica.com.br/node/601. Acesso em: jul. 2022.

UFMG, UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, Projeto Oásis, Belo Horizonte, 2022. Disponível em: https://www.ufmg.br/sustentabilidade/projetos/oasis/. Acesso em: jul.2022.