

THALITA DOS SANTOS MACIEL, FRANCIELI PETRI DE FREITAS, EDUARDO GRALA DA CUNHA E PAULO AFONSO RHEINGANTZ

Análise Termoenergética e do Nível de Conforto Térmico de Projetos-padrão de Unidades Proinfância

*Energy and Thermal Comfort Level Analysis of the Standard Projects of
Proinfância facilities*

Thalita dos Santos Maciel

Possui graduação em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal de Pelotas (2018) e atualmente é mestranda em Arquitetura pela mesma Universidade. Atuou durante dois anos como bolsista de iniciação científica pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) no Laboratório de Conforto e Eficiência Energética (LABCEE). É colaboradora nos grupos de pesquisa Tecnologia e Gestão do Ambiente Construído (PROGRAU/UFPEL) e Qualidade do Lugar e Paisagem (ProLUGAR/UFRJ). Possui experiência em Simulações Computacionais de Conforto e Eficiência Energética.

Holds an Architecture and Urbanism Bachelor's degree at the Federal University of Pelotas (2018) and is a current student at the master's program in Architecture at the same University. She worked for over two years as an Scholarship of Scientific Initiation at the Rio Grande do Sul Research Support Foundation (FAPERGS) at the Comfort and Energy Efficiency Laboratory (LABCEE). Currently collaborates in the research groups of Technology and Management of the Built Environment (PROGRAU/UFPEL) and Quality of Place and Landscapes (ProLUGAR/UFRJ). Experiencing in Computer Simulations of Comfort and Energy Efficiency.

thalita-maciel@hotmail.com

Francieli Petri de Freitas

Possui graduação em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal de Pelotas (2018); Foi voluntária na pesquisa Arquitetura Escolar para a Educação Infantil: abordagem transdisciplinar para a avaliação e a concepção de creches para a Prefeitura Municipal de Pelotas e Região sul do Rio Grande do Sul; Integrante do Laboratório de Conforto e Eficiência Energética e colaboradora dos Grupos de Pesquisa Eficiência Energética, Qualidade e produtividade na Arquitetura (PROGRAU/UFPEL); Possui experiência em Simulações Computacionais de Conforto e Eficiência Energética.

Holds an Architecture and Urbanism Bachelor's degree at the Federal University of Pelotas (2018). She worked a volunteer in the research School Architecture of Early Childhood Education: a transdisciplinary approach to the evaluation and design of day care centers for the Pelotas City Hall and the southern region of Rio Grande do Sul. Member of the Laboratory of Comfort and Energy Efficiency (LABCEE) and collaborator in the research groups of Technology and Management of the Built Environment (PROGRAU/UFPEL) and Quality of Place and Landscapes (ProLUGAR/UFRJ). Experiencing in Computer Simulations of Comfort and Energy Efficiency.

franciele_petri@outlook.com

Eduardo Grala da Cunha

Possui graduação em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal de Pelotas (1994), especialização em Engenharia de Produção pela UCPel (1995), mestrado em Arquitetura pela UFRGS (1999), doutorado em Arquitetura pela UFRGS (2005) e pós-doutorado (Universidade de Kassel, 2007/2008). Atualmente é professor Adjunto da UFPel e Pesquisador com Bolsa Produtividade CNPq.

Architect and Urban Planner at the Federal University of Pelotas - UFPel (1994), specialist in Production Engineering at the UFPel (1995), Master's degree in Architecture at the UFRGS (1999), Ph.D. in Architecture at the UFRGS (2005) and post-doctoral degree (University of Kassel, 2007/2008). Currently, works as an Associate Professor at the UFPel and researcher with a Fellow CNPq Productivity.

eduardo.grala@ufpel.edu.br

Paulo Afonso Rheingantz

Arquiteto, Doutor em Engenharia de Produção, Professor Colaborador Voluntário do Programa de Pós-graduação em Arquitetura (PROARQ) da Universidade Federal do Rio de Janeiro e do Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo (PROGRAU) da Universidade Federal de Pelotas/RS. Bolsista produtividade 1D/CNPq, Líder do grupo de pesquisa Lugares e Paisagens (ProLUgar)

Architect, Doctor of Production Engineering, Volunteer Collaborating Professor of the Graduate Program in Architecture (PROARQ) of the Federal University of Rio de Janeiro and the Graduate Program in Architecture and Urbanism (PROGRAU) of the Federal University of Pelotas / RS . 1D / CNPq Productivity Fellow, Places and Landscapes Research Group Leader (ProLUgar)

parheingantz@gmail.com

Resumo

Este artigo apresenta simulações do desempenho termoenergético e do nível de conforto térmico envolvendo duas unidades de Escola Municipal de Educação Infantil (EMEIs) com projetos-padrão Proinfância/FNDE a serem construídas no município de Pelotas/RS, situado na zona bioclimática 2. A pesquisa utilizou o programa Design Builder® (versão 4.7.0.027) associado com indicadores do nível de conforto térmico da ASHRAE 55 (2010), com o objetivo de: (1) avaliar o desempenho térmico e o nível de conforto térmico da edificação; (2) comparar o desempenho e o nível de conforto térmico das duas edificações projetos-padrão; e (3) propor um conjunto de adaptações e otimizações dos projetos com vistas a melhorar o desempenho e garantir maior conforto térmico dos futuros usuários. O artigo está estruturado em Introdução – contextualiza o problema, reconhece a influência da geografia, do clima local, da escolha dos materiais da envoltória e da forma no desempenho termoenergético de edificações adequadas para as atividades a que se destinam de modo a garantir o conforto térmico das crianças durante as atividades diárias com a aprendizagem. Método – a simulação contempla quatro etapas: definição dos objetos de estudo, configuração das EMEIs – projeto de arquitetura e características da envoltória; configuração do edifício ventilado naturalmente e climatizado artificialmente, iluminação, equipamentos, uso, ocupação e otimização das EMEIs; Análise de Resultados – casos base e otimizados; e conclusões – confirmam a utilidade da simulação computacional para avaliar e evidenciar as limitações de projetos-padrão em países com diversidade climática e cultural como o Brasil, reforçar a reflexão crítica sobre o desempenho durante a fase de concepção dos projetos e para propor um conjunto de recomendações para a melhoria do desempenho dos edifícios destinados à educação infantil na zona bioclimática 2.

Palavras-chave: EMEIs Proinfância. Desempenho Termoenergético. Conforto Térmico. Zona Bioclimática 2.

Abstract:

This article presents simulations of the thermoenergetic performance and the level of thermal comfort involving two units of Municipal School of Early Childhood Education (EMEIs) with Proinfância/FNDE standard projects to be built in the county of Pelotas/RS, located in bioclimatic zone 2. The research used the Design Builder® program (version 4.7.0.027) associated with ASHRAE 55 (2010) thermal comfort level indicators, with the objective of: (1) evaluate the thermal performance and the thermal comfort level of the building; (2) compare the performance and level of thermal comfort of the two standard project buildings; and (3) propose a set of adaptations and optimizations of the projects in order to improve performance and ensure greater thermal comfort to their future users. The article is structured in Introduction - contextualizes the problem, recognizes the influence of geography, the local climate, the choice of materials of the envelope and the form in the thermoenergetic performance of buildings suitable for the activities to which they are designed in order to guarantee thermal comfort of children during daily activities with learning; Method - the simulation contemplates four stages: definition of the objects of study, configuration of the EMEIs - architecture design and characteristics of the envelope, configuration of the building naturally ventilated and artificially heated, lighting, equipment, use, occupation and optimization of EMEIs; Results Analysis - base and optimized cases; and Conclusions - confirm the usefulness of computational simulation to assess and evidence the limitations of standard projects in countries with climate and cultural diversity such as Brazil, to reinforce critical reflection on performance during the project design phase, and to propose a set of recommendations for improving the early childhood education in the bioclimatic zone 2.

Keywords: EMEIs Proinfancia. Thermoenergetic performance. Thermal comfort. Bioclimatic zone 2.

Introdução

Até o ano de 1988, a educação infantil no Brasil era, basicamente, assistencialista, disponibilizando creches ou abrigos para as crianças pobres. Como consequência, a infraestrutura básica necessária à educação e acolhimento das crianças pequenas não era motivo de preocupação. A maior parte das creches e abrigos era precariamente adaptada em edificações existentes concebidas para outros usos. Com a promulgação da Constituição Federal do Brasil (1988), a educação infantil – envolvendo crianças de zero a seis anos – passou de uma simples caridade para um dever constitucional do Estado, sob responsabilidade dos municípios. Com essa transformação, a rede municipal passou a substituir a designação creche – estigmatizada como caridade – por Escola Municipal de Educação Infantil (EMEI).

Para a garantia do cumprimento dos preceitos constitucionais e das demandas de infraestrutura necessárias, a Coordenação Geral de Educação Infantil (COEDI/MEC) preparou documento preliminar contendo um conjunto de fundamentos e estratégias para a concepção das EMEIs (BRASIL 2004) que reconhece a existência de uma lacuna entre a reflexão teórica e o contexto real das EMEIs. Distribuído para as Secretarias Estaduais e Municipais de Educação o documento foi amplamente discutido em oito seminários regionais promovidos pela Secretaria de Educação Básica (SEB/MEC). Concluídos os seminários e recolhidas as contribuições, foi publicado novo documento de referência (BRASIL 2006) contendo um conjunto de parâmetros básicos para a concepção, construção, reforma e operação das EMEIs com vistas a: incorporar abordagens e procedimentos interdisciplinares e participativos alinhados com as propostas e práticas pedagógicas; reconhecer a diversidade geográfica, cultural social e técnica, bem como as necessidades, desejos e valores das comunidades a que se destinam – crianças, familiares, educadores e administração municipal; incorporar os fundamentos da edificação escolar sustentável e saudável.

Em 2007 o Governo Federal instituiu o Programa Nacional de Reestruturação e Aquisição de Equipamentos para a Rede Escolar Pública de Educação Infantil – Proinfância (BRASIL 2007), vinculado ao Plano de Aceleração do Crescimento (PAC2/2011), para prestar assistência técnica e financeira aos municípios brasileiros para a construção de novas EMEIs e também adquirir equipamentos considerados indispensáveis para a melhoria da qualidade da educação infantil da rede pública. Além de desconsiderar os parâmetros propostos pela SEB/MEC (BRASIL 2006), o Governo Federal determinou que o Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE) desenvolvesse dois projetos-padrão para todas as EMEIs a serem construídas com recursos do Proinfância. Com vistas a atender à crescente demanda por EMEIs o FNDE anunciou que a concepção dos projetos-padrão resultou de uma revisão das reconhecidas inconsistências dos projetos e manuais técnicos apontadas pelo monitoramento do programa com base na Norma NBR 15575/2013 quanto à segurança, habitabilidade e sustentabilidade. Entre 2007 e 2014 Governo Federal investiu recursos via Programa Proinfância para a construção de 2.543 novas EMEIs e firmou convênios com as Prefeituras que aderiram ao programa. Ao ser incorporado ao Plano de Aceleração do Crescimento (PAC2/2011), a meta passou a incluir a construção de outras 6.185 novas EMEIs, além dos já mencionados recursos para a compra de móveis e equipamentos para as EMEIs em fase final de construção.

Em função da precariedade das Escolas Municipais de Educação Infantil (EMEIs) – que motivou a Promotoria da Justiça da Infância e da Juventude na abertura de um processo para sanar os problemas de infraestrutura existentes – a Prefeitura Municipal de Pelotas/RS aderiu ao Programa Proinfância (MEC) para a construção de catorze novas

EMEIs com projeto-padrão do FNDE e contratou projetos de reforma e ampliação das vinte e sete EMEIs existentes.

Se, por um lado, a adoção de projetos como selos ou carimbos que possam ser implantados em qualquer contexto brasileiro busca otimizar custos e tempo na concepção do projeto e na construção das EMEIs, por outro lado, desconsidera questões importantes como as dimensões continentais, a diversidade racial, cultural e climática do país. Com isso, contribui para disseminar problemas decorrentes da não consideração das demandas específicas de cada comunidade e sítio onde deveriam ser implantadas. Assim a construção das EMEIs com projetos-padrão implica em fazer uma série de ajustes, indispensáveis para a melhoria do seu desempenho ambiental.

Nesse contexto, visando a melhoria do desempenho termoenergético e do nível de conforto térmico dos projetos-padrão Proinfância a serem construídas no município de Pelotas/RS, zona bioclimática 2, neste trabalho recorreremos à simulação computacional utilizando o software Design Builder® (versão 4.7.0.027). O artigo descreve o processo de avaliação e compara o nível de conforto térmico de duas EMEIs com projeto padrão FNDE tipo 1 e tipo 2 (descritos na seção "projeto de arquitetura") com sistema construtivo convencional - estrutura em concreto armado e vedações em alvenaria com tijolo furado cerâmico.

Como indicador para o nível de conforto térmico dos ambientes foi utilizado o Conforto Adaptativo da ASHRAE 55 (ASHRAE 2010).

Método

Ao utilizar simulação computacional como técnica de pesquisa, este trabalho foi desenvolvido em quatro etapas: definição dos objetos de estudo, configuração das EMEIs, otimização das EMEIs e análise de resultados (Figura 1). Na simulação computacional da avaliação e da comparação do nível de conforto térmico das EMEIs, foi utilizado o software Design Builder (versão 4.7.0.027). Esse software tem como motor de simulação o software Energy Plus, ou seja, é uma interface gráfica que facilita tanto a modelagem e entrada de dados de configuração, como também a análise de resultados.

Definição dos objetos de estudo

Foram escolhidos dois projetos-padrão de EMEIs a serem construídas na cidade de Pelotas/RS, zona bioclimática 2.

A secretaria Municipal de Educação e Desportos (SMED), da Prefeitura Municipal de Pelotas, é responsável pela escolha dos locais de implantação das escolas, assim, as utilizadas para o estudo estão entre as que foram licitadas para construção na cidade. A EMEI Tipo 1 escolhida foi a Eldorado [2] e Tipo 2 escolhida foi a Vila Princesa [3].

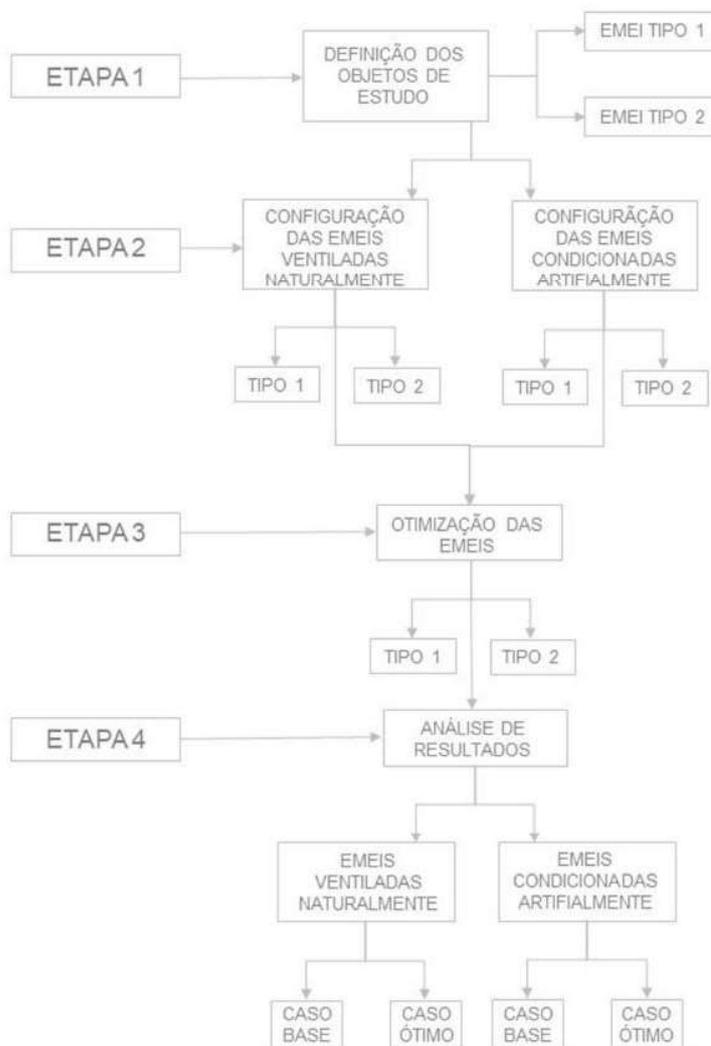


FIGURA 1 - Fluxograma das etapas de trabalho.

Fonte: Os autores, 2018.

O projeto de arquitetura

Com 1510,24m² de área construída o projeto da EMEI Eldorado/Typo 1 [2] pode acolher até 188 crianças em turno integral. Com 890,33 m² de área construída a EMEI Vila Princesa/Typo 2 [3] pode acolher até 94 crianças em turno integral.

Quanto à forma e implantação, as duas EMEIs possuem características semelhantes: um pavimento, blocos interligados por um pátio central e áreas externas com playground, jardins e castelo d'água. Nas figuras [2] e [3], os ambientes foram setorizados por cores para melhor identificação da distribuição espacial. As áreas correspondem as cores representadas na legenda.

FIGURA 2 - Zoneamento EMEI Tipo 1.

Fonte: FNDE (2018), editado pelos autores.

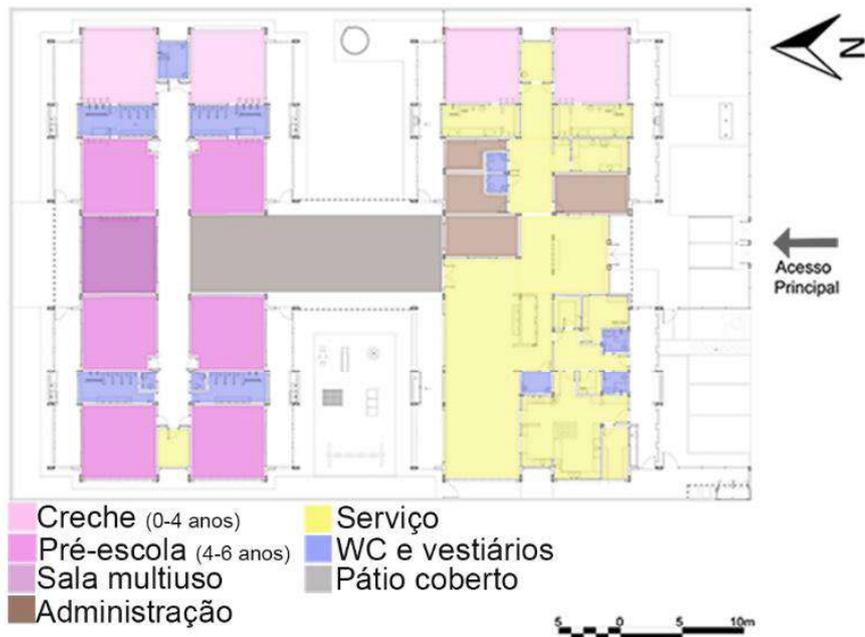
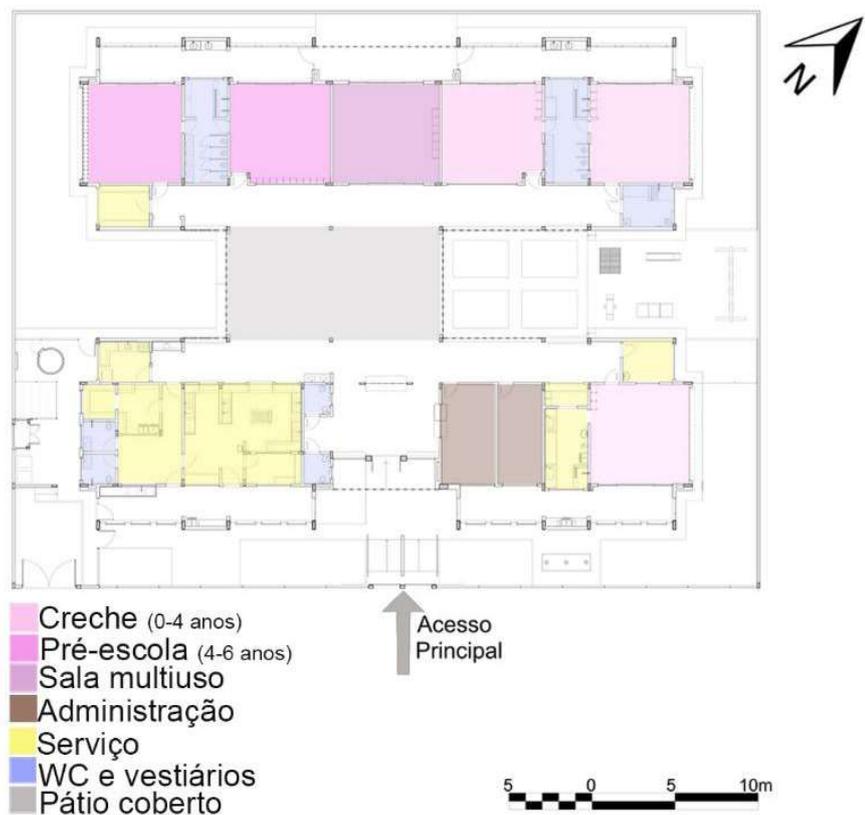


FIGURA 3 - Zoneamento EMEI Tipo 2.

Fonte: FNDE (2018), editado pelos autores.



Características da envoltória

As duas EMEIs apresentam um sistema construtivo convencional com estrutura em concreto armado e fechamentos verticais em tijolos cerâmicos furados. As figuras [4], [5], [6] e [7] apresentam as principais propriedades da envoltória, em concordância com a NBR 15220 (ABNT, 2005).

Composição das paredes com o tijolo de menores dimensões (caso base 1)

Paredes internas (equivalentes a parede de tijolos de seis furos de 14 cm x 9 cm x 19 cm, posicionados a cutelo)

Constituição	Espessura (m)	Condutividade $\lambda = [W/(m.K)]$	Transmitância U [W(m ² K)]
Reboco	0,025	1,15	1,8
Cerâmica	0,041	0,9	
Câmara de ar	0,03	R = 0,16 m ² .K/W	
Cerâmica	0,041	0,9	
Reboco	0,025	1,15	

Paredes externas (equivalentes a parede de tijolos de seis furos de 14 cm x 9 cm x 19 cm)

Constituição	Espessura (m)	Condutividade $\lambda = [W/(m.K)]$	Transmitância U [W(m ² K)]
Reboco	0,025	1,15	1,741
Cerâmica	0,090	0,9	
Câmara de ar	0,03	R = 0,16 m ² .K/W	
Cerâmica	0,090	0,9	
Reboco	0,025	1,15	

FIGURA 4 - Composição das paredes com tijolos de menores dimensões.

Fonte: Os autores, 2018.

Composição das paredes com o tijolo de maiores dimensões (caso base 2)

Paredes internas (equivalentes a parede de tijolos de seis furos de 24 cm x 24 cm x 11,5 cm, posicionados a cutelo)

Constituição	Espessura (m)	Condutividade $\lambda = [W/(m.K)]$	Transmitância U [W(m ² K)]
Reboco	0,025	1,15	1,69
Cerâmica	0,058	0,9	
Câmara de ar	0,045	R = 0,16 m ² .K/W	
Cerâmica	0,058	0,9	
Reboco	0,025	1,15	

Paredes externas (equivalentes a parede de tijolos de seis furos de 24 cm x 24 cm x 11,5 cm)			
Constituição	Espessura (m)	Condutividade $\lambda = [W/(m.K)]$	Transmitância $U [W/(m^2K)]$
Reboco	0,025	1,15	1,317
Cerâmica	0,174	0,9	
Câmara de ar	0,045	$R = 0,16 \text{ m}^2.K/W$	
Cerâmica	0,174	0,9	
Reboco	0,025	1,15	

FIGURA 5 - Composição das paredes com tijolos de maiores dimensões.

Fonte: Os autores, 2018.

Composição da cobertura			
Constituição	Espessura (m)	Condutividade $\lambda = [W/(m.K)]$	Transmitância $U [W/(m^2K)]$
Aço (cor branca)	0,025	1,15	1,69
Preenchimento PIR	0,058	0,9	
Câmara de ar	0,045	$R = 0,16 \text{ m}^2.K/W$	
Cerâmica	0,058	0,9	
Reboco	0,025	1,15	

FIGURA 6 - Composição da cobertura.

Fonte: Os autores, 2018.

Com relação às cores, o FNDE as utilizou de modo a privilegiar as atividades lúdicas relacionadas com a faixa etária dos usuários. Devido à ampla gama de cores propostas no memorial e a diversidade dos ambientes, para a simulação foi adotada uma padronização: as paredes internas e externas foram configuradas com pintura na cor branco gelo e absorvância de $\alpha = 0,2$. Na parte externa da edificação a barra inferior (segundo projeto) foi configurada na cor cinza claro com absorvância de $\alpha = 0,7$. O revestimento de pisos da EMEI possui uma absorvância de $\alpha = 0,7$ (cinza) para as áreas em piso vinílico e $\alpha = 0,20$ (branco) para o piso cerâmico. Note-se a absorvância é de $\alpha = 0,20$ (branco). A localização e os tipos de revestimentos foram configurados segundo especificação do projeto arquitetônico.

As esquadrias das duas EMEIs são de alumínio natural, com caixilhos de 5 cm de espessura e transmitância térmica de $U = 5,88 [W/(m^2.K)]$, com preenchimento em veneziana ou vidro. Os vidros são do tipo temperado liso incolor sendo os dos vãos maiores com espessura de 8 mm e transmitância térmica de $U = 5,70 [W/(m^2.K)]$, para painéis maiores, e os dos vãos menores com espessura de 6 mm e $U = 5,78 [W/(m^2.K)]$. As folhas das portas são de madeira compensada de 35 mm, com pintura esmalte cor platina ou revestidas com laminado melamínico, cor branco gelo e possuem transmitância térmica de $U = 2,70 [W/(m^2.K)]$.

Quanto aos pisos, o piso vinílico é disposto nos ambientes de permanência prolongada como as salas de atividades e sala multiuso. Já para os demais ambientes de serviços, administrativos e áreas externas o piso cerâmico é utilizado.

Composição dos pisos			
Piso interno cerâmico			
Constituição	Espessura (m)	Condutividade $\lambda = [W/(m.K)]$	Transmitância $U [W/(m^2K)]$
Terra argilosa seca	0,5	0,52	0,679
Contrapiso de concreto	0,1	1,75	
Brita	0,15	0,7	
Camada niveladora	0,024	1,15	
Cerâmica	0,007	0,92	
Piso interno vinílico			
Constituição	Espessura (m)	Condutividade $\lambda = [W/(m.K)]$	Transmitância $U [W/(m^2K)]$
Terra argilosa seca	0,5	0,52	0,68
Contrapiso de concreto	0,1	1,75	
Brita	0,15	0,7	
Camada niveladora	0,02	1,15	
Piso vinílico	0,002	0,2	

FIGURA 7 - Composição dos pisos.

Fonte: Os autores, 2018.

Configuração das EMEIs

Para avaliação do nível de conforto térmico das EMEIs, as etapas de modelagem, configuração e simulação foram realizadas pelo software Design Builder (versão 4.7.0.027).

Arquivo Climático

O arquivo climático utilizado foi da cidade de Santa Maria/RS (BRA_Santa.Maria.839360_SWERA.epw) (LABEEE, 2015), pelo fato da cidade de Pelotas ainda não possuir o próprio e por fazer parte da mesma zona bioclimática 2, visto que no âmbito dos trabalhos de simulação computacional é frequente a utilização de arquivos climáticos de mesmas zonas bioclimáticas para diferentes cidades, segundo a NBR 15575.

O arquivo climático possui as variações horárias de temperatura, umidade, direção e velocidade do vento e radiação solar das 8.760 horas do ano. As temperaturas médias do solo foram calculadas utilizando o programa SLAB do Energy Plus. Na figura 8, caracterizam-se algumas variáveis das normais climatológicas das cidades de Pelotas e Santa Maria, RS. Pelotas é uma cidade mais úmida, e mais fria do que Santa Maria, onde as diferenças de temperatura entre as médias das máximas estão em 2,2°C, e as diferenças das médias das mínimas estão em 0,7 °C.

Normais Climatológicas (em um período de 30 anos)						
	Temperatura média das máximas (°C)	Temperatura média das mínimas (°C)	Temperatura média (°C)	Direção predominante do vento	Velocidade média dos ventos (m.s ⁻¹)	Umidade relativa (%)
Pelotas	28,2	8,6-	17,8	E	3,5	80,7
Santa Maria	30,4	9,3	18,8	ESE	1,1	70

FIGURA 8 - Quadro com normais climatológicas das cidades de Pelotas/RS e Santa Maria/RS.

Fonte: Elaborado pelos autores segundo EMBRAPA e INMET, 2018.

Iluminação

O sistema de iluminação foi configurado de acordo com o horário de funcionamento das EMEIs, das 7:30h às 17:30h. Os valores foram obtidos a partir do projeto elétrico e da densidade de potência instalada em cada ambiente (DPI).

Equipamentos

Os valores referentes ao cálculo para a densidade de carga interna (DCI) foram obtidos a partir do RIC CEEE - Regulamento de Instalações Consumidoras (2011). Para as agendas de uso, o horário de funcionamento das EMEIs também foi utilizado.

Uso e ocupação

A partir dos dados informados pela 5ªCRE Pelotas (5º Coordenadoria Regional de Educação), as configurações de uso e ocupação foram embasadas através da previsão do número de usuários e as distintas atividades realizadas. Além disso, a quantidade de funcionários da EMEI é referente ao número de crianças a serem atendidas.

Número de funcionários			
Serventes		Merendeiras (os)	
Quantidade de turmas	Número de serventes	Quantidade de alunos	Número de merendeiras
5 a 6	3	Até 100	2
7 a 8	4	Acima de 100	3
9 a 10	5	Acima de 250	4
Professoras (es)			
	Quantidade de alunos	Número de professores	Número de auxiliares
Creche I (0-1 ano)	20	2	3
Creche II (1-2anos)	20	2	3
Creche III (2-3 anos)	20	2	2
Pré escola (4 anos)	20	1	1

FIGURA 9 - Número de funcionários.

Fonte: Os autores, 2018.

Configuração das EMEIs ventiladas naturalmente

As agendas de operação das janelas foram configuradas durante o ano inteiro de acordo com o horário de funcionamento da EMEI para operar com a ventilação natural. Assim, com base no trabalho de Martins et al (2009), foi definido o setpoint de 25°C, para aproveitar a ventilação natural. Dessa forma, quando a temperatura interna alcançar 25°C e a temperatura externa for inferior a este setpoint, as esquadrias são abertas, e os ambientes são ventilados. No período de inverno quando a infiltração das esquadrias acabando gerando a renovação do ar necessária para a manutenção da qualidade interior.

Configuração das EMEIs climatizadas artificialmente

Para a análise do consumo de energia das EMEIs, manteve-se as configurações de iluminação e equipamentos, enquanto o uso e a operação das janelas foi desativado. Assim, para configurar o ar condicionado definiu-se a utilização de um sistema de expansão direta Split (nível A) com o coeficiente de eficiência energética (CEE) igual a 3,24, de acordo com dados do INMETRO.

O setpoint definido para aquecimento foi de 22°C e para resfriamento de 24°C. Além disso, considerou-se uma taxa constante de infiltração de 0,6 ac/h (renovações por hora).

Otimização das EMEIs

Para a avaliação e aumento do nível do conforto térmico da EMEI tipo 1 considerou-se a otimização do caso base (paredes 1 e 2), considerando o controle de radiação solar (inserção de brises), o aumento do isolamento térmico do envelope e a diminuição da carga interna de calor (dimerização do sistema de iluminação). A dimerização do sistema de iluminação foi escolhida em função da possibilidade de manutenção das luminárias e lâmpadas especificadas em projeto, sendo necessária apenas a troca dos reatores dos conjuntos.

Para a EMEI tipo 2, a otimização do caso base foi realizada observando também, o controle de radiação solar (inserção de brises), e o aumento do isolamento térmico do envelope. Após estudo piloto inicial, verificando-se que a dimerização não surtiu efeito no desempenho térmico da edificação, a solução não foi considerada na EMEI.

Com relação à forma, as duas EMEIs apresentam distintas configurações espaciais: uma de forma mais compacta e com circulação interna (Tipo 1), e a segunda com afastamento entre os blocos e circulação externa (Tipo 2).

ANÁLISE DE RESULTADOS

O estudo analisa o nível de conforto térmico das EMEIs ventiladas naturalmente, baseado no índice de conforto adaptativo da ASHRAE 55 (2013), por meio de simulações computacionais no software DesignBuilder, versão 4.7.0.027. Além do conforto térmico, analisa-se também o consumo de energia para climatização artificial e iluminação.

Para a análise, considerou-se a zona de conforto térmico com 80% dos usuários do ambiente satisfeitos, variando em até 3,5°C para mais e 3,5°C para menos da temperatura operativa de conforto, calculada com base na temperatura externa. Este limite é caracterizado como a zona de conforto térmico atingindo 80% de satisfação dos usuários.

Ainda, foram definidas medidas de otimização para o conforto dos ambientes, testadas para as EMEIs ventiladas naturalmente e condicionadas artificialmente, possibilitando a análise e a melhoria do nível de conforto térmico geral e do consumo.

Análise da EMEI tipo 1

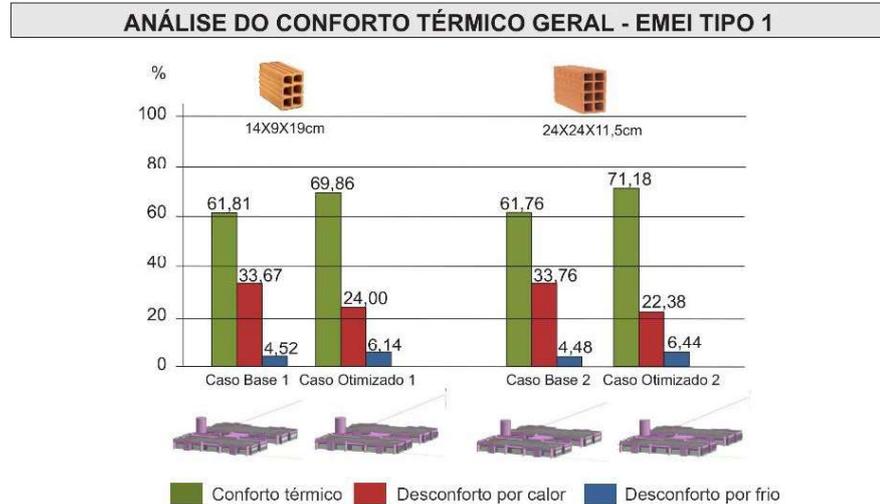
Com base na configuração espacial da EMEI do tipo 1, é possível notar que se trata de uma edificação de estrutura formal mais compacta em comparação com a EMEI do tipo 2, em que as circulações são internas e com pouca ventilação. Além das fachadas no eixo norte e sul, em que os ambientes se conectam diretamente com a circulação ou solários, cabe observar que a conexão direta com o ambiente externo e com a ventilação natural ocorre somente nos ambientes das fachadas do eixo leste e oeste. Cabe observar que nas duas implantações o vento dominante tem a direção Leste com maior frequência de ocorrência (Figura 2).

Quanto aos resultados das simulações da EMEI (Figura 10), fica evidente que há um maior desconforto por calor, para os dois casos bases, devido à ausência de ventilação natural, fruto da falta de permeabilidade dos ambientes, o que se agrava com a quantidade de carga térmica gerada no seu interior. Dessa forma, quando o caso base é otimizado com a instalação de brises para reduzir a incidência da radiação solar; di-

merização da iluminação; e o aumento do isolamento térmico das paredes, para redução da carga interna de calor, aumentando o conforto térmico dos ambientes internos.

FIGURA 10 - Infográfico 1, análise de conforto geral da EMEI tipo 1.

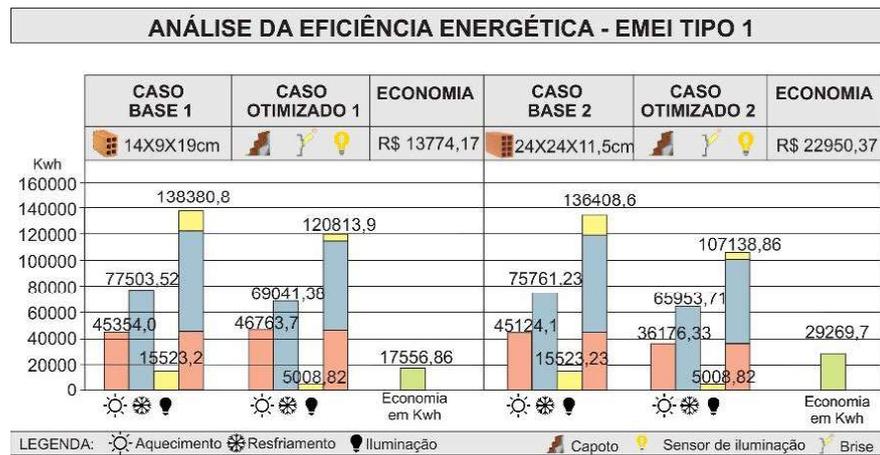
Fonte: Os autores, 2018.



Quanto à análise da eficiência energética, é possível verificar (Figura 11) que ao adicionar a dimerização do caso base para o otimizado, há uma redução no consumo de iluminação de 10.514,38 kWh.ano, produzindo uma economia de R\$ 8.244,33 por ano. No caso otimizado 1, com tijolo de dimensões 24x24x11,5, a instalação do ar condicionado houve , uma redução total do consumo de energia de 29.269,7 kWh.ano e uma economia de R\$ 22.950,37 por ano. Quando os mesmos dispositivos são adicionados no caso otimizado 2, a eficiência aumentou devido à maior capacidade térmica da parede e de retenção de calor interno na edificação.

FIGURA 11 - Infográfico 2, análise da eficiência energética da EMEI tipo 1.

Fonte: Os autores, 2018.



Caso Base 1

A partir da análise dos ambientes por suas fachadas (Figura 12), os melhores resultados de conforto térmico ocorrem nas fachadas orientadas no eixo norte-sul devido a maior facilidade de controle de radiação solar (presença de solários que operam como brises horizontais). Em função do menor percentual de abertura, a fachada sul apresentou um resultado ainda melhor. As orientações leste e oeste possuem similarida-

des em termos de insolação, onde as fachadas leste recebem a radiação solar direta da manhã, enquanto as fachadas voltadas à oeste recebem a radiação solar direta pela tarde. Em relação a este eixo, e em função a inexistência de dispositivos de proteção para o controle da radiação solar direta sob as superfícies opacas e transparentes, os resultados de conforto térmico obtidos foram os piores.

Quanto ao desconforto por calor e frio, o eixo leste-oeste apresenta a pior situação. A fachada leste apresentou um índice de desconforto térmico por calor de 9% superior em relação à fachada sul. Com relação ao desconforto por frio, a diferença foi de 2% entre as fachadas leste e sul.

Caso Ótimo 1

A partir das análises do desempenho térmico da edificação realizou-se adaptações do projeto padrão ao contexto climático, em que as otimizações deram-se a partir da inserção de brises, sensor de iluminação e aumento do isolamento térmico das paredes (Figura 11). Com a adição desses dispositivos e isolamento térmico todos os ambientes apresentaram melhores índices de conforto, com destaque para os ambientes voltados para as fachadas norte e oeste que exibiram os melhores resultados de conforto térmico, alcançando um aumento de 13%. Também observou-se que houve uma diminuição no desconforto por calor de 16% na fachada oeste e de 9% na fachada leste. Quanto à análise do desconforto por frio, a fachada sul apresentou o maior índice, com um aumento de cerca de 1%.

Dessa forma é evidente que com a integração do controle de radiação solar, do aumento do isolamento térmico do envelope e com a redução das cargas internas de calor alcançou-se melhores resultados quanto ao desempenho térmico da edificação.

Caso Base 2

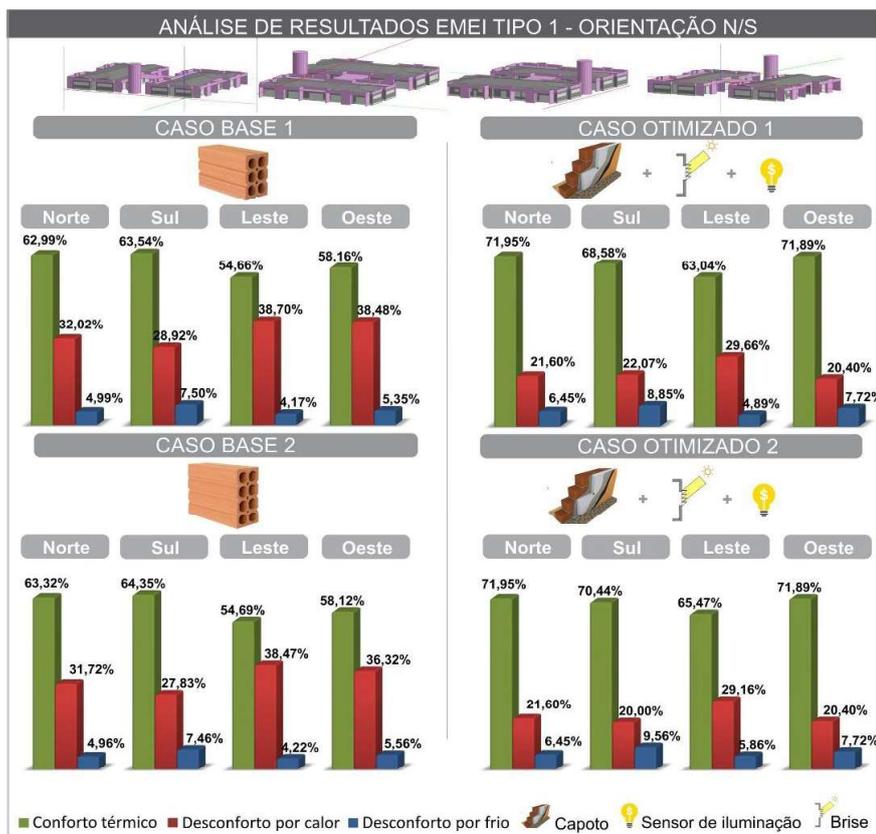
Quando comparado ao caso base 1, no caso base 2 foi possível observar que os resultados foram aproximados, com uma pequena melhoria inferior à 1% dos ambientes das fachadas norte e sul. O mesmo ocorreu quanto à análise para o desconforto por calor. Esses resultados mostraram-se semelhantes pelo fato de que a edificação possui uma carga interna de calor elevada gerada pelos equipamentos, pessoas e iluminação, além do calor proveniente da radiação solar direta e, com o aumento do isolamento e capacidade térmica do envelope foi menos intensa a troca de calor com o ambiente externo.

Caso Ótimo 2

Após análise do caso ótimo 2 foi possível verificar que um maior nível de conforto térmico em relação aos ambientes das fachadas sul e leste foi constatado quando equiparado ao caso ótimo 1, onde a diminuição do desconforto por calor e o aumento do desconforto por frio, aconteceu em virtude do maior isolamento e massa térmica da parede analisada, dificultando o fluxo de calor exterior-interior. Além disso, verificou-se que o caso também apresenta os melhores índices de conforto térmico naqueles ambientes voltados as fachadas norte e oeste.

FIGURA 12 - Infográfico 3, análise do conforto térmico pelas fachadas da EMEI tipo 1.

Fonte: Os autores, 2018.

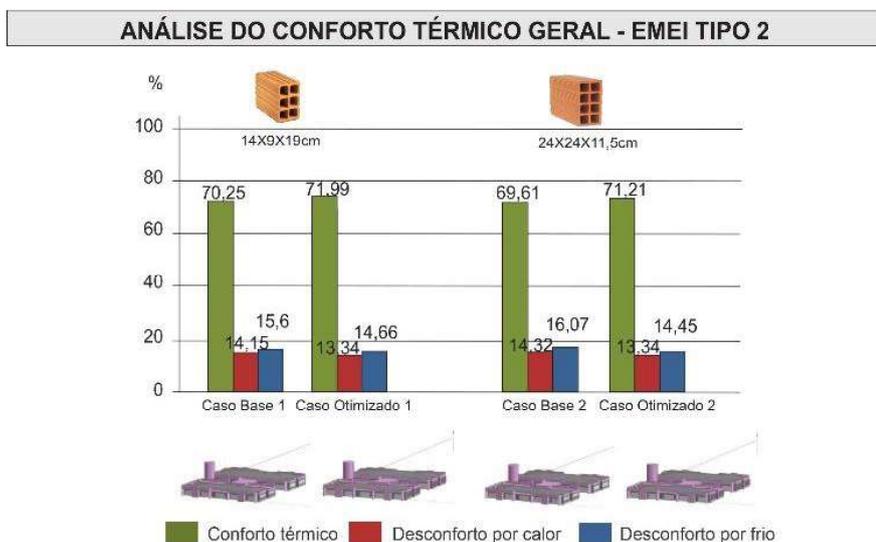


Análise da EMEI tipo 2

Quanto à disposição do projeto arquitetônico da EMEI em questão, é notória a inserção de três diferentes blocos junto de uma circulação externa, de modo que a configuração torna-se menos compacta que a EMEI anterior, possibilitando a ventilação natural interna entre os blocos. Assim, em análise aos resultados da simulação (Figura 13) nota-se que o maior desconforto térmico é ocasionado pelo frio, em todos demais casos.

FIGURA 13 - Infográfico 4, análise do conforto geral da EMEI tipo 2.

Fonte: Os autores, 2018.



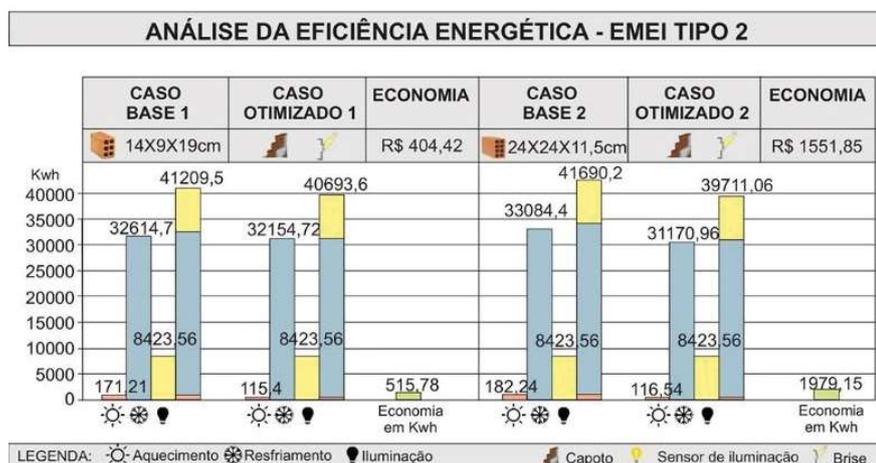
Com relação à eficiência energética da edificação, neste tipo de EMEI a redução de consumo não foi tão notória quanto no caso anterior. Observa-se que houve uma pequena economia de energia, de modo que, com a inserção dos brises a radiação solar direta foi reduzida e os ganhos de condução com a inserção do isolamento térmico no envelope também foram contidos.

Embora a EMEI apresente maior desconforto por frio, o consumo de resfriamento é maior (Figura 14), isso acontece devido a diferença entre as temperaturas internas e as das zonas de conforto, ou seja, o desconforto por frio permanece mais perto da temperatura considerada limite, enquanto o desconforto por calor apresenta uma temperatura mais distante do setpoint utilizado.

Ainda em observação ao infográfico, uma maior economia de energia no caso otimizado 2, com tijolo de 24x24x11,5cm, foi verificada. Isso, devido a maior inércia térmica que resultou em uma economia de 1979,15 kWh.ano, ou seja, há uma redução de R\$ 1551,85 por ano na fatura de energia elétrica.

FIGURA 14 - Infográfico 5, análise da eficiência energética da EMEI tipo 2.

Fonte: Os autores, 2018.



Caso Base 1

No caso base 1 os ambientes direcionados às fachadas noroeste e sudeste apresentaram maior índice de conforto térmico, sendo evidente que o uso do solário contribuiu para os resultados alcançados (Figura 15). A diferença entre as orientações dá-se em torno de 1%, onde o caso com maior índice de conforto térmico apresenta um percentual menor de abertura, possibilitando também um menor impacto causado pela radiação solar no interior da edificação.

Os ambientes com menor índice de conforto térmico são àqueles com aberturas voltadas às fachadas sudoeste e nordeste, sem a presença de nenhum tipo de proteção solar nas aberturas e com percentuais de abertura aproximados.

Quando comparado ao desconforto por calor, uma diferença entre as fachadas nordeste e sudeste pode ser observada, onde sudeste apresenta cerca de 6% menos desconforto, isso, pelo fato da mesma estar direcionada a sul, recebendo menor radiação solar direta e possuindo proteção solar por meio dos solários, o que ocorre de modo inverso quando comparado ao desconforto por frio, em que apresentam uma diferença de cerca de 4% entre ambas.

Caso Ótimo 1

Quanto ao caso ótimo, caracterizado pela inserção de proteção solar e isolamento térmico, (Figura 15), um maior índice de conforto térmico pode ser observado em to-

das fachadas, resultando na diminuição do desconforto por frio e calor, com exceção da fachada sudoeste, que passou a ter um nível de desconforto por calor de cerca de 1% a mais. Ainda em análise, a fachada nordeste foi a que apresentou menor desconforto por calor, com a diminuição de 4% do caso não otimizado. Com isso, fica evidente que a união das duas estratégias de otimização foi eficiente, pois a inserção de proteção solar bloqueou parte da radiação solar direta ao interior da edificação, reduzindo assim o desconforto por calor e a perda de calor para o ambiente externo, com o aumento do isolamento térmico das paredes, reduzindo o desconforto por frio no interior da EMEI.

Caso Base 2

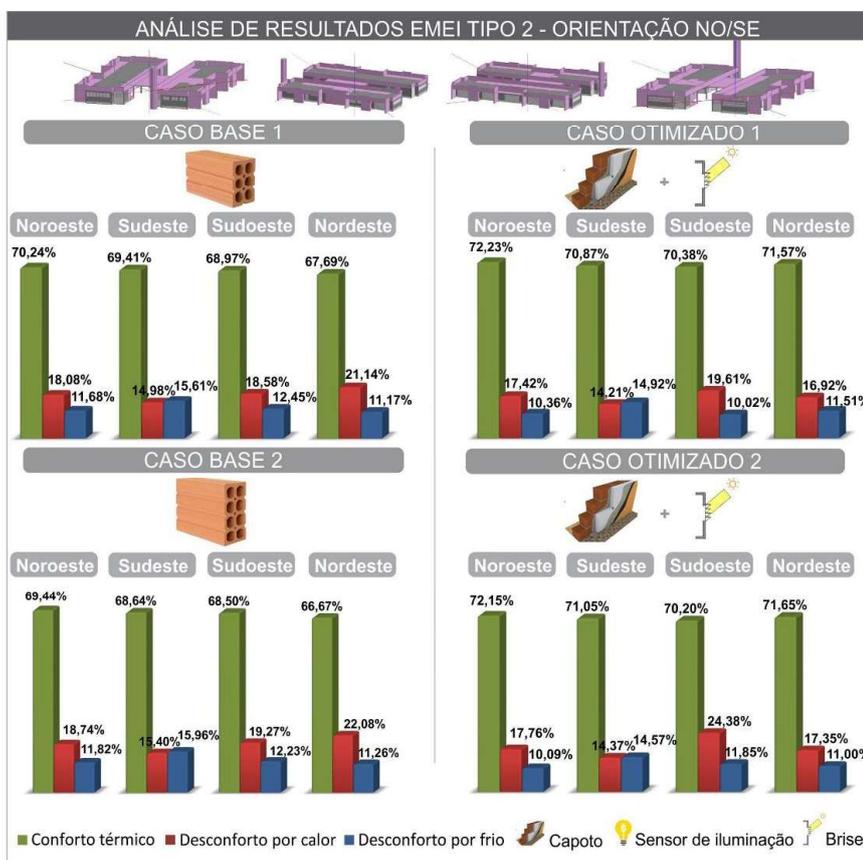
Em comparação entre os dois casos, observa-se que em ambos os ambientes voltados à fachada noroeste apresentam melhores resultados, enquanto aqueles à nordeste apresentam resultados inferiores. Essa diferença entre os casos, acontece pelo fato do caso base 2 possuir um tijolo com maiores dimensões, e conseqüentemente apresentar um maior isolamento térmico e massa térmica do envelope, o que acaba por reduzir a troca de calor com o exterior, ocasionando em um aumento no desconforto interno por calor.

Caso Ótimo 2

No caso ótimo 2, ocorre o mesmo citado anteriormente. Além disso, o que mais foi perceptível nas análises, é que com o tijolo de maiores dimensões, na parede isolada, a aplicação das estratégias de otimização foi mais eficiente quando comparadas ao caso com o tijolo anterior. Alcançando uma diferença significativa entre o caso base e o caso já otimizado.

FIGURA 15 - Infográfico 6, análise do conforto térmico pelas fachadas da EMEI tipo 2.

Fonte: Os autores, 2018.



Conclusões

A análise dos resultados da simulação computacional dos projetos padrão FNDE das EMEIs tipo 1 e 2 possibilitou evidenciar tanto as limitações do projeto padrão relacionado com os condicionantes climáticos locais, como também a diferenciação das estruturas formais dos projetos arquitetônicos e suas possíveis potencialidades em termos de adaptação auxiliando no processo de otimização dos projetos com o intuito de oferecer ambientes com maior nível de conforto térmico aos usuários. As adaptações proporcionaram um aumento do nível de conforto térmico de até 7,5% das horas ocupadas, representando neste caso 20 dias úteis de utilização da EMEI adaptada, ou seja, os ambientes com um mês a mais em conforto térmico ao longo do ano.

A partir dessa análise, acredita-se que a metodologia adotada no artigo contribuiu para a reflexão das futuras inovações e melhorias projetuais para a proposta de arquitetura escolar infantil implementada pelo FNDE. Em que, as otimizações realizadas devem considerar a qualidade do ambiente construído proporcionando melhor nível de conforto térmico aos que ali trabalham e estudam, potencializando as práticas educacionais. Embora tenhamos testado apenas a Zona Bioclimática 2, na qual encontramos as maiores amplitudes térmicas entre os períodos de verão e inverno, acreditamos na necessidade de adaptação do projeto padrão ao contexto de inserção das edificações abordando as dimensões climáticas do local, como também as culturais, sociais, econômicas e tecnológicas.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Os autores também agradecem o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS).

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220: Norma Brasileira de Desempenho Térmico de Edificações**. Rio de Janeiro, 2005.

ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIRCONDITIONING ENGINEERS. **Standard 55: Thermal environmental conditions for human occupancy**. Atlanta, 2013.

BRASIL, Ministério da Educação. **Padrões de Infra-estrutura para as Instituições de Educação Infantil e Parâmetros de Qualidade para a Educação Infantil**. Brasília: MEC, SEB, 2004. [Documento Preliminar]

BRASIL, Ministério da Educação. **Parâmetros Básicos de Infra-Estrutura para instituições de Educação Infantil**. Brasília: MEC, SEB, 2006. Disponível em < http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=12579%3Aeducacao-infantil&Itemid=1152 > acesso em 10jun2013.

BRASIL, Ministério da Educação. Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação. Resolução/CD/FNDE Nº 006 de 24 de abril de 2007 - **Estabelece as orientações e diretrizes para execução e assistência financeira suplementar ao Programa Nacional de Reestruturação e Aquisição de Equipamentos para a Rede Escolar Pública de Educação Infantil – PROINFÂNCIA**. Disponível em < http://portal.mec.gov.br/arquivos/pdf/resolucao_n6_240407_proinfancia_medida18.pdf.pdf > acesso em 25set2018.

FERNANDES, Luciana. Avaliação do Conforto térmico de salas de aula de prédio escolar da rede pública em Campinas/SP. In. **XIII ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**. Canela/RS, 2010.

KOWALTOWSKI, Doris. **Arquitetura escolar: o projeto do ambiente de ensino**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

LABAKI, Lucila; BUENO-BARTHOLOMEI, Carolina. Avaliação do conforto térmico e luminoso de prédios escolares da rede pública, Campinas-SP. In. **VI ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO**. São Pedro, 2001 apud FERNANDES, Luciana et al. Avaliação do Conforto térmico de salas de aula de prédio escolar da rede pública em Campinas/SP. In. **XIII ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**. Canela/RS, 2010.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES, LABEEE. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil. **Arquivos climáticos**. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-try-swera-csv-bin>. Acesso em: 15 fev. 2017.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3. ed. São Paulo: ProLivros, 2014.

MARTINS, David; RAU, Sabrina; RECKZIEGEL, Simone; FERRUGEM, Anderson; SILVA, Antônio. Ensaio sobre a Utilização da Automação de Aberturas na Simulação do Desempenho Térmico de Edificações. In: **X ENCONTRO NACIONAL E VI ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**. Natal, 2009.

BOOTH, Wayne; COLOMB, Gregory; WILLIAMS, Joseph. **A arte da pesquisa**. São Paulo: Martins Fonte, 2000. Tradução de: Henrique A. Rego Monteiro.

ORNSTEIN, Sheila; ROMÉRO, Marcelo. **Avaliação Pós-Ocupação do Ambiente Construído**. São Paulo: Studio Nobel, 1992.

REGULAMENTO DE INSTALAÇÕES CONSUMIDORAS FORNECIMENTO EM TENSÃO SECUNDÁRIA REDE DE DISTRIBUIÇÃO AÉREA. 5ª Edição. Versão 1.3. AES Sul Distribuidora Gaúcha de Energia S/A; Companhia Estadual de Distribuição de Energia Elétrica; Rio Grande Energia S/A, Janeiro/2011. Disponível em: <http://www.cee.com.br/pportal/cee/Archives/Upload/CEEE-Ric-BT.pdf>. Acesso em: 18 de jan. 2017.

RESPONSABILIDADE INDIVIDUAL E DIREITOS AUTORAIS

A responsabilidade da correção normativa e gramatical do texto é de inteira responsabilidade do autor. As opiniões pessoais emitidas pelos autores dos artigos são de sua exclusiva responsabilidade, tendo cabido aos pareceristas julgar o mérito das temáticas abordadas. Todos os artigos possuem imagens cujos direitos de publicidade e veiculação estão sob responsabilidade de gerência do autor, salvaguardado o direito de veiculação de imagens públicas com mais de 70 anos de divulgação, isentas de reivindicação de direitos de acordo com art. 44 da Lei do Direito Autoral/1998: "O prazo de proteção aos direitos patrimoniais sobre obras audiovisuais e fotográficas será de setenta anos, a contar de 1º de janeiro do ano subsequente ao de sua divulgação".

O CADERNOS PROARQ (issn 2675-0392) é um periódico científico sem fins lucrativos que tem o objetivo de contribuir com a construção do conhecimento nas áreas de Arquitetura e Urbanismo e afins, constituindo-se uma fonte de pesquisa acadêmica. Por não serem vendidos e permanecerem disponíveis de forma online a todos os pesquisadores interessados, os artigos devem ser sempre referenciados adequadamente, de modo a não infringir com a Lei de Direitos Autorais.

Submissão: 01/03/2019

Aceite: 05/04/2019