XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

AVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E CONFORTO TÉRMICO DE PROJETOS EDUCACIONAIS PADRONIZADOS DO FNDE

Camila Correia Teles (1); Thiago Montenegro Góes (1); Adriano Felipe Oliveira Lopes (1)
Júlia Teixeira Fernandes (2); Cláudia Naves David Amorim (3); Caio Frederico e Silva (3)
(1) Estudantes do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo,
arq.camilacorreiateles@gmail.com | tgoes@hotmail.com | adrianolopes.arq@gmail.com
(2) Doutora, Sócia-diretoria empresa Quali-A Conforto e Eficiência Energética, consultoria@quali-a.com
(3) Doutores, Professores do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo,
clamorim@unb.br | caiosilva@unb.br
Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Campus Universitário Darcy Ribeiro
Brasília, DF, 70904-970, Tel.: (61) 33072995

RESUMO
Este artigo apresenta o processo de adequação para etiqueta de eficiência energética nível "A" do projeto de três novas tipologias arquitetônicas para unidades de ensino fundamental com 5 e 9 salas, atualmente em desenvolvimento para as 8 zonas bioclimáticas brasileiras pela equipe técnica da Coordenação de Desenvolvimento de Infraestrutura (CODIN) do Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE). O método está estruturado em 4 etapas: primeiramente, organizou-se um diagnóstico preliminar das etiquetas atuais dos projetos dos edifícios; na segunda etapa, atuou-se na adequação da transmitância térmica das paredes e cobertura, tendo sido calculados os respectivos resultados finais de etiqueta; a terceira etapa envolveu a simulação das horas ocupadas em conforto do Bloco de Sala de Aula; na quarta e última etapa foi apresentado um resumo das propostas de adequações por família de projeto. A análise foi feita por comparação entre dados de entrada (transmitância, fator solar do vidro, taxa de sombreamento) e resultados de etiqueta da envoltória, assim como entre os resultados de etiqueta e percentual de horas em conforto. Os dados mostraram que o alcance dos pré-requisitos com redução da transmitância térmica da envoltória foi suficiente para permitir etiqueta A em 6 das 8 zonas bioclimáticas brasileiras, com diferentes níveis de isolamento térmico da cobertura. Porém, foram necessárias estratégias adicionais para garantir o conforto térmico nas salas de aula. Neste sentido, concluiu-se que o projeto deveria sofrer alterações por grupos de zonas bioclimáticas, chegando a um total de 3 diferentes projetos-padrão.
Palavras-chave: eficiência energética, etiquetagem, escolas públicas, projeto padrão FNDE, conforto térmico.

ABSTRACT
This article presents the adaptation process for label A of the project of three new architectural typologies for elementary schools with 5 and 9 rooms, currently under development for the 8 Brazilian bioclimatic zones by the technical team of the Coordination of Infrastructure Development – CODIN of the Education Development National Foundation FNDE. The methodological procedures of the article can be structured in 4 steps: the first one consisted of preliminary diagnosis of the current labels of the projects of the buildings; in the second step, the adequacy of the thermal transmittance of the walls and cover, and the respective final label results were calculated; the third step involved the simulation of the hours occupied in the comfort of the Classroom Block; in the fourth and last step, a summary of the proposals for adjustments by project family was presented. The analysis was comparing input data (transmittance, solar glass factor, shading rate) and envelope labelling results, as well as between label results and percent comfort hours. The data showed that the reach of the prerequisites with reduction of the thermal transmittance of the envelope was sufficient to allow A-label in 6 of the 8 Brazilian bioclimatic zones, with different levels of thermal insulation of the cover. However, additional strategies were required to ensure thermal comfort in classrooms. In this sense, it was concluded that the project should be modified by groups of bioclimatic zones, reaching a total of 3 different standard projects.
Keywords: energy efficiency, labelling, public schools, FNDE standard project, thermal comfort.

1. INTRODUÇÃO

A construção civil e o funcionamento das edificações são responsáveis por expressiva parcela de impacto ambiental em todo o planeta. Segundo Kita (2018), atualmente essas atividades consomem cerca de 40% de toda a energia produzida no mundo, 12% da água potável consumida e 33% dos recursos naturais utilizados, além de serem responsáveis pela emissão de 33% dos gases geradores de efeito estufa e pela produção de 40% dos resíduos sólidos urbanos. No Brasil, edifícios residenciais, comerciais, públicos e de serviços representam 50% na demanda nacional de energia (MME, 2013). A eficiência energética das edificações tende a facilitar o processo de manutenção, reduzir custos operacionais, aumentar o conforto e melhorar o desempenho dos usuários em suas atividades (BEZERRA; CHOAS, 2016; BRASIL; SILVA, 2018; DELIBERADOR; KOWALTOWSKI, 2011).

As etiquetas e certificações de desempenho energético e ambiental dos edifícios tiveram início na década de 90 em países como Reino Unido, Estados Unidos e Canadá, com o surgimento das certificações como *Building Research Environmental Assessment* – BREEAM, *Leadership in Energy and Environmental Design* – LEED e *Building Environmental Performance Assessment Criteria* – BEPAC (KITA, 2018).

No Brasil, as adaptações de etiquetas internacionais para o contexto climático brasileiro e as certificações nacionais, como o Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações – PBE Edifica e o Selo Casa Azul da Caixa Econômica Federal, aconteceram a partir de 2003 (GRÜNBERG; MEDEIROS; TAVARES, 2014; PBEEDIFICA, 2014). No panorama da Legislação Nacional no que tange a busca pela eficiência energética e a redução do consumo de energia de edifícios públicos, o governo federal lançou em 2014 uma instrução normativa – IN 02/2014, que exige Etiquetagem A do PBE Edifica para Edifícios públicos Federais, inclusive do segmento educacional.

Devido a essas iniciativas e aos dados estatísticos educacionais do Brasil, as redes municipais e estaduais de educação, voltadas para o ensino fundamental e médio regular, têm sido reestruturadas com recursos federais, garantidos por meio do Plano de Ações Articuladas – PAR, apresentando-se em conformidade com as metas 2 e 3 do Plano Nacional de Educação, que trata da universalização do ensino fundamental de 9 (nove) anos para toda a população de 6 (seis) a 14 (quatorze) anos e universalização do atendimento do ensino médio (FNDE, s/d).

Como fomentador de políticas voltadas para a qualidade do ambiente escolar, o Ministério da Educação – MEC, na publicação Parâmetros Básicos de Infraestrutura para Instituições de Educação Infantil (BRASIL, 2006), traz formulações recomendadas para o projeto, construção e reformas de unidades de Educação Infantil, tendo como princípio um modelo de unidade escolar replicável a fim de suprir a alta demanda educacional. O objetivo é garantir resistência ao vandalismo, baixo custo, fácil manutenção, relação harmoniosa com o entorno, provendo conforto ambiental dos seus usuários e qualidade sanitária dos ambientes (FDE, 2006; FNDE, 2005; FNDE, 2006).

No caso de novas construções, os projetos arquitetônicos que atendem aos quesitos de padrão construtivo mínimo e de funcionamento são oferecidos às entidades que buscam expandir suas redes físicas educacionais. A assistência financeira é prestada de forma suplementar por parte do FNDE para construção de novas unidades escolares baseadas em projetos padronizados, oferecidos por esta Autarquia.

Além da necessidade de se avaliar criteriosamente as ações cadastradas no Sistema Integrado de Monitoramento Execução e Controle do Ministério da Educação – SIMEC, bem como os convênios de infraestruturas escolares existentes, cabe ao FNDE desenvolver e atualizar permanentemente os projetos padronizados oferecidos aos entes federados, enquanto assistência técnica (FNDE, 2017). É função da Coordenação-Geral de Infraestrutura Educacional – CGEST acompanhar e desenvolver estudos propositivos que atendam às exigências arquitetônicas de novos prédios públicos, consoantes com as políticas pedagógicas disseminadas pelo Ministério da Educação.

Três novas tipologias arquitetônicas para unidades de ensino fundamental com cinco e nove salas estão em desenvolvimento pela equipe técnica da Coordenação de Desenvolvimento de Infraestrutura – CODIN/FNDE para atender aos preceitos do novo ensino fundamental de 9 (nove) anos, sendo o fundamental I do 1º ao 5º ano e fundamental II do 6º ao 9º ano. Devido à obrigatoriedade do alcance da etiqueta A do PBE Edifica em edifícios públicos, novos ou reformados, é necessário avaliar o nível de eficiência energética destes projetos, segundo o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética RTQ, endossado pela Instrução Normativa 02, de 04 de julho de 2014 – IN 02/2014. Existem estudos similares aplicados a outros projetos arquitetônicos de escolas padrão (JUNIOR; SOUZA, 2015).

Aliado a isto, há demanda do corpo técnico na busca de uma melhor etiqueta com o uso de estratégias passivas de climatização. Isso sem comprometer o nível do conforto térmico dos blocos de sala de aula.

2. OBJETIVO

Classificar três novas tipologias de projetos arquitetônicos padrão de escolas do FNDE quanto a seu nível de eficiência energética e estabelecer diretrizes considerando o projeto de três novas tipologias arquitetônicas do FNDE para unidades de ensino fundamental com 5 e 9 salas para 5 cidades representativas de três famílias de zonas bioclimáticas: Curitiba, Florianópolis, Brasília, Cuiabá e Salvador .

3. MÉTODO

O método desta pesquisa foi estruturado em quatro momentos:

1. Diagnóstico preliminar das etiquetas parciais de envoltória para as tipologias arquitetônicas de ensino fundamental;
2. Adequação de pré-requisitos de transmitância térmica de parede e cobertura;
3. Cálculo, por meio de simulação computacional, do percentual de horas ocupadas em conforto (POC) do bloco de sala da aula;
4. Resumo das propostas de adequações por família de projeto.

3.1. Diagnóstico preliminar das etiquetas atuais

Considerou-se que as três novas tipologias arquitetônicas para unidades de ensino fundamental que estão em desenvolvimento pela equipe técnica da Coordenação de Desenvolvimento de Infraestrutura – CODINFNDE objetivam a facilidade de replicação, com menor variação possível de projeto entre as 8 zonas bioclimáticas, facilidade de manutenção, baixo custo, além de possibilitarem desempenho energético de etiqueta A do PBE Edifica.

3.1.1. Caracterização das tipologias arquitetônicas

As tipologias arquitetônicas para unidades de ensino fundamental são formadas por blocos modulares que se repetem, sendo uma delas com 5 salas de aula e outras duas com 9 salas de aula. A primeira tipologia é composta por área administrativa, convivência, serviços e 5 salas de aula em apenas 1 pavimento. A segunda é composta por área administrativa, convivência, serviços e 9 salas de aula, também em apenas 1 pavimento, (Figura 1), de forma similar a terceira tipologia, porém distribuídas em 2 pavimentos.



Figura 1 – Volumetria da tipologia arquitetônica para unidades de ensino fundamental de 9 salas de 1 pavimento.

3.1.2. Etiqueta de envoltória e iluminação artificial.

Aplicou-se o método prescritivo de avaliação da etiqueta parcial de envoltória com auxílio da ferramenta online Webprescritivo, disponível no portal do PBE Edifica, para as três tipologias arquitetônicas de unidades escolares. Os dados de projeto solicitados pela plataforma para o cálculo da etiqueta geral são: Pré-requisitos gerais de divisões de circuitos elétricos por uso final e aquecimento de água, características e pré-requisitos específicos referentes aos sistemas de envoltória, iluminação artificial e condicionamento de ar.

Como diretrizes adotadas para obtenção do nível A de eficiência energética considerou-se que ambas tipologias em possuem circuito elétrico com possibilidade de medição centralizada por uso final, enquanto o pré-requisito de sistema de aquecimento de água não se aplica, devido ao seu caráter não residencial. Em relação ao sistema de iluminação também foram considerados atendidos os pré-requisitos de divisão de circuitos, contribuição de luz natural e desligamento automático das lâmpadas, além disso determinou-se uma densidade de potência instalada de iluminação inferior aos limites determinados pelo RTQ-C.

Os dados solicitados para a envoltória foram: Área de projeção edifício (m²) – A_{pe}, Área total de piso (m²) – A_{tot}, Área da envoltória (m²) – A_{env}, Ângulo Vertical de Sombreamento (graus) – AVS, Ângulo Horizontal de Sombreamento (graus) – AHS, Percentual de Abertura na Fachada – PAFt, Volume total da edificação (m³) – V_{tot}, transmitância térmica da cobertura – U_{COB}, transmitância térmica das paredes – U_{PAR}, absortância da cobertura – α_{COB}, absortância das paredes – α_{PAR}.

Uma vez que o projeto das 3 tipologias de escolas é composto por blocos isolados, esses dados solicitados pelo Webprescritivo foram calculados para cada bloco individualmente, conforme Tabela 1. Todo o processo de Etiquetagem foi desenvolvido para cada bloco, como orienta o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética (RTQ-C). A etiqueta da envoltória do edifício é gerada pela ponderação por área da etiqueta de cada bloco. A primeira tipologia é composta pelos blocos 1 a 6, a segunda pelos blocos 1 a 7 e a terceira pelos blocos 1 a 6 e 8, conforme figuras 2, 3 e 4.

Tabela 1 – Dados de projeto das 3 tipologias iniciais

Dados de Projeto	**Bloco 1**	**Bloco 2**	**Bloco 3**	**Bloco 4**	**Bloco 5**	**Bloco 6**	**Bloco 7**	**Bloco 8**
APE: Área do edifício (m²)	166	154	100	51	137	424	379	456
ATOT: Área total de piso (m²)	166	154	100	51	137	424	379	954
AENV: Área da envoltória (m²)	344	413	230	182	556	983	834	2210
AVS: Ângulo Vertical de Sombreamento (graus)	27	21	45	34	25	28	16	29
AHS: Ângulo Horizontal de Sombreamento (graus)	11	10	0	3	15	18	7	9
PAFT: Percentual de Abertura na Fachada	28	11	35	4,5	10	11	13	13,5
VTOT: , Volume total da edificação	646	600	390	200	532	1654	1480	3372
Função	Multiuso	Refeitório	Biblioteca	WC	Escritório	Escola	Escola	Escola



Figura 2 – Blocos Tipologia 1

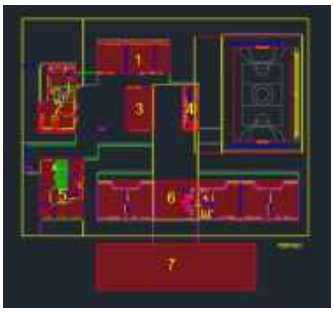


Figura 3 – Blocos Tipologia 2

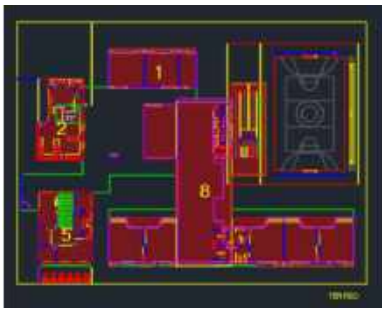


Figura 4 – Blocos Tipologia 3

Na extração dos dados para a etiquetagem da envoltória, os valores de Percentual de Abertura na Fachada Oeste – PAFo foram desconsiderados visto que não é recomendada a implantação dos edifícios com as maiores fachadas envidraçadas voltadas a oeste, utilizando-se somente de um valor médio de PAFT. Com relação às vedações verticais horizontais (coberturas) e verticais (paredes), foram considerados os mesmos valores de transmitância térmica e absortância, partindo de padrão construtivo definido pelo FNDE, além de fator solar equivalente a um vidro simples de 3 mm, segundo Figura 5.

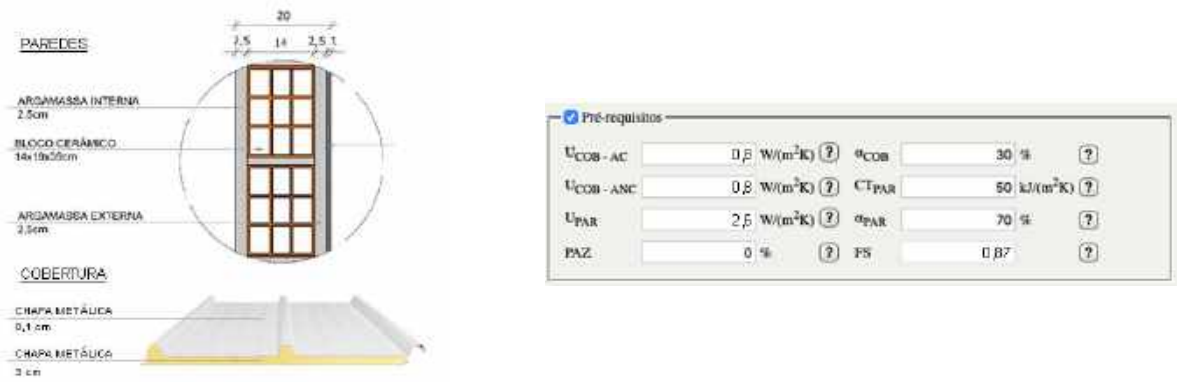


Figura 5 – Dados de pré-requisitos da envoltória definidos a partir de padrões construtivos.

A partir deste diagnóstico, foram levantadas diretrizes para a obtenção do melhor nível de etiqueta, ressaltando que essa avaliação restringe-se à etapa de projeto.

3.2. Adequação de pré-requisitos da envoltória

Dentre os pré-requisitos para cálculo da etiqueta da envoltória, para a elaboração das diretrizes de intervenção foi priorizada a alteração dos dados de transmitância térmica da cobertura – U_{COB}, transmitância térmica das paredes – U_{PAR} e absortância das paredes – α_{PAR}. A alteração apenas desses parâmetros facilita a padronização e replicação dos modelos e possibilita pequena variação de custo entre as propostas.

3.3. Simulação das horas ocupadas em conforto

O cálculo, por meio de simulação computacional, do percentual de horas ocupadas em conforto (POC) é exigido pelo RTQ-C para avaliação de áreas de permanência prolongadas ventiladas naturalmente. A partir desse cálculo obtém-se um Equivalente Numérico de Ventilação (EqNumV), que substitui o Equivalente Numérico do Sistema de Condicionamento de Ar (EqNumCA), conforme Tabela 2 (INMETRO, 2014). Neste trabalho foi utilizado o software *DesignBuilder* v.5.4, que é uma poderosa ferramenta para simulação termoenergética de edifícios, permitindo a modelagem de edifícios complexos e a elaboração de análises de consumo de energia e do desempenho do projeto, em intervalos anuais, mensais, diários, horários ou até sub-horários. O programa utiliza como motor de cálculo *EnergyPlus,* aprovado pela *ASHRAE 140*. A Figura 6 ilustra elaborado no *DesignBuilder* e os padrões de ocupação adotados a partir dos seguintes dados de entrada: densidade de potência de iluminação, densidade de ocupação (pessoas), densidade de potência de equipamentos e taxa de renovação de ar por hora.

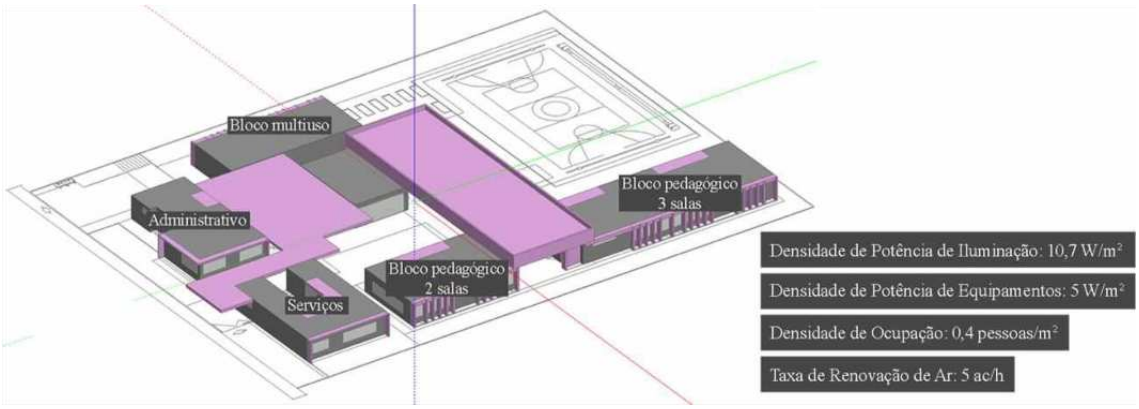


Figura 6 – Modelo realizado no software DesignBuilder.

Tabela 2 - Equivalente Numérico de Ventilação para cada intervalo de POC.

Percentual de Horas Ocupadas em Conforto	EqNumV	Classificação Final
POC ≥ 80%≤	5	A
70% ≤ POC < 80%	4	B
60% ≤ POC < 70%	3	C
50% ≤ POC < 60%	2	D
POC < 50%	1	E

Para o cálculo do POC, utilizou-se o índice de Temperatura Neutra, a partir da metodologia de Conforto Adaptativo, que baseiam-se em resultados de trabalhos de campo que medem as condições ambientais e a resposta simultânea de sensação térmica em indivíduos envolvidos em suas tarefas habituais, com a menor intervenção possível dos pesquisadores (PEREIRA; ASSIS, 2009). Neste trabalho o POC foi calculado a partir da soma de todas as horas cuja temperatura operativa encontra-se em um intervalo de temperatura definido pela Equação 2, divididas pelo total de horas do ano.

$$\text{Temperatura Neutra} = (0{,}314 \times \text{Temperatura de Bulbo Seco}) + 17{,}6$$

Equação 1– Fórmula para o cálculo da temperatura neutra equivalente por hora.

$$\text{Temperatura Netura} - 7 \leq \text{Hora Ocupada em Conforto} \leq \text{Temperatura Neutra} + 2$$

Equação 2 - Intervalo determinado para cada hora ocupada em conforto.

$$POC = \left(\sum \text{Horas Ocupadas em Conforto} / 8760 \right) \times 100$$

Equação 3- Cálculo do Percentual de Horas Ocupadas em Conforto.

Na busca de adequar as tipologias às diferentes zonas climáticas brasileiras para possibilitar o melhor conforto térmico possível, realizou-se um estudo paramétrico de diferentes cenários com a variação dos sistemas construtivos da envoltória em busca da melhor condição de conforto térmico e da etiqueta A.

3.4. Resumos das propostas de adequações

As propostas de adequações foram resumidas por família de projeto, considerando o agrupamento de zonas bioclimáticas, representado na Tabela 3. O uso de Famílias de Zonas Bioclimáticas é uma forma de agrupamento das zonas bioclimáticas já preconizadas no RTQ e na NBR 15.220 (ABNT, 2003), a partir de características semelhantes. Sabe-se que a Norma 15.220 estabelece recomendações e diretrizes para os climas brasileiros a partir de uma análise de Habitação de Interesse Social. Como não há Norma específica para a análise do desempenho térmico e do conforto ambiental de edifícios escolares, serão assumidas as diretrizes da NBR 15.220 para este estudo.

Tabela 3 – Zonas bioclimáticas, famílias e características.

Cidade representativa	**Zonas Bioclimáticas**	**Famílias de Zonas Bioclimáticas**	**Características**
Curitiba	ZB1 e ZB2	Família A	Inverno marcante. Problema típico: desconforto por frio.
Florianópolis	ZB3	Família B	Maior percentual de horas de conforto
Brasília	ZB4, ZB5 e ZB6		
Cuiabá	ZB7	Família C	Verão marcante. Problema típico: desconforto por calor
Salvador	ZB8		

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1. Etiqueta parcial de Envoltória

Os resultados iniciais de etiqueta de envoltória (projeto) descritos na Tabela 4 foram extraídos do Webprescritivo do portal do PBE Edifica, após a inserção dos dados das três tipologias arquitetônicas nas 5 cidades representativas, relacionando-as a suas respectivas famílias de zonas bioclimáticas.

Tabela 4 – Resultados atuais de etiqueta prescritiva de envoltória

Família de Zonas Bioclimáticas	**Tipologia 1** (4 salas 1 pavimento)	**Tipologia 2** (9 salas 1 pavimento)	**Tipologia 3** (9 salas 2 pavimentos)
Família A	C	C	C
Família B	B	B	B
Família C	E	E	E

É possível verificar que com a configuração atual de projeto, os resultados foram bem distintos devido às variações do clima em cada zona bioclimática. O melhor resultado obtido foi de etiqueta B, apenas nas zonas bioclimáticas 3 a 6, que possuem clima mais ameno, com maior quantidade de horas de conforto durante o ano, segundo a NBR 15.220. A etiqueta C, de desempenho energético regular, foi obtida em zonas com maior desconforto por frio e as piores etiquetas foram nas zonas 7 e 8, de climas mais extremos. Nota-se, portanto, que as zonas de maior desconforto por calor são as mais críticas, com pior desempenho em relação à eficiência energética.

Devido aos resultados dos cálculos, foram propostas pequenas reduções de transmitâncias térmicas de parede (U_{PAR} = 1,9 w/m².K) e cobertura (U_{COB} = 0,83 w/m².K) para as zonas 1 a 3 e maiores e grandes reduções desses valores (U_{PAR} = 1,0 w/m².K e U_{COB} = 0,7 w/m².K) para as zonas 4 a 8. A Tabela 5 mostra que a etiqueta A de envoltória foi alcançada em todas as tipologias arquitetônicas nas zonas bioclimáticas 1 a 6, e etiqueta B das tipologias nas zonas bioclimáticas 7 e 8.

Tabela 5 – Resultados de etiqueta prescritiva de envoltória após propostas de adequações

Família de Zonas Bioclimáticas	**Tipologia 1** (4 salas 1 pavimento)	**Tipologia 2** (9 salas 1 pavimento)	**Tipologia 3** (9 salas 2 pavimentos)
Família A	A	A	A
Família B	A	A	A
ZB8	B	B	B

4.2. Percentual de Horas Ocupadas em Conforto

Os resultados do POC para as diferentes zonas climáticas estão apresentados na Tabela 6. A partir do cenário inicial foram avaliadas possibilidades de adequação do projeto no intuito de obter valores cada vez maiores de POC. As colunas de descrição e caracterização indicam as adequações adotadas e seus respectivos dados de entrada no modelo de simulação. As cores representam o tipo de etiqueta equivalente: vermelho etiqueta E, laranja etiqueta D, amarelo etiqueta C, verde claro etiqueta B e verde escuro etiqueta A.

Tabela 6 – Resultados do POC para as diferentes zonas bioclimáticas.

Cenários	**Descrição**	**Caracterização**	**Família A**	**Família B**		**Família C**	
			ZB1 e ZB2	ZB3	ZB4	ZB8	ZB7
Cenário 0	Projeto Original	UPAR = 2,6 w/m².K UCOB = 1,00 w/m².K FS = 0,87 αPAR = 0,5	90	84	77	31	29
Cenário 1	Redução do Fator Solar do Vidro	UPAR = 2,6 w/m².K UCOB = 1,00 w/m².K FS = 0,69 αPAR = 0,5	90	85	78	31	29
Cenário 2	Inserção de isolamento interno (MDF de 2 cm, distante 3 cm da parede)	UPAR = 1,45 w/m².K UCOB = 1,00 w/m².K FS = 0,69 αPAR = 0,5	87	82	72	30	28
Cenário 3	Envoltória clara; Redução do Fator Solar do Vidro	UPAR = 1,45 w/m².K UCOB = 1,00 w/m².K FS = 0,43 αPAR = 0,3	92	89	84	42	36
Cenário 4	Envoltória clara; Redução do Fator Solar do Vidro; Revestimento interno em MDF	UPAR = 1,45 w/m².K UCOB = 1,00 w/m².K FS = 0,43 αPAR = 0,3	93	91	88	45	38
Cenário 5	Inserção de venezianas para ventilação de cobertura	UPAR = 1,45 w/m².K UCOB = 1,00 w/m².K FS = 0,43 αPAR = 0,3 Cobertura ventilada Chapa perfurada 100%	-	-	-	67	60
Cenário 6	Inserção de brises horizontais e cobertura ventilada	UPAR = 1,45 w/m².K UCOB = 0,63 w/m².K FS = 0,43 αPAR = 0,3	-	-	-	74	64
Cenário 7	Aproximação da chapa perfurada às aberturas, distante 30cm	UPAR = 1,45 w/m².K UCOB = 0,69 w/m².K FS = 0,43 αPAR = 0,5 w/m².K	92	88	83	-	-
Cenário 8	Cobertura ventilada (ventilação mecânica)	UPAR = 1,45 w/m².K UCOB = 0,63 w/m².K FS = 0,49 αPAR = 0,5 w/m².K	-	-	-	89	78

Os resultados mostram que o cenário 0, relativo ao projeto original, obtém etiqueta parcial A somente para as zonas 1 a 3, enquanto que nas zonas 7 e 8, etiqueta parcial E. A utilização de envoltória com menor absortância e com fator solar menor (cenário 3) possibilita melhoria em todas as zonas climáticas, sendo etiqueta parcial A para as zonas 1 a 4 e ainda etiqueta parcial E para as zonas 7 e 8. Somente a partir do cenário 5 que há uma melhoria de etiqueta nas zonas mais críticas, 7 e 8. Com a colocação de venezianas para ventilação da cobertura, as zonas 7 e 8 conseguem obter etiquetas C.

Contudo é somente com uma combinação de várias estratégias, como a colocação de elementos de proteção solar, como os brises e as placas perfuradas, paredes com menor absortância, vidros com menor fator solar, menor transmitância das paredes e ventilação mecânica da cobertura que se obtém etiqueta A para zona 8 e etiqueta B para zona 7.

Após os resultados finais de etiqueta de envoltória das tipologias arquitetônicas, as propostas de adequações foram elencadas por família de projeto, descritas nas Tabelas 7, 8 e 9. A partir da análise do POC, recomendam-se diretrizes de projeto para a maximização do conforto térmico e possibilitar etiqueta A.

Essas recomendações se distinguem em 3 categorias: implantação, características dos elementos de envoltória e aberturas e sombreamento. Aconselha-se orientar o bloco de salas de aula (bloco 5) no sentido norte-sul para todas as zonas climáticas brasileiras. Entretanto, na família A (zonas 1 e 2) a orientação no outro sentido (leste-oeste) também pode ser empregada sem prejuízo ao conforto térmico, conforme Tabela 7.

Tabela 7 – Resumo de diretrizes de Implantação do Bloco de Salas de Aula

Número da Diretriz	**Categoria**	**Detalhamento**	**Família A** (ZB 1 e ZB 2)	**Família B** (ZB 3 a ZB 6)	**Família C** (ZB 7 e ZB 8)
1	Implantação	Eixo preferencial de implantação dos Blocos de Sala de Aula	Leste-Oeste ou Norte-Sul	Norte-Sul	Norte-Sul

Recomenda-se o emprego de transmitância de parede de 1,45 W/m²K para todas as zonas climáticas brasileiras. Na família A (zonas 1 e 2) propõe-se a utilização de revestimento interno em MDF em paredes especificas. Nesta mesma família de zonas climáticas indica-se o emprego de transmitância da cobertura de 0,50 W/m²K, e 1,00 W/m²K nas demais zonas. Para isso, podem ser utilizadas telhas sanduiche com isolamento termo-acústico de 3 cm para a família A e de 5 cm para as outras famílias, segundo a Tabela 8.

Tabela 8 – Resumo de diretrizes das características termofísicas dos elementos de envoltória

Número da Diretriz	**Categoria**	**Detalhamento**	**Família A** (ZB 1 e ZB 2)	**Família B** (ZB 3 a ZB 6)	**Família C** (ZB 7 e ZB 8)
2	Edifício	Transmitância térmica das paredes	UPAR = 1,45 w/m².K	UPAR = 1,45 w/m².K	UPAR = 1,45 w/m².K
3	Edifício	Revestimentos internos	Madeira (MDF) em algumas paredes	Projeto Padrão	Projeto Padrão
4	Cobertura	Transmitância térmica da cobertura	UCOB = 0,5 w/m².K	UCOB = 1,0 w/m².K	UCOB = 1,0 w/m².K
5	Cobertura	Tipo de telha utilizada na cobertura da escola	Telha tipo sanduíche com isolamento termoacústico de 3cm	Telha tipo sanduíche com isolamento termoacústico de 5cm	Telha tipo sanduíche com isolamento termoacústico de 5cm

Quanto às aberturas, aconselha-se o uso de fator solar inferior a 0,69 para as famílias A e B, enquanto que para a família C indica-se o emprego de vidros com o fator solar inferior a 0,43, como mostra a Tabela 9. Na família C, também se especifica o uso de ventilação na cobertura.

Quanto aos elementos de sombreamento, recomenda-se o uso de brises verticais de 80 cm de profundidade para as zonas climáticas das famílias B e C, enquanto que à família A, sugere-se o emprego de brises verticais de 30 cm de profundidade. Quanto ao uso da chapa perfurada, indica-se para família A uma membrana com taxa de opacidade de 40% e que ocupe 35% da área de abertura. Para família B, mantem-se a sobreposição de 35% da área de abertura, mas utiliza-se uma taxa de opacidade de 80%. Já para a família C, cobre-se 100% das aberturas com a membrana de placas perfuradas com uma taxa de opacidade de 60%.

Tabela 9 – Resumo de diretrizes quanto às aberturas e elementos de sombreamento

Número da Diretriz	**Categoria**	**Detalhamento**	**Família A** (ZB 1 e ZB 2)	**Família B** (ZB 3 a ZB 6)	**Família C** (ZB 7 e ZB 8)
6	Aberturas	Fator Solar do vidro utilizado nas esquadrias	0,69 ou menor	0,69 ou menor	0,43 ou menor
7	Ventilação	Estratégia de Forro Ventilado para cidades muito quentes	Projeto Padrão	Projeto Padrão	Grelha de ventilação na cobertura
8	Brises	Tamanho do brise vertical do bloco de Salas de Aula	30 cm	80 cm	80 cm
9	Sombreamento	Uso de membrana de sombreamento (chapa perfurada) nas janelas das salas de aula	35% da área de abertura; Taxa de opacidade 40%	35% da área de abertura; Taxa de opacidade 80%	100% da área de abertura; Taxa de opacidade 60%

5. CONCLUSÕES

Após a avaliação dos resultados, nota-se a relevância de avaliar o desempenho energético dos projetos de unidades públicas de ensino desde etapa de projeto, para garantir a etiqueta A do PBE Edifica, assim como determinado na IN 02/2014.

O projeto original não possibilitava a obtenção das etiquetas A em nenhuma das zonas bioclimáticas, sendo B a melhor etiqueta. As tipologias arquitetônicas propostas pelo FNDE aplicadas em zonas bioclimáticas 3 a 6, de temperaturas mais amenas, foram as que permitiram melhor desempenho energético. As zonas de clima extremo tiveram desempenho inferior, com etiqueta C nas zonas 1 e 2, de maior desconforto por frio, e etiqueta E nas zonas 7 e 8, de maior desconforto por calor.

Devido às diretrizes do MEC de unidade de ensino replicável e de baixo custo, a alteração apenas dos dados de transmitância térmica das tipologias arquitetônicas foi suficiente para viabilizar o alcance da etiqueta A em 6 das 8 zonas bioclimáticas. Ressalta-se, no entanto, que o atingimento à Etiqueta A ou B da envoltória, facilmente obtido pelo método prescritivo não garantem adequado conforto térmico ao ambiente escolar em questão. Neste sentido, as recomendações listadas na Tabela 9 abaixo visam garantir, além de eficiência energética, adequado conforto térmico ao interior do ambiente escolar, o que significa atingir valores de POC superiores à 80%.

Conclui-se que as famílias A e B têm potencial de obter POCs superiores a 80%, portanto, alcançam etiqueta A sem grandes intervenções. As recomendações para o aumento do POC são exclusivamente para a família C, ou seja, para as zonas bioclimáticas 7 e 8. A Tabela 10 apresenta recomendações para o modelo original FNDE 5 e 9 salas de aula para aumento do conforto térmico para as três famílias, que garante o Equivalente numérico de Ventilação Natural (Etiqueta Parcial de Condicionamento de Ar).

Tabela 10 – Recomendações gerais para melhoria do conforto térmico

Zonas Bioclimáticas	**Famílias de Zonas Bioclimáticas**	**Características**
ZB1 e ZB2	Família A	• Reduzir transmitância de paredes e cobertura; • Não requer ângulos de sombreamento nas aberturas; • Isolamento interno de paredes (revestimento em MDF).
ZB3, ZB4, ZB5 e ZB6	Família B	• Reduzir transmitância da cobertura (Telha termoacústica com espessura maior que 3cm); • Requer ângulos de sombreamento nas aberturas; • Fator solar inferior a 0,69.
ZB7 e ZB8	Família C	• Cobertura ventilada (Aumento da câmara de ar e inserção de venezianas); • Requer ângulos de sombreamento nas aberturas; • Fator solar inferior a 0,69; • Absortância máxima de 30%.

Quanto às etiquetas gerais as propostas apresentadas mostram-se adequadas à obtenção da Etiqueta Geral Nível A, com exceção, das zonas climáticas 7 e 8, que obtiveram Etiqueta B. Neste caso, mostra se indispensável utilizar o recurso de bonificação para melhoria da menção e obtenção da Etiqueta A. Sobre o formato das edificações, as três tipologias arquitetônicas tiveram desempenho de eficiência energética similar entre si, portanto, podem ser aplicadas em todas as zonas.

Apesar dos resultados positivos e do alcance dos objetivos propostos, considera-se necessário calcular a etiqueta de cada projeto específico após a escolha de implantação, devido às variações do norte e da insolação nas fachadas, que pode alterar os resultados finais obtidos neste artigo.

Além disso, registra-se que para além da etiqueta de eficiência energética, a busca pelo conforto térmico dos ambientes escolares por meio da adequação do projeto padrão representa uma quebra de paradigma da lógica da padronização para uma aproximação à lógica bioclimática, em que a adequada leitura das características climáticas de um lugar conduz as soluções projetuais do edifício.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.220: Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2003.

BEZERRA, Maria do Carmo de Lima; CHOAS, Mona Lisa Lobo de Souza. Características do espaço arquitetônico facilitadoras do ensino e aprendizagem. **Revista Internacional Interdisciplinar Interthesis**, v. 13, n. 2, p.58-76, 2016.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. Parâmetros básicos de infra-estrutura para instituições de educação infantil. Brasília : MEC, SEB, 2006. 45 p. : il.

BRASIL, Paula de Castro; SILVA, Juliana Christiany. Impactos da arquitetura escolar na qualidade do ensino brasileiro. **Conhecimento & Diversidade**, v. 10, n. 21, p.188-198, 2018.

DELIBERADOR, Marcella Savioli; KOWALTOWSKI, Doris C.C.K.. Os elementos de conforto o processo de projeto escolar no estado de São Paulo. Apresentado e publicado nos anais do XI ENCAC 2011, **Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído** e **VII ELACAC Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído**, Búzios, 2011, artigo 2 tópico 7, p. 1-10.

ELETROBRAS; INMETRO; LaBEEE; PROCEL. Manual de Aplicação dos Requisitos Técnicos da Qualidade – RTQ-C. Brasil: 2010.

FDE – FUNDAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO. Arquitetura escolar paulista - estruturas pré-fabricadas, São Paulo, **Diretoria de obras e serviços**, 2006.

FNDE – FUNDO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO. Manual para Adequação de Prédios Escolares. 5ª Ed./Elaboração Carlos, Alberto Araújo Guimarães, Cláudia Maria Videres Trajano, Erinaldo Vitório, Rodolfo Oliveira Costa, Willamy Mamede da Silva Dias. Brasília: **Fundescola/DIPRO/FNDE/MEC**, 2005. 50 p.

_____. **Manual de Orientações Técnicas: Elaboração de Projetos de Edificações Escolares - Ensino Fundamental**. v.3, 192 p., 2017. Disponível em: <https://www.fnde.gov.br/programas/proinfancia/areas-para-gestores/manuais>. Acesso em: 06 abr. 2019.

_____. **Orientação para elaboração de projetos de construção de centros de educação infantil**. Versão Preliminar. Cartilha Proinfancia. Brasília, p.52-55, 2006.

_____. **Programa de Acções Articuladas – PAR**. Disponível em: < https://www.fnde.gov.br/index.php/programas/par>. Acesso em: 06 abr. 2019.

GRÜNBERG, Paula Regina Mendes, MEDEIROS, Marcelo Henrique Farias de, TAVARES, Sergio Fernando. Certificação Ambiental de Habitações: Comparação entre LEED for Homes, Processo AQUA e Selo Casa Azul. **Ambiente & Sociedade** 2014, XVII (Abril-Junio). Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=31731560013>. Acesso em: 06 abr. 2019.

IN 02/2014 – Instrução Normativa Nº 02 de 04 de junho de 2014. Dispõe sobre regras para a aquisição ou locação de máquinas e aparelhos consumidores de energia pela Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional, e uso da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) nos projetos e respectivas edificações públicas federais novas ou que recebam retrofit.

INMETRO, 2014. **Regulamento Técnico do Nível de Eficiência Energética**. Disponível em: <http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/Port372-2010_RTQ_Def_Edificacoes-C_rev01.pdf>

JÚNIOR, João Fernandes; SOUZA, Roberta Vieira Gonçalves. Aplicação de processo de etiquetagem a edificação escolar padrão do estado de minas gerais. **XIII Encontro Nacional e Ix Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído**, São Paulo, v. 1, n. 11, p.1-10, out. 2015.

KITA, Monica Fischer Nunes. Análise da contribuição das certificações ambientais aos desafios da Agenda 2030. **Revista Internacional de Ciências**, v. 8, n. 1, p.27-46, 21 2018. Universidade de Estado do Rio de Janeiro. http://dx.doi.org/10.12957/ric.2018.30754.

MME – MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Cartilha: O Que Fazer Para Tornar Mais Eficiente O Uso De Energia Elétrica Em Prédios Públicos**, 2013. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/cartilha+ ENERGIA+op1.pdf>. Acesso em: 05 out. 2017.

PBEEDIFICA. **Manual para o Entendimento da Etiquetagem de Edificações pelo Gestor Público**. v.1, 120 p., 2014. Disponível em: <http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/Manual_Gestor_Publico_20140613_1.pdf.> Acesso em: 06 abr. 2019.

PEREIRA, Iraci Miranda; ASSIS, Eleonora Sad de. Avaliação de modelos de índices adaptativos para uso no projeto arquitetônico bioclimático. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n.1, p. 31-51, 2010.

VELOSO, Ana Carolina O. et al. Energy efficiency labeling: Study about the influence of schedule definitions. **Journal Of Renewable & Sustainable Energy**, v. 10, n. 3, 2018.