



XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

MODELOS DE REFERÊNCIA DE EDIFICAÇÕES EDUCACIONAIS: DEFINIÇÃO DE TIPOLOGIAS E DETERMINAÇÃO DO DESEMPENHO ENERGÉTICO¹

RUPP, Ricardo F. (1); VIEIRA, Thamirys L. (2); FONSECA, Raphaela W. (3); BECK, Elisa O. (4); LAMBERTS, Roberto (5)

(1) UFSC, e-mail: ricardo.cb3@gmail.com; (2) UFSC, e-mail: thamirys-mi@hotmail.com;
(3) UFSC, e-mail: raphawf@gmail.com; (4) UFSC, e-mail: elisabeck@gmail.com; (5)
UFSC, e-mail: roberto.lamberts@ufsc.br

RESUMO

No processo de simulação computacional de desempenho energético de edificações, um dos problemas recorrentes é a definição do modelo de edifício, o qual deve ser representativo da tipologia arquitetônica alvo de estudo. Este trabalho busca contribuir com a definição de modelos de referência de edificações educacionais. Os modelos foram definidos embasados em levantamentos de informações das edificações em base de dados de prefeituras e outros trabalhos, na base de dados de edifícios etiquetados pelo Inmetro por meio do RTQ-C e em pesquisas na internet. Três modelos de edificações educacionais foram definidos: Educação Infantil (área total=500m², um pavimento), Ensino Fundamental/Médio (área total=2500m², dois pavimentos) e Ensino Superior (área total=7000m², quatro pavimentos). A influência do clima foi estudada por meio da localização dos modelos nas oito zonas bioclimáticas brasileiras e as informações foram simuladas segundo o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), que especifica requisitos para a avaliação do nível de eficiência energética de edificações comerciais, classificando-as entre A (mais eficiente) e E (menos eficiente). Os consumos de energia dos modelos foram determinados por meio do simulador S3E (Simulador de Eficiência Energética de Edificações) e apresentados neste documento.

Palavras-chave: Consumo de energia. Eficiência energética. Edificações educacionais.

ABSTRACT

In the process of computer simulation of energy performance of buildings, one of the recurring problems is the definition of the building model, which must be representative of the architectural typology (aim of study). This work seeks to contribute to the definition of reference models of educational buildings. The models were defined grounded in the building information surveys in city halls database and other work in buildings database labeled by Inmetro through RTQ-C and internet searches. Three models of educational buildings were defined: Early Childhood Education (total area=500m², one floor), Elementary/Secondary (total area=2500m², two floors) and Higher Education (total area=7000m², four floors). The influence of climate was studied by placing the models in the eight Brazilian bioclimatic zones and the data were simulated according to the Technical Regulation on the Quality Level of Energy Efficiency of Commercial, Services and Public Buildings (RTQ-C), which specifies requirements for assessing the level of energy efficiency of

¹ RUPP, Ricardo F. et al. Modelos de referência de edificações educacionais: definição de tipologias e determinação do desempenho energético. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

commercial buildings, ranking them from A (most efficient) and E (less efficient). The energy consumption of the models were determined through S3E simulator (Energy Efficiency Simulator Building) and presented herein.

Keywords: Energy consumption. Energy efficiency. Educational buildings.

1 INTRODUÇÃO

As edificações possuem um papel significativo no aumento do consumo de energia. De acordo com dados apresentados pela *International Energy Agency* (2010), considerando-se os setores residenciais, comerciais e de serviços públicos, o setor das edificações representam cerca de 52% do consumo total de energia elétrica. No Brasil, o consumo energético de edificações corresponde a 50% da demanda (EPE, 2015).

Wang, Yan e Xiao (2012), reiteram que o setor das edificações é o maior consumidor de energia, sendo que grande parte desse gasto energético tem origem em falhas na concepção das edificações em suas diversas etapas, desde o projeto, a construção e finalmente durante a fase de operação. Desse modo, regulamentos ou medidas visando uma maior eficiência energética das edificações apresentam-se como uma importante ferramenta no estabelecimento de padrões baseados em seu consumo energético.

O Inmetro, através do PROCEL-Edifica, determina o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C) como ferramenta para a avaliação energética, especificando requisitos para categorias que variam de A (mais eficiente) a E (menos eficiente) (BRASIL, 2010, 2012, 2013, 2014).

Sekki, Airaksinen e Saari (2015) apontam que o consumo energético em edificações educacionais costuma ser elevado, tendo impacto significativo sobre os gastos com energia por parte das instituições. Destacam como as decisões tomadas durante a fase de projeto e de construção afetam o desempenho energético das edificações educacionais quando comparadas às edificações similares do estoque construído. Os dados utilizados pelos autores foram obtidos através de auditorias e comparados com dados encontrados na literatura.

Tendo em vista conhecer os parâmetros atuais de consumo de energia das edificações educacionais existentes no Brasil e visando estabelecer padrões mínimos para otimizar os gastos com energia, foram desenvolvidos modelos de edificações educacionais. Estes modelos foram elaborados a partir de pesquisas em bases de dados e consultas à internet.

Após a conclusão dos modelos, foi possível realizar a simulação dos mesmos e a análise de seus consumos. Os resultados obtidos possibilitam futuras projeções de consumo, adequando-se as classificações de desempenho energético a futuras medidas de economia.

2 OBJETIVO

Este trabalho busca contribuir com a definição de modelos de referência de edificações educacionais para simulação termoenergética. Também visa determinar indicadores mínimos de eficiência energética (consumo de energia) de tais modelos.

3 MÉTODO

O método adotado neste estudo consistiu em determinar os parâmetros térmicos e geométricos de edificações educacionais no âmbito nacional. Esses parâmetros foram obtidos a partir de dados previamente apurados.

Para sua melhor caracterização, as edificações educacionais foram desmembradas em tipologias cuja a diferenciação das instituições de ensino foi obtida por sua finalidade, ou seja, pelo perfil da etapa de ensino. Essas tipologias foram especificadas a partir dos seus parâmetros térmicos e geométricos, suscitando, desta forma, os modelos de referência das edificações de ensino.

No último estágio, houve a determinação dos consumos dos modelos de referência. Estes foram obtidos a partir de simulações computacionais efetuadas numa ferramenta de simulação online chamada S3E.

A seguir serão detalhadas as etapas dos processos anteriormente citados até a etapa do consumo.

3.1 Levantamento de dados de edificações educacionais

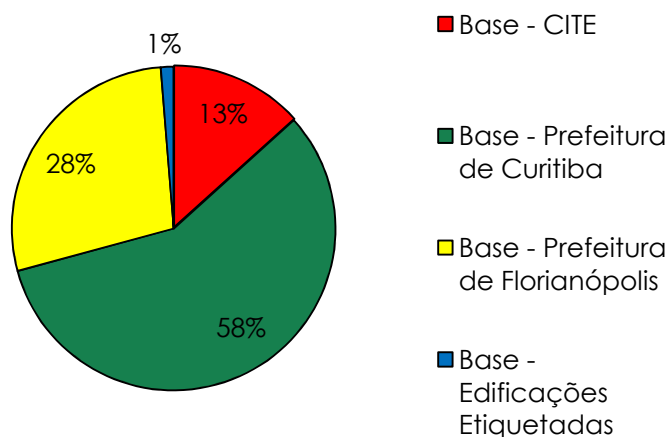
As edificações educacionais têm variantes quanto a geometria e aos métodos construtivos, sendo assim, não há um único modelo de referência previamente definido para caracteriza-las. Desta forma, para a obtenção de características que abranjam de modo generalizado essa tipologia, foram realizadas análises em bases de dados disponibilizadas ao CB3E (Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações).

Foram utilizadas as seguintes bases de dados neste estudo:

- Base das edificações etiquetadas fornecida pelo Inmetro (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia), a qual possuía, no total, 61 edificações, sendo 9 delas de escolas localizadas em duas Zonas Bioclimáticas Brasileiras (Zonas 2 e 3);
- Base da prefeitura de Florianópolis (195 edificações escolares – ZB3);
- Base da prefeitura de Curitiba (401 edificações escolares – ZB1);
- Base CITE (Classificador Inicial de Tipologias de Edificações) (CARLO; AMORIM, 2013), onde se encontram dados de 93 edificações escolares localizadas em Florianópolis (13 edificações - ZB3), Recife (6 edificações - ZB8), Belo Horizonte (59 edificações - ZB3) e São Paulo (15 edificações - ZB3).

A distribuição dos dados das quatro bases utilizadas está ilustrada na Figura 1.

Figura 1 – Distribuição das bases de dados para as 698 edificações escolares consideradas neste estudo



As propriedades das edificações consideradas nesse estudo foram: área, número de pavimentos, ângulo de sombreamento horizontal (ASH), ângulo de sombreamento vertical (ASV), porcentagem de abertura de fachada (PAF), absorvância das paredes e da cobertura (α), transmitância das paredes e da cobertura (U), fator solar (FS), densidade de potência em iluminação (DPI) e coeficiente de desempenho (COP) do sistema de ar-condicionado.

Os dados pertinentes às bases citadas foram agrupados em categorias, seus valores foram dissociados em intervalos e a frequência dos mesmos foram contabilizadas.

3.2 Definição de modelos de edificações educacionais

Os modelos de referência foram obtidos a partir das informações retiradas dos bancos de dados. Os modelos foram definidos de modo a considerar as edificações de educação infantil, ensino fundamental, médio e superior. Para cada modelo de referência foram consideradas configurações: de baixa eficiência energética (Menos eficiente) e de alta eficiência energética (Mais eficiente).

Considerou-se que as edificações educacionais têm elementos construtivos semelhantes, desta forma, os critérios de seleção de algumas características construtivas (transmitância térmica de paredes e coberturas, pé-direito, forma, dentre outros) foram adotados como o valor mais frequente do levantamento de dados.

3.2.1 Tipologias arquitetônicas de ambientes escolares

As tipologias arquitetônicas dos ambientes de edifícios escolares englobaram as seguintes características:

- Forma

A distribuição de frequência para a forma das edificações escolares contou com apenas uma base de dados, a base CITE. No total utilizaram-se 93 edifícios educacionais para a análise da distribuição da forma.

- **Proporção Geométrica**

Nenhuma das bases que continham edificações escolares dispuseram da informação proporção geométrica. Por este motivo, a informação foi obtida por outra metodologia. Uma amostra de 18 edificações escolares foi extraída da base de dados da Prefeitura de Curitiba. A partir desta, pesquisou-se as edificações via satélite, utilizando o recurso *Google Maps*, e capturou-se imagens dos edifícios. Com o auxílio do programa *Photoshop* as proporções das dimensões das fotos foram medidas e estas foram adotadas para as edificações.

Para utilizar este recurso foi considerado que as proporções das fotos seriam as mesmas das edificações, ou seja, assumiu-se que não houve distorções nas imagens.

- **Percentual de Abertura da Fachada (PAF)**

O percentual de abertura da fachada (PAF) das edificações escolares estava presente em duas bases de dados: base das edificações etiquetadas e base CITE. No total utilizaram-se 115 edifícios escolares para a análise da distribuição do PAF.

- **Cor dos Vidros**

A cor dos vidros das edificações escolares, contou com uma base de dados: a base CITE. No total utilizaram-se 93 edifícios escolares para a análise da distribuição da cor dos vidros.

- **Ângulo Horizontal de Sombreamento (AHS)**

O ângulo horizontal de sombreamento (AHS) de edificações escolares contou com uma base de dados: a base das edificações etiquetadas. No total utilizaram-se 9 edifícios escolares para a análise do AHS.

- **Ângulo Vertical de Sombreamento (AVS)**

O ângulo vertical de sombreamento (AVS) de edificações escolares contou com uma base de dados: a base das edificações etiquetadas. No total utilizaram-se 9 edifícios escolares para a análise do AVS.

- **Número de Pavimentos**

O número de pavimentos das edificações escolares contou com todas as quatro bases de dados: a base das edificações, a base CITE, a base da Prefeitura de Curitiba e a base da Prefeitura de Florianópolis. No total utilizaram-se 659 edifícios educacionais para a análise da distribuição do número de pavimentos.

- **Área por pavimento**

A definição do número de pavimentos das edificações escolares contou com três bases de dados: a base das edificações etiquetadas, a base da Prefeitura de Curitiba e a base da Prefeitura de Florianópolis. No total utilizaram-se 549 edifícios educacionais para a análise da distribuição da área por pavimento.

3.2.2 Propriedades térmicas dos materiais

As propriedades térmicas dos materiais construtivos dos edifícios escolares englobaram as transmitâncias (W/m^2K) e absorptâncias térmicas da cobertura e das paredes, fator solar e capacidade térmica (J/m^2K).

Para a determinação da transmitância térmica da cobertura e paredes pressupôs-se que todas as edificações educacionais fossem compostas pela mesma tipologia construtiva.

Apesar da absorptância térmica da cobertura e das paredes de edificações escolares terem se mostrado presentes no levantamento de dados, os valores de absorptância térmica da cobertura e das paredes utilizados para os modelos de referências foram extraídos das opções do S3E (valor mínimo e valor intermediário para a cobertura e, valor mínimo e máximo para as paredes).

Informações sobre o fator solar do vidro somente foram obtidas da base de dados das edificações etiquetadas. No total a base dispunha de 7 valores desta propriedade de um total de 9 edifícios educacionais.

3.2.3 Ocupação e Sistemas de Iluminação e Condicionamento de Ar

A ocupação e os sistemas de iluminação artificial e condicionamento de ar englobaram a densidade de potência de iluminação (DPI - W/m^2), densidade de pessoas ($m^2/pessoa$) e o equivalente numérico do condicionamento de ar (EqNumCA), conforme o RTQ-C, o qual depende do Coeficiente de Desempenho (COP) do sistema de ar-condicionado.

Para a DPI e o COP das edificações escolares, adotou-se para as simulações os valores do RTQ-C relativos aos níveis "D" e "A".

Nenhuma das bases que continham edificações escolares dispuseram da informação sobre densidade de pessoas. Dessa forma, utilizou-se de princípios fotogramétricos para a obtenção das dimensões e, a partir destas, encontrar o valor das áreas. O número de indivíduos foi considerado equivalente ao número de carteiras presentes nas plantas baixas dos projetos arquitetônicos. Na posse dos dados encontrados nas etapas anteriores (área e quantidade de indivíduos), foram calculados a densidade de pessoas nos modelos de cada tipologia (educação infantil, ensino fundamental e médio e, ensino superior) de sala de aula.

3.3 Simulações no simulador S3E

Após a definição dos modelos de referência de edificações educacionais, os consumos de energia dos modelos foram determinados por meio do simulador S3E - Simulador de Eficiência Energética de Edificações (LABEEE, 2015), o qual utiliza o programa *EnergyPlus* como core de simulação. As oito zonas bioclimáticas brasileiras foram consideradas: ZB1 (Curitiba-PR), ZB2 (Santa Maria-RS), ZB3 (São Paulo-SP), ZB4 (Brasília-DF), ZB5 (Niterói-RJ), ZB6 (Campo Grande-MS), ZB7 (Cuiabá-MT) e ZB8 (Salvador-BA).

4 RESULTADOS

Os resultados deste trabalho contemplam os modelos de referência de edificações educacionais e seus respectivos consumos de energia.

4.1 Modelos de referência de edificações educacionais

Com embasamento teórico na ASHRAE 90.1 (2013) e no levantamento de dados chegou-se a decisão de estabelecer três tipologias de edificações educacionais: 1) Educação Infantil, com 1 pavimento; 2) Ensino Fundamental e Médio, com 2 pavimentos; 3) Ensino Superior, com 4 pavimentos.

A forma retangular mostrou-se mais recorrente nos gráficos de distribuição de frequência bem como a proporção de 1,4. Assim estas características foram atribuídas aos modelos de referência.

A tipologia de referência 1 – Educação Infantil, conta com um pavimento e 500 m² por pavimento e proporção geométrica de 26,46m X 18,90m. A tipologia de referência 2 – Ensino Fundamental e Médio, com dois pavimentos e 1250 m² por pavimento e proporção geométrica de 41,83m X 29,88m e a tipologia de referência 3 – Ensino Superior, com quatro pavimentos e 1750 m² por pavimento com uma proporção geométrica de 49,49m X 35,36m. Para todos os modelos foi adotado um pé direito de 3,5m (de piso a piso).

Com relação as aberturas, o percentual de abertura da fachada (PAF) foi adotado em 40%. A cor dos vidros mais comum foi a transparente. A maior concentração de dados das variáveis ângulo horizontal de sombreamento e ângulo vertical de sombreamento, apontou para a inexistência de elementos de proteção solar. Pelos valores adaptados do S3E e pelos valores máximos e mínimos extraídos da frequência de dados, ficaram estipulados para representar os modelos de referência: o fator solar mais eficiente foi definido como 0,29 e o menos eficiente foi estabelecida como 0,82.

A Tabela 1 apresenta o resumo das características simuladas no S3E para cada uma das oito cidades estudadas.

4.2 Consumo de energia dos modelos de referência

Os resultados obtidos a partir das simulações no S3E disponibilizaram dados do consumo de energia e a etiqueta equivalente segundo o RTQ-C.

A Tabela 2 apresenta os consumos totais de energia (ar-condicionado, iluminação artificial e equipamentos) para os três modelos de referência de edificações educacionais. Na Tabela 2 também é mostrada a etiqueta pelo RTQ-C e a porcentagem de economia de energia entre a configuração com baixa eficiência energética (Menos eficiente) e a configuração com alta eficiência (Mais eficiente).

Tabela 1 - Dados utilizados nas simulações no S3E

Menos Eficiente		Mais Eficiente	
Geometria			
Forma	Retangular		
Dimensões	1 – Educação Infantil (26,46m X 18,90m); 2- Ensino Fundamental e Médio (41,83m X 29,88m); 3 - Ensino Superior (49,49m X 35,36m).		
Pavimentos	1 – Educação Infantil (1 pavimento); 2 - Ensino Fundamental e Médio(2 pavimentos); 3 - Ensino Superior (4 pavimentos).		
Orientação Solar	0°		
Pé-direito (piso a piso)	3,5m		
Aberturas			
PAF - Percentual de abertura na fachada	40%		
PAZ - Percentual de abertura zenital	0%		
Componentes Construtivos			
Parede Externa	argamassa interna 2,5cm - bloco cerâmico 9x14x24 cm - argamassa externa 2,5 cm (U=2,46W/m²K)		
Cor da Parede	Intermediária - absorção 0,5	Clara - absorção 0,3	
Cobertura	laje maciça 10 cm - câmara de ar - telha fibrocimento (U=2,06W/m²K)		
Cor da Cobertura	Escura - absorção 0,8	Clara - absorção 0,3	
Janela	vidro simples incolor 6mm (FS=0,82)	vidro de alto desempenho laminado incolor 8 mm (FS=0,29)	
Piso entre Andares	Laje pré-moldada 12cm (concreto 4cm + lajota cerâmica 7cm + argamassa 1cm) sem telhamento (U=2,95 W/m²K)		
Piso Térreo	Concreto maciço (U=3,29 W/m²K)		
Parede Interna	Parede interna de baixa inércia térmica		
Iluminação e ganhos			
Densidade de Potência - iluminação (W/m²)	15,5	10,7	
Densidade de ocupação (m²/pessoa)	1,16		
Densidade de Potência - equipamentos (W/m²)	9,7		
Condicionamento de ar			
Refrigeração			
COP (W/W)	2,60	3,24	
Temperatura Setpoint (°C)	24		
Aquecimento			
COP (W/W)	2,60	3,24	
Temperatura Setpoint (°C)	18		

Tabela 2 – Consumo de energia dos modelos de referência de edificações educacionais

ZB	Modelo	Escola - Educação Infantil - 26,46m x 18,90m 1 pavimento			Escola - Ensino Fundamental - 41,83m X29,88m 2 pavimentos			Escola - Ensino Superior - 49,49m x 35,36m 4 pavimentos		
		Consumo Total (kWh/m²ano)	Economia (%)	Etiqueta	Consumo Total (kWh/m²ano)	Economia (%)	Etiqueta	Consumo Total (kWh/m²ano)	Economia (%)	Etiqueta
ZB1	Menos Eficiente	97,4	26,3%	E	96,4	30,0%	E	116,9	27,0%	E
	Mais Eficiente	71,8		B	67,5		A	85,3		A
ZB2	Menos Eficiente	113,0	26,2%	E	96,4	30,0%	E	133,6	27,5%	E
	Mais Eficiente	83,3		B	67,5		A	96,8		A
ZB3	Menos Eficiente	104,9	28,5%	E	107,3	30,8%	E	129,5	28,3%	E
	Mais Eficiente	75,0		A	74,2		A	92,8		A
ZB4	Menos Eficiente	95,9	17,4%	E	122,0	32,4%	E	145,1	28,7%	E
	Mais Eficiente	79,3		A	82,4		A	103,4		A
ZB5	Menos Eficiente	123,9	30,8%	E	131,9	31,6%	E	158,2	28,3%	E
	Mais Eficiente	85,7		A	90,3		A	113,4		A
ZB6	Menos Eficiente	140,8	30,4%	E	148,6	30,3%	E	173,5	27,5%	E
	Mais Eficiente	98,0		A	103,5		A	125,7		A
ZB7	Menos Eficiente	173,6	30,0%	E	184,1	29,3%	E	211,7	26,6%	D
	Mais Eficiente	121,5		A	130,1		A	155,3		A
ZB8	Menos Eficiente	173,3	30,9%	E	183,2	30,0%	E	211,1	27,2%	D
	Mais Eficiente	119,8		A	128,2		A	153,6		A

Para o modelo de Educação Infantil, os consumos totais de energia variaram entre 71,8 kWh/m².ano considerando a cidade de Curitiba (ZB1) e 173,6 kWh/m².ano considerando a cidade de Cuiabá (ZB7). Para o modelo de Ensino Fundamental/Médio, os consumos de energia variaram entre 67,5 kWh/m².ano considerando a cidade de Curitiba (ZB1) e 184,1 kWh/m².ano considerando a cidade de Cuiabá (ZB7). Para o modelo de Ensino Superior, os consumos de energia variaram entre 85,3 kWh/m².ano considerando a cidade de Curitiba (ZB1) e 211,7 kWh/m².ano considerando a cidade de Cuiabá (ZB7). A diferença de consumo entre as cidades pode ser atribuída não somente ao clima, mas à adequação das tipologias e características construtivas adotadas à estes climas.

O uso de aquecimento somente foi necessário nas cidades de Curitiba (ZB1) e Santa Maria (ZB2). Porém, os consumos em aquecimento representaram menos de 5% de energia com relação ao consumo total.

As diferenças entre os consumos de energia das configurações com baixa e alta eficiência energética foram em média de 27,6% (Educação Infantil), 30,6% (Ensino Fundamental/Médio) e de 27,7% (Ensino Superior). De modo geral e considerando o mesmo clima, os modelos de referência de edificações educacionais classificados com a etiqueta A pelo RTQ-C consomem em média 29% a menos de energia que os modelos com etiqueta E.

A maioria dos modelos Menos eficiente foram classificados com a etiqueta "E" por meio do RTQ-C e a maioria dos modelos Mais eficiente receberam a etiqueta "A". Os modelos Menos eficiente ficaram muito próximos do limite inferior da classificação "D". Este resultado já era esperado, pois foram adotados valores de eficiência dos sistemas de iluminação e ar-condicionado referentes as classificações "D" e "A" e outros parâmetros térmicos foram considerados com base no banco de dados das edificações etiquetadas.

Os consumos de energia dos modelos de referência com baixa eficiência (Menos eficiente) podem ser utilizados como indicadores mínimos de eficiência energética para as edificações educacionais.

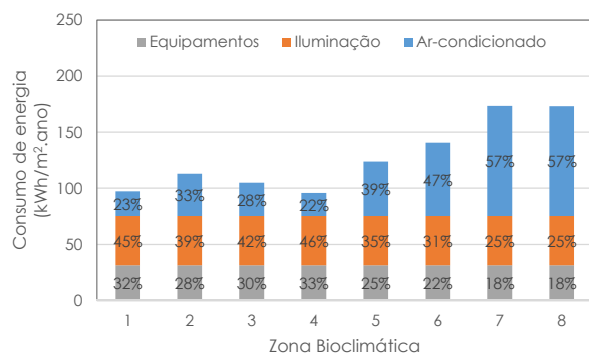
A Figura 2 mostra, os consumos de energia por uso final para os modelos de referência de Educação Infantil, Ensino Fundamental/Médio e Ensino Superior, para as configurações de baixa (Menos eficiente) e alta eficiência energética (Mais eficiente), em função das oito zonas bioclimáticas brasileiras.

Os consumos de energia aumentaram gradativamente entre a ZB1 e a ZB8. Entretanto, os maiores consumos foram atingidos para a cidade de Cuiabá (ZB7).

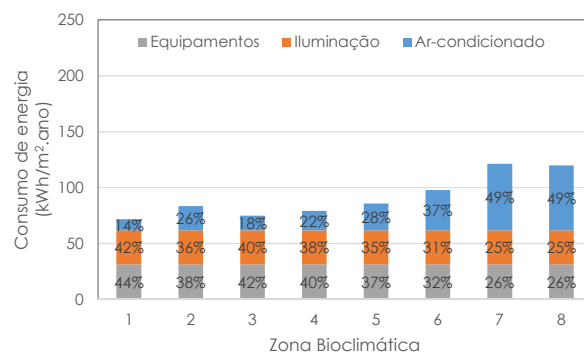
Os sistemas de ar-condicionado foram responsáveis por até 70% do consumo com relação ao total de energia consumida, no caso das zonas bioclimáticas 7 e 8 nas configurações com baixa eficiência energética.

Cada um dos seis gráficos apresentados na Figura 2, quando analisados separadamente, mostram que os consumos de energia em iluminação artificial e equipamentos são idênticos, sendo o consumo em sistema de ar-condicionado variável conforme a zona bioclimática. Assim, pode-se observar as variações percentuais que cada uso final exerce em cada configuração estudada. De maneira geral, por meio das melhorias realizadas na configuração com baixa eficiência energética, percebe-se que nas configurações com alta eficiência, os percentuais relativos a iluminação artificial permaneceram praticamente os mesmos, as parcelas de consumo em sistema de ar-condicionado diminuíram e as porcentagens do consumo total devido ao uso de equipamentos aumentaram.

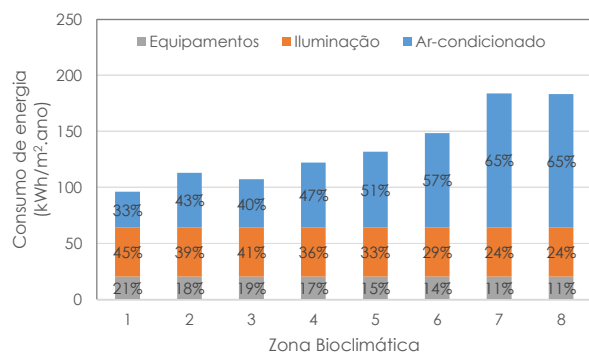
Figura 2 – Consumo de energia por uso final dos modelos de referência de Educação Infantil, Ensino Fundamental/Médio e Ensino Superior



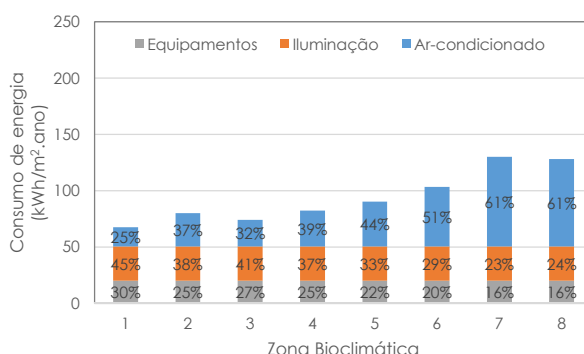
(a) Menos eficiente – Educação Infantil



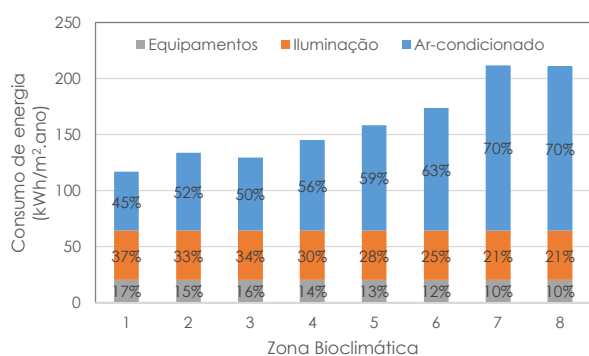
(b) Mais eficiente – Educação Infantil



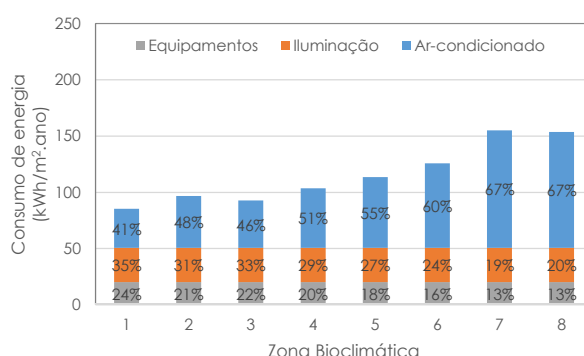
(c) Menos eficiente – Ensino Fundamental/Médio



(d) Mais eficiente – Ensino Fundamental/Médio



(e) Menos eficiente – Ensino Superior



(f) Mais eficiente – Ensino Superior

5 CONCLUSÕES

Neste trabalho, modelos de referência de edificações educacionais foram definidos para simulação termoeenergética e seus consumos de energia foram determinados. Os modelos de referência definidos neste trabalho, com configurações de baixa eficiência energética, podem ser utilizados como indicadores mínimos de eficiência energética para as edificações educacionais brasileiras. Porém, estudos futuros poderiam definir tipologias específicas para cada zona bioclimática, considerando um maior banco de dados, a fim de representar mais precisamente o estoque nacional construído.

Três modelos de referência foram definidos: 1) Educação Infantil, com um pavimento e área total de 500m²; 2) Ensino Fundamental e Médio, com dois pavimentos e área total de 2500m² e, 3) Ensino Superior, com quatro pavimentos e área total de 7000m². Tais modelos tiveram seus consumos de energia determinados em duas configurações: uma considerando parâmetros de baixa eficiência energética, porém, retratando a realidade das construções educativas brasileiras e outra considerando melhorias nos sistemas de iluminação e ar-condicionado, absorvância de paredes e cobertura e vidros.

A variação observada nos resultados de consumo da Figura 2 mostra que uma edificação com as mesmas características formais e construtivas tende a se comportar de maneira diferente quando submetida a diferentes zonas bioclimáticas. Apesar disso, as tipologias encontradas pouco variaram de acordo com o contexto climático considerado, mostrando que existe sub-aproveitamento do potencial de economia de energia mediante o uso de estratégias bioclimáticas para cada caso.

Os consumos totais de energia variaram entre 67,5 kWh/m².ano considerando a cidade de Curitiba (ZB1) e o modelo de Ensino Fundamental/Médio e, 211,7 kWh/m².ano considerando a cidade de Cuiabá (ZB7) e o modelo de Ensino Superior.

De modo geral, considerando o mesmo clima, um modelo de referência de edificação classificado com a etiqueta A pelo RTQ-C consome em média 29% a menos de energia que um modelo com etiqueta E.

Os resultados obtidos possibilitam futuras projeções de consumo, adequando-se as classificações de desempenho energético a futuras medidas de economia de energia.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à ELETROBRAS/PROCEL pelos recursos financeiros aplicados no financiamento do projeto.

REFERÊNCIAS

- ASHRAE (2013). **ASHRAE 90.1: Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings**. American Society of Heating, Refrigerating, and Air-conditioning engineers. Atlanta, GA, EUA.
- BRASIL. Ministério do desenvolvimento, indústria e comércio exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO. **Portaria nº 372**, de 17 de setembro de 2010. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos.
- _____. Ministério do desenvolvimento, indústria e comércio exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO. **Portaria Complementar nº 17**, de 16 de janeiro de 2012. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C).
- _____. Ministério do desenvolvimento, indústria e comércio exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO. **Portaria Complementar nº 299**, de 19 de junho de 2013. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C).
- _____. Ministério do desenvolvimento, indústria e comércio exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO. **Portaria Complementar nº 126**, de 18 de março de 2014. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C).
- CARLO, J.; AMORIM, A.C. **Caracterização de Tipologias de Edifícios Comerciais**. Universidade Federal de Viçosa. [S.l.], 2013.
- EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional 2015**. Empresa de Pesquisa Energética - Ministério de Minas e Energia. Brasília: ano base 2014. 2015, p.289.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Energy Statistics Manual**. IEA Publications, 2010.
- LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. Universidade Federal de Santa Catarina. **Simulador S3E** - Simulador de Eficiência Energética de Edificações. Disponível em: < [http:// www.s3e.ufsc.br](http://www.s3e.ufsc.br)>. Acesso em set. 2015.
- SEKKI, T.; AIRAKSINEN, M.; SAARI, A. Measured energy consumption of educational buildings in a Finnish city. **Energy and Buildings**, v. 87, p. 105–115, 2015.
- WANG, S.; YAN, C.; XIAO, F. Quantitative energy performance assessment methods for existing buildings. **Energy and Buildings**, v. 55, p. 873–888, 2012.