



# Simulação computacional do desempenho do conforto térmico de edifício escolar em Brasília - Brasil

Computational simulation of thermal confort performance os shcool's building in Brasília - Brazil

## Jessica Lara

Filiação: Universidade de Brasília

Endereço: 70910-900

Contato: jlaragoncalves@gmail.com

## Teciana Xavier

Filiação: Universidade de Brasília

Endereço: 70910-900

Contato: tecianaxavier@aluno.unb.br

## Caio Silva

Filiação: Universidade de Brasília

Endereço: 70866-100

Contato: caiosilva@unb.br

**Manuscript Code:** 038

**Date of Acceptance/Reception:** 06.07.2018/31.05.2018

## Resumo em português

Edifícios consomem aproximadamente 40% da energia global. Diante disso, considera-se urgente encontrar estratégias de eficiência energética a fim de reduzir os impactos no meio-ambiente. Este artigo tem como objetivo apresentar o desempenho termo energético de um edifício escolar localizado na periferia de Brasília - Brasil. O método de trabalho inclui visita in loco, workshop com os alunos da escola analisada, medições de temperatura e dados de simulações desenvolvidas pelo software Energy Plus 6.0 - interface do Design Builder 2.4.2.026. Os resultados mostram que as horas de conforto se alteram em até 28% com o uso de dispositivos bioclimáticos, como o uso de isolamento na cobertura e paredes verdes. Desta forma, essa pesquisa propõe ações de aplicações de dispositivos bioclimáticos baseada em medidas de evidência para informar políticas públicas a importância de espaços de aprendizagem mais confortáveis bioclimaticamente.

**Palavras chaves em português:** Bioclimatismo; escola pública; dispositivos bioclimáticos; simulação computacional.

## Abstract in English

Buildings consume about 50% of global energy. From this perspective, its urgent finding strategies of efficiency energy to reduce the environmental footprint. This article presents the thermal comfort performance of a School's building located in periphery of Brasilia - Brazil. The methodology includes in locus assessment, workshop with students, microclimate measures and modeling process by DesignBuilder 2.4.2.026 software (EnergyPlus 6.0 algorithm). Results show the total of comfortable hours could be improve by 28% when adopted bioclimatic strategies such as insulation layer on the roof surface and green walls. In conclusion, this research proposes bioclimatics retrofit actions based on evidence measures to inform public policies for cooler learning places.

**Keywords in English:** Building performance simulation (BSP); school; bioclimatic retrofit; bioclimatism.

Diante ao cenário atual de constante aumento das temperaturas do planeta, vê-se necessário estudar os fatores que implicam em mudanças na qualidade do conforto térmico dos ambientes e as mudanças que minimizem esses impactos ambientais. No mesmo contexto, de acordo com a Comissão Europeia, a construção civil é responsável por cerca de 40% do consumo de energia mundial, sendo essa então a maior contribuinte de gastos energéticos exacerbados.

O consumo de energia é um importante fator quando se trata da formação de um projeto, portanto é essencial a conscientização do meio técnico e do usuário no sentido de incorporar o consumo de energia como parâmetro de projeto (GRASSO; GHISI; LAMBERTS, 1998). Desse modo, arquitetos e engenheiros influenciam na quantidade do consumo de energia no país, uma vez que edificações planejadas adequadamente, desde a fase inicial de projeto, com aplicação de estratégias bioclimáticas na concepção das edificações e uso de equipamentos energeticamente eficientes, podem reduzir significativamente o consumo de energia (LAMBERTS; GHISI; PAPST, 2000).

Segundo Lamberts (1997), a arquitetura deve ser um elemento que precisa de eficiência energética. Para o mesmo, um edifício é eficiente energeticamente quando possibilita o conforto térmico, visual e acústico com baixo custo de energia. Além disso, a eficiência energética pode trazer melhorias ao uso e a qualidade do ambiente interno das edificações (WESTPHAL; LAMBERTS, 2000). Desse modo, as melhorias na eficiência energética estão diretamente ligadas a qualidade interior dos ambientes, assim como a qualidade do ar e o conforto térmico.

De acordo com Kowaltowski (2001), a adoção de projetos padrão para as edificações escolares tem sido uma das causas de problemas de conforto ambiental. A padronização de edificações públicas, como instituições de ensino, apresenta defeitos quando notamos que essa categoria de construção não se adequa a todos os tipos de implantação, à medida que não é considerado fatores como localização, orientação solar e características climáticas da região, comprometendo assim, a qualidade dos edifícios.

Godoi (2010, apud Kowaltowski 2001), em seu escrito aborda sobre a importância de seguir as exigências do conforto térmico, principalmente no Brasil, país o qual é caracterizado em maior parte pelo clima tropical, de temperaturas elevadas. Entretanto, é possível notar que a maiorias das edificações nas cidades apresentam padronização em seus projetos, sem considerar as características do terreno e do clima.

As características técnicas da construção, o microclima, a temperatura externa, a radiação solar, o vento, as trocas térmicas das paredes e cobertura, os ganhos de calor no interior da edificação através da transmissão desse calor vinda do corpo dos usuários, iluminação e equipamentos eletrônicos, são variáveis que influenciam no balanço energético de uma edificação. Santana (2006, apud European commission directorategeneral for energy, 1995)

O aproveitamento da iluminação e ventilação natural pode diminuir ou eliminar a necessidade de uso da iluminação e elementos de refrigeração artificiais do ambiente. Ao investir nesses elementos que contribuem para a melhoria do conforto térmico e luminoso do edifício, há economia dos gastos públicos com energia das escolas. Esse tipo de problemática ocorrida com frequência em instituições de ensino público na cidade de Brasília, Brasil, foi motivo para a pesquisa em questão.

Ao abordar esse tema, tem-se como propósito analisar e exemplificar o acréscimo de dispositivos bioclimáticos em construções de ensino público já realizadas e seus resultados nas temperaturas interna do ambiente, além do aumento do conforto térmico para o usuário.

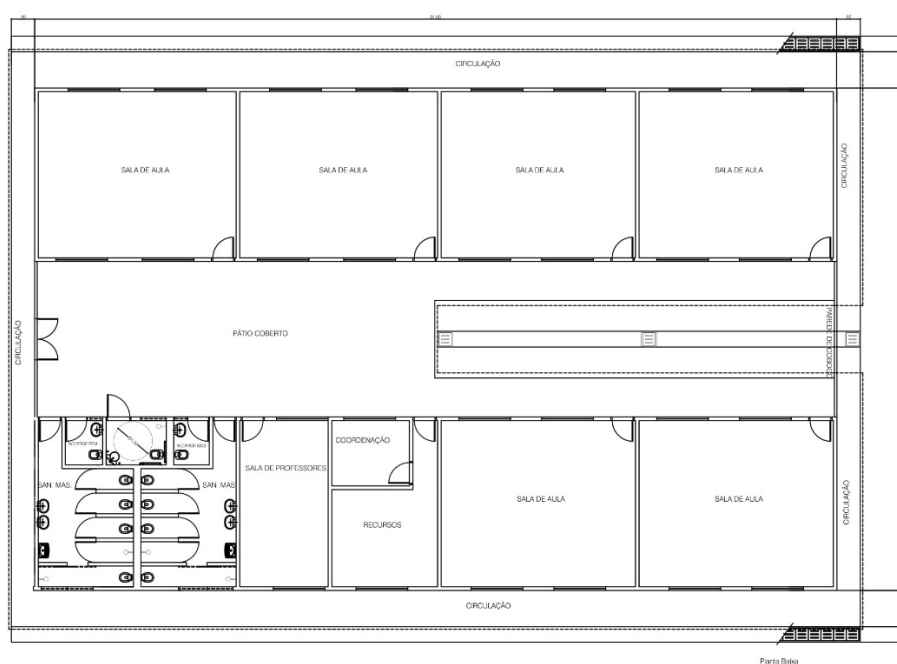
## Estado do problema

No contexto brasileiro, muitos edifícios escolares tendem a serem projetados e construídos de forma padronizada sem considerar variáveis de clima de acordo com a localização em que são implantadas, o que acaba por acarretar em ambientes escolares desfavoráveis aos usuários.

Com o intuito de analisar o desempenho do conforto térmico em instituições de ensino público, propôs-se a análise e estudo de dispositivos bioclimáticos que favorecessem o uso dos ambientes de forma a proporcionar um aumento de conforto térmico a partir da diminuição da temperatura do ar interna. Desse modo, O Centro de Ensino Médio (CEM) 01, localizado na região administrativa São Sebastião, zona periférica da cidade de Brasília, foi escolhido como objeto de estudo, a fim de analisar a padronização que as escolas na região são submetidas e os possíveis efeitos que o acréscimo de elementos que proporcionem melhorias nas temperaturas internas do edifício podem acarretar.

A escola, hoje em dia, não possui uma arquitetura diferenciada das outras escolas públicas de Brasília, e até de outras cidades do Brasil. Com dois blocos paralelos de sala de aula que são separados por um pátio central utilizado para socialização dos estudantes durante o intervalo. As salas de aula possuem uma grande precariedade ao se tratar de iluminação e ventilação naturais, onde apenas as paredes que não estão em contato com o pátio possuem janelas, não permitindo uma ventilação cruzada e a luz solar só é presente assim em um pequeno período do tempo, sendo necessário a utilização da luz artificial e de ventiladores durante todo o período de funcionamento da escola.

Figura 1. Planta baixa do Centro de Ensino Fundamental (CEM 01). Fonte: Secretaria de Estado de Educação do Distrito Federal – GDF, 2016.



Todas as observações realizadas sobre a falta de conforto térmico nas escolas foram seguidas por comentários e informações obtidas pelos próprios usuários da escola a partir do projeto realizado. E partir disso foi iniciado o processo de estudo para melhorias no centro de educação.

## Metodologia

Essa pesquisa teve como base o trabalho realizado pelo grupo de pesquisa em Simulação Computacional no Ambiente Construído (SICAC) da Universidade de Brasília, em parceria com o Projeto de Extensão denominado “Escolas Bioclimáticas: Soluções Bioclimáticas para Escolas Públicas”. Neste contexto, esta pesquisa subsidiou o trabalho em andamento do grupo “Estruturas Verdes para Escolas Públicas no Distrito Federal”. Todos os trabalhos citados abordam sobre o conforto térmico nas escolas públicas do Distrito Federal e impulsionaram a pesquisa em questão.

Num primeiro estágio, foi selecionada a escola objeto de estudo, a mesma já explorada em outros trabalhos do grupo de pesquisa. Em um segundo estágio, a pesquisa foi desenvolvida em conjunto com os alunos da CEM 01, por meio de um workshop, onde os mesmos desenvolveram maquetes com o intuito de introduzir alternativas bioclimáticas a escola, a fim de melhorar os níveis de temperatura interna dos ambientes e conseqüentemente contribuir para o conforto térmico. Os modelos criados pelos estudantes foram utilizados como base para a pesquisa, que se

desenvolveu com simulação dos cenários criados no software EnergyPlus através da plataforma DesignBuilder. Para facilitar o entendimento destes estágios do procedimento metodológico, definem-se três momentos: estudos anteriores; workshop e modelagem; e simulação.

### Estudos anteriores

Destaca-se como importante para a inicialização da pesquisa o conhecimento de dois outros trabalhos que abordassem sobre o mesmo tema. Tomamos como base para os estudos o trabalho em andamento realizado por Abner Calixter (2018-Atual), com o tema Estruturas verdes para a diminuição do calor em escolas públicas do Distrito Federal. Esse trabalho teve início no Centro de Ensino de São Sebastião, onde foi estudado as temperaturas térmicas atuais da escola e a partir disso a criação de um modelo com estruturas verdes e o plantio de novas espécies vegetais para combater os altos níveis de calor do ambiente escolar.

O projeto de extensão Escolas Bioclimáticas também auxiliou a pesquisa ao demonstrar a padronização que ocorre nas escolas públicas do Distrito Federal ao realizar o mesmo estudo no Centro de Ensino Fundamental (CEF) - 04 de Paranoá, outra região periférica de Brasília. Esse projeto proporcionou o contato com os usuários da escola a partir da realização de oficinas, nas quais estudantes da Universidade de Brasília e estudantes da escola do Paranoá debatiam sobre as precariedade que o colégio sofria em relação ao conforto térmico e as soluções que poderiam ser realizadas para a melhoria no conforto interno das áreas de estudos e vivência dos estudantes.

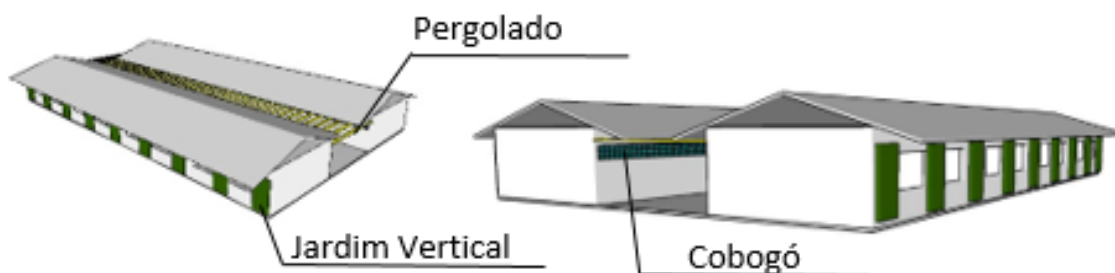
### Workshop e modelagem

Em um primeiro momento, foi realizada uma visita a escola para averiguar a situação da mesma e observar seus pontos a serem melhorados. A fim de nos informar mais sobre a opinião dos usuário foi realizado um workshop com uma turma de alunos da escola. Os alunos foram divididos em 5 grupos com 6 a 7 integrantes cada. A oficina foi iniciada de forma a introduzir os objetivos e incentivar o pensamento e questionamento sobre o conforto térmico da escola, apresentando problemas e possíveis soluções para a melhoria dos ambientes de estudo. Após o debate com os alunos foi proposto que os mesmo desenvolvessem suas ideias em uma maquete que apresentasse alternativas para melhorias do conforto térmico da escola.

Ao final cada grupo apresentou sua respectiva proposta de mecanismos que poderiam ser aplicados na escola para obtenção de um espaço mais confortável ao aprendizado.

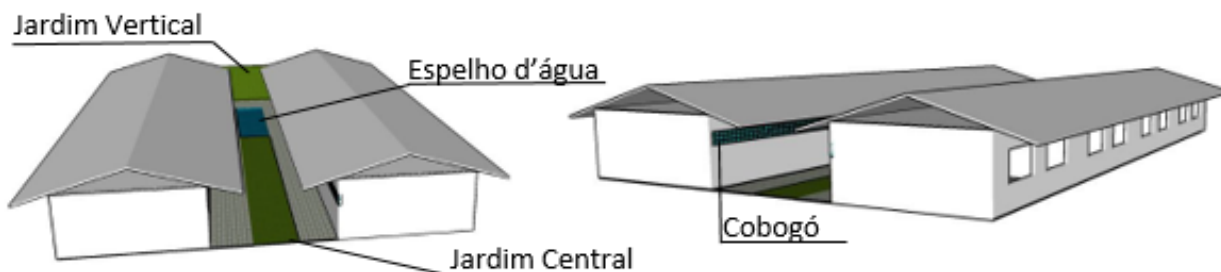
O primeiro grupo propôs a adição de vegetação contornando os blocos de sala de aula, a utilização de cobogós nas paredes com acesso ao pátio e a inclusão de jardim vertical nas paredes externas. Além disso, o grupo criou a alternativa de acréscimo de pergolado no pátio central para reduzir o sol que incide diretamente sobre eles durante o intervalo. A partir do modelo criado pelos alunos, realizamos uma maquete eletrônica demonstrativa para melhor visualização dos equipamentos proposto pelos alunos. Nomeamos o modelo como Cenário 1 para posteriores análises.

Figura 1. Maquete eletrônica do cenário 1. Fonte: Autores, 2018



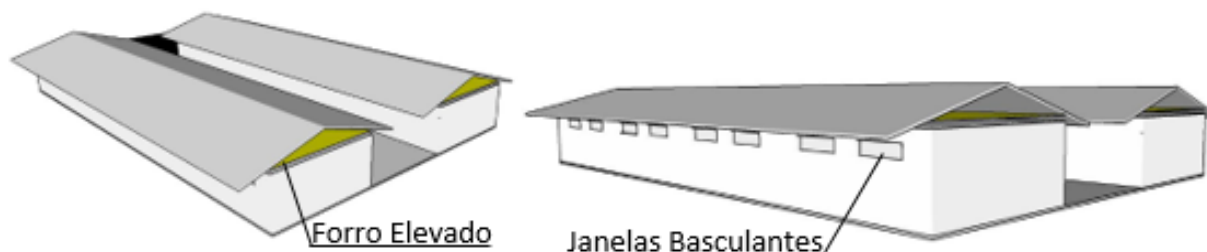
A segunda proposta desenvolvida adicionou ao espaço escolar um jardim e um espelho d'água no pátio central. Os alunos também sugeriram a introdução de cobogós nas paredes com frente para pátio central além do acréscimo de um jardim vertical. E para proporcionar conforto nas áreas externas da edificação colocaram vegetação circundando a escola. O mesmo processo de criação de um modelo tridimensional eletrônico foi elaborado e nomeado Cenário 2.

Figura 2. Maquete eletrônica do cenário 2. Fonte: Autores, 2018



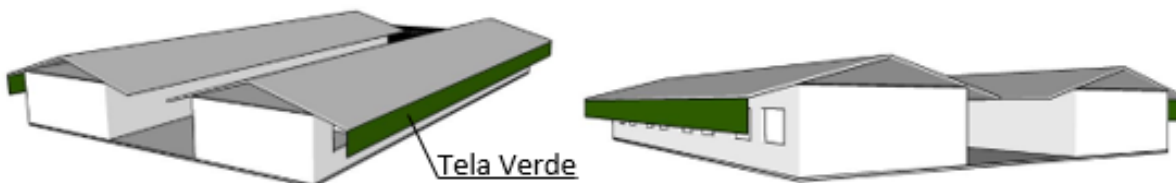
O terceiro grupo de alunos teve como proposta substituir as janelas grandes das salas de aula por janelas basculantes, com o intuito de diminuir a incidência direta do sol no ambiente. Além disso, o grupo colocou como uma alternativa o forro elevado e a adição de vegetação. Uma maquete eletrônica foi executada e nomeada Cenário 3.

Figura 3. Maquete eletrônica do cenário 3. Fonte: Autores, 2018



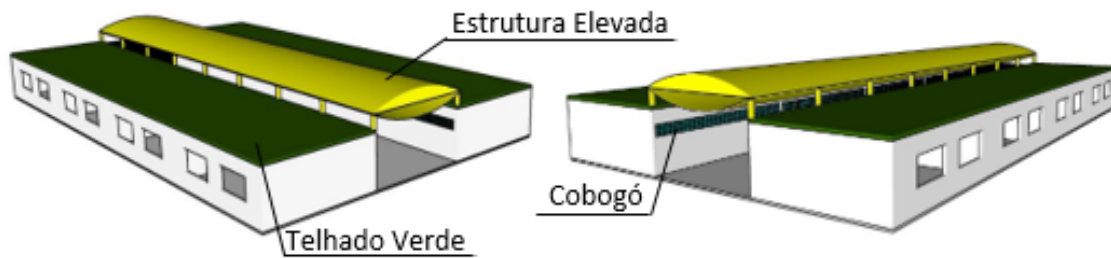
O quarto grupo de alunos propôs a adição de vegetação ao redor da escola e adição de uma tela de proteção verde nas janelas das salas de aula, o que diminuiria a incidência da luz solar direta. A maquete eletrônica realizada foi nomeada Cenário 4.

Figura 4. Maquete eletrônica do cenário 4. Fonte: Autores, 2018



A maquete do Cenário 5 foi elaborada de acordo com as propostas geradas pelo quinto grupo de alunos da oficina. Nesse modelo foi adicionado um telhado verde sobre os blocos de sala de aula e vegetação circundando a escola. Os alunos também tiveram a ideia de adicionar cobogós nas paredes com acesso ao pátio central e uma estrutura elevada que cobre o pátio dos raios diretos, mas permite que ainda entre luz natural difusa e ventilação natural.

Figura 5. Maquete eletrônica do cenário 5. Fonte: Autores, 2018



### Simulação computacional

Após a montagem dos cenários no workshop, inicia-se a fase de simulações dos cenários obtidos. As propostas apresentadas no tópico workshop são redesenhadas e simuladas no DesignBuilder, interface gráfica para a simulação térmica dinâmica por meio do software EnergyPlus 6.0. No programa, com auxílio da plataforma de modelação tridimensional, e por meio de menus, é possível informar os dados e características das edificações a serem analisadas.

Primeiramente, cria-se um modelo tridimensional do centro educacional no seu estado atual, colocando os materiais originais e todos os dados climáticos da cidade de Brasília, Brasil, a fim de obter verossimilhança com a realidade do modelo construído. Essa simulação é nomeada Cenário 0, representando o cenário original e atual da escola. Em seguida são simulados todos os cenários criados e exemplificados no tópico workshop. As alterações propostas em cada modelo é reproduzida, e assim como na simulação do cenário 0, são empregados os dados de localização e fuso horário da cidade do material de estudo.

Os dados simulados pelo programa são dispostos em uma tabela, que é organizada em um software editor de planilhas para retirada dos dados necessários para realização da pesquisa. As informações utilizadas para análises e estudos foram os resultados de temperatura operativa e temperatura externa de bulbo seco. Como parâmetro adotado, o ambiente melhora o seu conforto térmico quando a temperatura neutra (TN) resulta, a partir do cálculo:  $\text{Temperatura do Ar} \times 0,314 + 17,6 \text{ o C}$ , em um resultado menor que a temperatura operativa, mostrando um resfriamento do ambiente.

### Resultados

A partir dos estudos anteriores analisados, foi possível verificar a necessidade de dados de simulação para concretização dos resultados que dispositivos bioclimáticos propiciam nos ambientes escolares em relação ao conforto térmico. Através dos estudos, foi possível também adquirir contato com o centro de ensino selecionado para pesquisa e coletar informações necessárias para a concretização e criação dos modelos para pesquisa.

O workshop realizado com os alunos da CEM 01 de São Sebastião propiciou as informações sobre as reais necessidades que a escola sofria e por comentários dos próprios usuários foi possível adquirir o conhecimento das áreas mais críticas do edifício. Desse modo a escolha de trabalhar, junto aos alunos, um modelo tridimensional das salas de aula tornou possível a criação de cenários e então análises dos dispositivos bioclimáticos que poderia trazer maior conforto nas áreas de estudo, sendo essa etapa fundamental para a elaboração dos modelos computacionais a serem simulados.

Os dados adquiridos a partir da plataforma de planilhas foram divididos em turnos equivalentes às horas de funcionamento da escola, sendo o turno matutino de 7 horas da manhã às 12 horas da tarde, o turno vespertino das 13 horas às 18 horas da noite e o turno noturno das 19 horas às 23h horas da noite. Os dados também foram separados em conformidade com os dias de funcionamento da escola, de segunda-feira a sexta-feira.

Comparando-se o cenário 0 (realidade atual) aos cenários criados, foi possível observar os seguintes resultados de percentual de horas confortáveis:

O turno matutino, apresentou melhoria de 12% no cenário 1, de 16% no cenário 3 e de 12% no cenário 5. Nos cenários 2 e 4 o resultado se manteve o mesmo do original.

Já no turno vespertino, o cenário 1 obteve melhoria de 16%, o cenário 3 de 28% e o cenário 5 de 27%. O cenário 4 não apresentou melhorias, mantendo o mesmo resultado do cenário 0. Entretanto, o cenário 2 demonstrou uma redução do conforto em relação ao resultado de 1% do cenário original.

O último turno de funcionamento da escola, teve melhorias apenas nos cenários 3 e 5, o primeiro em 8% e o segundo em 1%. Os cenários 2 e 4 se mantiveram em relação aos resultados enquanto o cenário 1 apresentou redução de sua eficiência de horas confortáveis em 1%.

**Tabela 1.** Planilha de resultados de cenários analisados separados por turno. Autores, 2018.

	Cenário 0	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5
Matutino	80%	92%	80%	96%	80%	92%
Vespertino	59%	75%	58%	87%	59%	86%
Noturno	1%	0%	1%	9%	1%	2%

A tabela 1 apresenta os cenários e suas respectivas horas de conforto de acordo com o turno simulado. O cenário 0, ou seja o cenário original de como é a escola atualmente, apresenta 80% de horas confortáveis no turno matutino, 59% de horas confortáveis no turno vespertino e 1% de conforto durante o período noturno. Esses dados foram usados para comparação das horas confortáveis adquiridas nos outros cenários. O resultado de porcentagem em outro cenário criado é diminuído pela porcentagem do cenário 0 e assim obtido a resposta da quantidade de horas confortáveis a mais que os dispositivos bioclimáticos utilizados ocasionam no modelo.

É possível observar a partir da tabela que o cenário que possibilitou a maior diminuição da temperatura no interior dos blocos de sala de aula foi o cenário 3, com alteração das janelas atuais para basculantes, adição de forro elevado e vegetação circundando a escola.

## Discussão e Conclusão

A padronização de projetos de edifícios escolares públicos limita o potencial de conforto térmico de seus usuários em diferentes turnos do dia. Desse modo, apresenta-se a importância da adequação deste projeto escolar em relação ao conforto térmico dos ambientes. Sendo assim, apresenta-se a relevância da inserção da arquitetura bioclimática em projetos de edifícios de instituições de ensino. Desde a concepção, deve ser considerado os aspectos de habitabilidade da edificação, além da localização e predominância de clima da cidade a ser implantada.

O momento da visita in loco foi importante pois, por meio do contato direto com os frequentadores da escola, foi possível conhecer suas queixas quanto às temperaturas elevadas e o baixo nível de desconforto térmico dentro das salas de aula. O momento workshop foi fundamental para qualificar os resultados das simulações, pois, a fim de incentivar a aprendizagem sobre dispositivos bioclimáticos e seus possíveis efeitos, a oficina realizada com os alunos mostrou a necessidade do estudo de um plano de necessidades antes de realizar as modificações de um projeto para que o mesmo atenda aos trabalhos realizados no interior do edifício, além de um conhecimento e discussão mais aprofundados dos materiais a serem utilizados na intervenção.

O estudo de caso da escola CEM 01 de São Sebastião mostra um dos padrões seguidos no Brasil para edificações escolares. A ineficiência térmica apresentada no edifício a partir de resultados de simulação computacional, mostra a importância da aplicação de dispositivos bioclimáticos no edifício da escola. A partir desses resultados foi possível comparar os dados obtidos das simulações dos cenários propostos com a adição de dispositivos bioclimáticos

específicos. Neste sentido, conclui-se que a intervenção responsável pelo ganho de 28% de conforto deve ser implementada pela escola.

Os resultados obtidos baseados em medidas de evidência visam informar políticas públicas que a inserção de elementos bioclimáticos alteram e melhoram significativamente o percentual de horas confortáveis dentro dos edifícios escolares, podendo assim contribuir para a produtividade e rendimentos dos funcionários e alunos que frequentam o ambiente escolar.

## Agradecimentos

Agradecemos à Fundação Universidade de Brasília (FUB) pelo patrocínio e incentivo ao Programa de Iniciação Científica (ProIC), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas bolsas concedidas e ao grupo Climate Adaptive Just Urbanism (CAJU Initiative) pelos dados fornecidos.

## Referências

- Distrito Federal, Administração Regional de São Sebastião. Obtido em: <http://www.saosebastiao.df.gov.br/category/sobre-a-ra/conheca-a-ra/>
- Natural Works, Design Builder Software. DesignBuilder Introdução. Obtido em <http://natural-works.com/db/introducao/110-designbuilder>
- DE SOUZA, A. P. A.; (2005). Uso de energia em edifícios: estudo de caso de escolas municipais e estaduais de Itabira, Minas Gerais. Belo Horizonte, Minas Gerais.
- Ecker, V. D. (2012) Habitação residencial: a integração à paisagem local com base em estratégias paisagísticas mais sustentáveis. In: XIV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Juiz de Fora, Minas Gerais.
- Gauzin-Muller,, D. (2011). Arquitetura ecológica. Editora SENAC.
- Godoi, G. (2010) Conforto térmico nas edificações escolares públicas: análise da implantação do projeto padrão 023 da rede pública de ensino do estado do Paraná. Monografia de especialização.
- Grasso, R., Pilar A.; Ghisi, E.; Lamberts, R. (1998) Avaliação energética do edifício sede da Telesc: retrofit do sistema de iluminação e simulação. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO.
- i + i consulting, SILVESTRE, I., MEDINA, I. (2016). Estratégias ambientais para edifícios de escritórios.
- Initiative, C. (2017). Refresca São Paulo. Obtido em: <https://www.cajuinitiative.org/refresca-so-paulo->
- Initiative, C. (2018) Resilient School Project in Brasilia. Obtido em: <https://www.cajuinitiative.org/resilient-school-project-in-brasili>
- Kuhn, E. A. (2006). Avaliação da sustentabilidade ambiental do protótipo de habitação de interesse social Alvorada. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS.
- Lamberts, R.; Dutra, L.; Pereira, F.(1997). Eficiência energética na arquitetura. São Paulo: PW Editores.
- Lamberts, R.; Ghisi, Enedir; PAPST, Ana Lúcia (2000). Apostila – Desempenho térmico de edificações (Consumo de eletricidade em edificações). LabEEE. Florianópolis.
- Santana, M. V. (2006). Influência de parâmetros construtivos no consumo de energia de edifícios de escritório localizados em Florianópolis - SC. Florianópolis. SC.
- Solano, R. B. P. (2008) A importância da arquitetura sustentável na redução do impacto ambiental.
- Westphal, F. S.; Lamberts, R. (2000) Proposta de Melhoria na Eficiência Energética de um Edifício Comercial. In: VIII Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, Salvador, Bahia.