



# O conforto térmico de áreas escolares: análise da vegetação por meio do ENVI-met

## Thermal comfort of school áreas: vegetation analysis using ENVI-met

Luna Catrina Pontes Nascimento

Filiação: Universidade de Brasília (UnB)

Endereço: Faculdade de Arquitetura – Instituto Central de Ciências Norte, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Brasília - Distrito Federal, Brasil (70910-900)

E-mail: lunacatrina@aluno.unb.br

Caio Frederico e Silva

Filiação: Universidade de Brasília (UnB)

Endereço: Faculdade de Arquitetura – Instituto Central de Ciências Norte, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Brasília - Distrito Federal, Brasil (70910-900)

E-mail: caiosilva@unb.br

Código del manuscrito: 02\_004

Fecha de aceptación: 30/08/19

### Resumo

A premissa de que a vegetação aumenta o conforto térmico em microclimas urbanos foi analisada neste estudo como uma solução para áreas externas escolares, visto que no atual panorama esses ambientes escolares não proporcionam boas condições térmicas. Para isso, buscou-se analisar a influência que as áreas verdes exercem em espaços livres de uma escola pública por meio de simulação computacional. Usou-se como objeto de estudo a escola Centro de Ensino Médio (CEM-01) localizada em São Sebastião, Distrito Federal (DF). Toda a área da escola foi simulada no *software* ENVI-met (versão 4.4) comparando o conforto térmico em dois cenários: com e sem vegetação. Além disso, aplicou-se um questionário aos alunos com o intuito de conhecer a percepção do usuário sobre o conforto no local. A análise do conforto térmico foi expressa pelo índice de voto médio estimado (*Predicted mean vote* - PMV), da temperatura radiante média (TRM) e da avaliação das respostas ao questionário. Os resultados do questionário apontaram uma atual situação de desconforto térmico por calor nos espaços livres da escola. Foi observado que as escalas de PMV variaram entre “confortável” e “quente” nas áreas com vegetação e houve uma redução máxima de 11% na TRM entre os dois cenários, proporcionando uma melhora no conforto térmico do local. Esses resultados indicam que o uso da vegetação é uma solução com grande potencial para o problema apontado.

**Palavras chaves:** Conforto térmico, vegetação, ambiente escolar, simulação computacional.

### Abstract

The premise that the vegetation increases thermal comfort in urban microclimates have been used as a solution for outdoor school areas, since the schools' environments in the current overview are not providing good thermal conditions for the students. In this regard, it was sought analyses the influence that green areas exert on free spaces in a state school using computer simulation. The object of study was the Centro de Ensino Médio CEM-01 school located in São Sebastião, Distrito Federal (DF). The whole school area has been simulated at the software ENVI-met (version 4.4). It compares the thermal comfort in the school in two scenarios:



with and without vegetation. In addition, the students answered a questionnaire in order to be aware of the user's perception of comfort on site. The comfort analysis used the index of Predicted Medium Vote (PMV), the mean radiant temperature (MRT) and the evaluation of the answers of the questionnaire. The questionnaire responses suggest a thermal discomfort situation for heating in the school. It was noticed that PMV levels in the scenario with vegetation varied between "warm" and "neutral" and there was a maximum reduction of 11% in TRM between the two scenarios, providing an improvement in thermal comfort. These results indicate that the use of vegetation is a solution with great potential for the problem noted.

**Keywords:** Thermal comfort, vegetation, school environment, computer simulation.

## Introdução

Com a urbanização acelerada e a crescente especulação imobiliária, os espaços construídos e pavimentados tomaram o espaço dos cenários urbanos em detrimento dos espaços verdes. Uma exemplificação dessa afirmação é Nova Iorque que teve cerca de 20% de sua cobertura vegetal perdida entre 1992-2002 (Shinzato, 2018). Apesar das áreas de preservação do cerrado, estima-se que 48,58% de sua vegetação tenha sido reprimida até 2010 (MMA e IBAMA, 2011), o caso é ainda mais crítico quando se observa o Distrito Federal, pois calcula-se que houve perda de quase dois terços de sua vegetação nativa (PROBIO - MMA, 2007).

A perda de áreas verdes afeta diretamente o conforto térmico nos microclimas urbanos, dado que quanto mais áreas construídas, mais altera-se o comportamento das superfícies. O que pode resultar em problemas de escoamento de água, aumento da temperatura, ofuscamento devido às superfícies muito reflexivas e alteração da percepção do usuário ao espaço em que se encontra (MARTELLI, 2016).

Para o desconforto térmico causado pela intensa retirada de plantas dos espaços construídos, uma das soluções adequadas é o plantio de mais áreas verdes, como foi constatado por Duarte (2015), que propõe a infraestrutura verde como meio de amenizar o fenômeno de aquecimento.

Assim como as cidades, as áreas escolares também são afetadas por esse problema de retirada de vegetação, é comum que elas tenham pátios pavimentados e poucas de áreas verdes, não por falta de espaço, mas muitas vezes por falta de disposição para manter essas áreas vegetadas como pôde ser constatado no estudo feito por Fredizzi, Tomasini e Cardoso (2003), onde a maioria das áreas verdes em escolas ou não existiam ou se encontravam em mau estado de conservação. Tal fato aponta para a falta de importância dada à vegetação e aos seus efeitos no conforto térmico quando se trata de escolas.

Proporcionar o conforto necessário para o desempenho das funções do ambiente escolar deveria ser uma preocupação no projeto de uma escola. O conforto do ambiente escolar influi tanto no desempenho acadêmico dos usuários, pois o calor pode afetar a atenção e a memória dos alunos ((BATIZ *et al.*, 2009), como também implicar em problemas na saúde, causando dores de cabeça e dificuldades para respirar (PUTEH, 2012). Contudo essa preocupação não se aplica na prática visto que o desconforto escolar é um problema recorrente e já foi objeto de estudo de diversos pesquisadores, como Kowaltowski (2011) e Romero (2003).

Logo, essa pesquisa pretende analisar a influência da vegetação no microclima local de áreas externas escolares e sua atuação no conforto térmico dos usuários.

## Estado de arte do problema

O desconforto térmico é tema de diversas pesquisas no cenário internacional e já foi constatado que a vegetação tende a reduzir as ilhas de calor e temperaturas máximas durante o dia, ao impedir a insolação em grandes áreas na superfície do solo e ao controlar a umidade nas cidades (DUARTE *et al.*, 2014). Além disso, as árvores absorvem parte da radiação solar, o que diminui a temperatura superficial e a emissão da radiação no ambiente (LABAKI *et al.*, 2011) e diminui a radiação solar absorvida pelo usuário (PICOT, 2004), proporcionando um microclima urbano mais agradável.

No entanto, quando se trata de ambientes escolares, há muitos estudos apontando o desconforto térmico nesses espaços, contudo grande parte deles está voltada para a edificação e para o conforto nos espaços internos. Como é o caso das pesquisas: “Niveles de confort térmico em aulas de dos edificios escolares del área metropolitana de San Juan” (RÉ *et al.*, 2017) e “Avaliação do Conforto Térmico em uma sala de aula” (CORREIA *et al.*, 2016).

Portanto, é comprovado cientificamente que áreas verdes tem forte influência no conforto térmico do microclima local, entretanto pouco se estuda sobre a vegetação como uma solução para o desconforto térmico nas escolas. Ademais, estudos apontam relações bem-sucedidas quando a vegetação é implantada em escolas (Jansson *et al.*, 2013).

## Metodologia

Visto que o foco da pesquisa é o estudo do conforto térmico, o parâmetro utilizado para classificar as alterações térmicas propiciadas pela vegetação foi o PMV – *Predicted Mean Vote* ou Voto Médio Estimado – já que é um índice normatizado e fundamentado pela ISO 7730 e o dado calculado abrange não só as variáveis climáticas, como também



as características da atividade metabólica e das vestimentas do usuário. Além disso, é um dos índices mais utilizados na literatura de conforto térmico e apresentam uma maior assimilação por trabalhar com conceito de frio e calor que é mais compreensível para as pessoas (Silva, 2013).

Embora o PMV seja um índice de medição inicialmente desenvolvido para ambientes internos, estudos demonstram que a aplicação do PMV para ambientes externos é adequada (HONJO, 2009). Análises também foram feitas com os dados da temperatura radiante média (TRM), variável que compõe a fórmula para o cálculo de PMV desenvolvido por Fanger e que tem grande influência no desconforto local (ISO, 2005).

A metodologia consiste em simular a escola em um modelo virtual tridimensional e comparar dados de dois diferentes cenários, sendo o primeiro o projeto da escola sem vegetação alguma em seu lote e o outro sendo a escola com vegetação implementada de acordo com uma imagem do dia 28 de maio de 2016 encontrada no Google Earth com área vegetada de aproximadamente 600 metros quadrados. A extração de dados foi obtida por meio de simulações computacionais, o *software* utilizado foi o ENVI-met versão 4.4.0, por ser um programa que permite simular as interações a vegetação, a atmosfera e as superfícies urbanas do microclima (BRUSE e FLEER, 1998). Simultaneamente à simulação, foi aplicado um questionário aos alunos.

### Objeto de Estudo

O objeto de estudo escolhido foi a escola CEM 01 de São Sebastião, DF que possui vínculo com a UnB por meio do projeto Escolas Bioclimáticas <sup>[1]</sup>. O CEM 01 é uma escola pública de ensino médio que funciona no período matutino, vespertino e noturno. A edificação é composta por 4 alas de salas dispostas linearmente e com uma área administrativa ligando-as perpendicularmente, assim como é mostrado na planta da escola na figura 1. No centro da escola há um pátio que era arborizado, no entanto, as árvores de grande porte foram retiradas em 2018 por questões de infiltração, mas tal fato gerou muitas queixas de desconforto térmico por parte dos usuários da escola, a ponto de ser necessário contratar um projetista para melhorar a situação.

O projeto escolar foi escolhido como objeto de estudo por três fatores-chave: levando em conta que o enfoque do estudo é a área externa escolar, optou-se por escolher uma escola que tivesse área em seu entorno disponível para plantio de vegetação e um projeto simples e convencional, dado que a diferença das plantas escolares foi desconsiderada na pesquisa; outro fator foi o entendimento dos alunos sobre a importância das árvores para o conforto térmico, devido à percepção da mudança no microclima da escola; e por fim, o vínculo da escola com a UnB permitiu que visitas fossem feitas a fim de se obter um maior entendimento da situação em que a edificação e o seu entorno se encontravam.

<sup>1</sup> Projeto Escolas Bioclimáticas é um projeto desenvolvido pelo professor doutor Caio Frederico e Silva e pela professora doutora Liza Maria Souza de Andrade desde 2015 como projeto de extensão da Faculdade de arquitetura e urbanismo da UnB.



**Figura 1.** Fotos da escola CEM 01 de São Sebastião. (Fotos tiradas pela autora, 2019).

## Questionário

Com o intuito de extrair dados para simulação e para ter conhecimento da percepção térmica do aluno, foi aplicado o questionário a 105 alunos no dia 5 de abril de 2019. Foram entrevistados alunos de ambos os sexos, de várias idades e em diferentes séries do ensino médio. Essa coleta foi feita no período vespertino por ser o horário de maior desconforto térmico.

O questionário foi embasado nos modelos de questionários feito por Marcelo Romero e Sheila Ornstein (2003) e por Hirashima (2010). As perguntas iniciais eram referentes ao peso, altura e idade de cada um, a fim de se estabelecer as tendências centrais desses dados e conseguir simular um aluno padrão da escola, também havia questões referentes às vestimentas dos alunos e à atividade que eles exerceram nos últimos dez minutos, para se obter o índice CLO padrão e a taxa metabólica respectivamente. Os alunos também foram questionados sobre quais sensações de conforto eles sentiam naquele momento.

## Modelo no ENVI-met

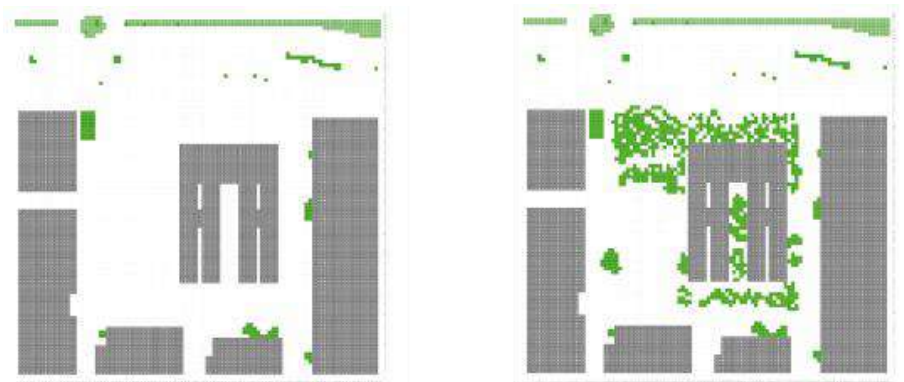
A escola CEM 01 foi usada como referência na modelagem, pois o processo de retirada das árvores é pertinente com o assunto abordado nesse artigo, contudo os cenários de vegetação simulados não são exatamente correspondentes ao cenário atual da escola. A imagem do lado esquerdo da figura 2 é uma foto de satélite da escola de 2016, período no qual houve a maior presença de árvores no pátio central da escola, e a imagem à direita é uma foto satélite de 2019 que retrata a situação atual da escola. Para a análise, foi delimitado uma área de aproximadamente 200 x 200 metros em torno da escola que está delimitada por um contorno vermelho nas imagens.



**Figura 2.** Vista satélite do entorno da escola em 2016, à esquerda, e em 2019, à direita. (Fonte: GOOGLE EARTH, 2019).

A área foi modelada em um *grid* de 100 x 100 x 30 *pixels*, sendo cada *pixel* equivalente a 2 x 2 x 1 metros. Não foram usados *nesting grids*, entretanto os *pixels* das bordas foram deixados livres e sem preenchimento de edificações ou vegetação com o propósito de não afetar os resultados da simulação.

Para maior entendimento da influência da vegetação no microclima da área delimitada, foi simulado um cenário sem nenhuma vegetação no lote da escola, apenas no entorno, como mostra a figura 3. O cenário com vegetação corresponde à figura 4, que foi baseada na área vegetada da escola no ano de 2016.

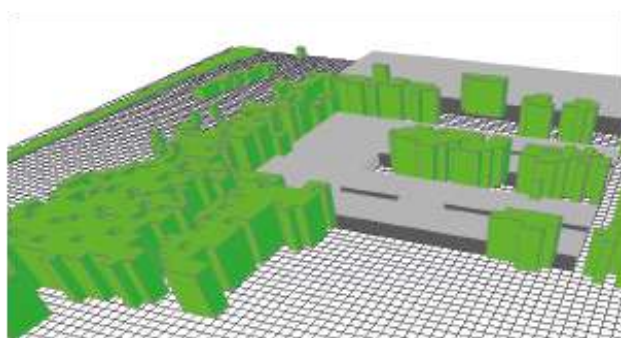


**Figura 3.** Modelagem do cenário sem vegetação à esquerda. (Fonte: ENVI-met, 2019).

**Figura 4.** Modelagem do cenário com vegetação à direita. (Fonte: ENVI-met, 2019).

Para o material da edificação da escola e do entorno, usou-se como material a parede padrão do programa e as alturas foram definidas de acordo com a altura do projeto da escola. O entorno foi analisado, e por ser em sua maioria construções térreas e alguns sobrados, adotou-se uma altura padrão de 4 metros. Os materiais das superfícies, em geral correspondiam ao material real da escola, apenas a brita que foi substituída por tijolos por ser o material existente no programa que mais se assemelhava à brita. As vegetações usadas foram versões padrão do *software* e na modelagem das árvores alguns *pixels* foram deixados sem preenchimento para balancear com a alta densidade das árvores do programa como é visualmente detectável na figura 5. Todos os materiais usados estão presentes na tabela 1.

**Figura 5.** Visualização em 3D da modelagem do cenário com vegetação. (Fonte: ENVI-met, 2019).



**Tabela 1.** Materiais usados na simulação. Fonte: Elaboração própria, 2019.

Material da Escola	Material Adotado no ENVI-met
Paredes das Construções	[000000] Default Wall - moderate insulation
Solo	[0100LO] Loamy Soil
Calçada	[0100PG] Concrete Pavement Gray
Asfalto	[0100ST] Asphalt Road
Brita	[0100KK] Brick road (red stones)
Árvores	Tree 10 m very dense, leafless base
Arbustos	Hedge dense, 2m
Gramma	Grass 50 cm aver, Dense

Por limitações de custos, não foi possível extrair os próprios dados climáticos, portanto utilizou-se os dados da estação climática automática de Brasília mais próxima do lote, que corresponde à estação automática localizada em no Instituto Meteorológico de Brasília. Os dados foram referentes à data da aplicação do questionário para maior similaridade entre dados e uma maior correspondência entre as comparações. Os dados climáticos obtidos foram aplicados no ENVI-met por meio do *Simple Forcing* para obtenção dos dados de todas as horas do dia simuladas. No total, foram 26 horas de simulação para cada cenário modelado e as 3 primeiras horas foram descartadas por não apresentarem dados confiáveis.

Com as respostas do questionário, foi possível determinar os parâmetros que seriam usados para a obtenção do índice PMV – *Predicted Mean Vote* no *plugin* BioMet do programa, dados tabela 2. A taxa metabólica basal foi calculada pelo próprio programa referente a uma velocidade média do usuário de 0 m/s, dado que a maioria dos alunos estavam realizando atividade sedentária. Com todos os dados simulados, extraiu-se os mapas no *plugin* Leonardo e os gráficos no Excel.

**Tabela 2.** Dados usados para cálculo do PMV. Fonte: Elaboração própria, 2019.

Dados para Obtenção do PMV	
Idade	17
Altura	1,65 m
Peso	60 kg
Sexo	Feminino
CLO	0,5

## Resultados

As análises computacionais foram feitas no horário de 9 às 16 horas por serem os dados mais concisos e conclusivos da simulação. A partir disso analisou-se a diferença entre as temperaturas radiantes e os índices de PMV desses horários entre cada cenário estudado.

**Tabela 3.** Níveis de conforto de acordo com o valor do PMV. Fonte: Elaboração própria, 2019.

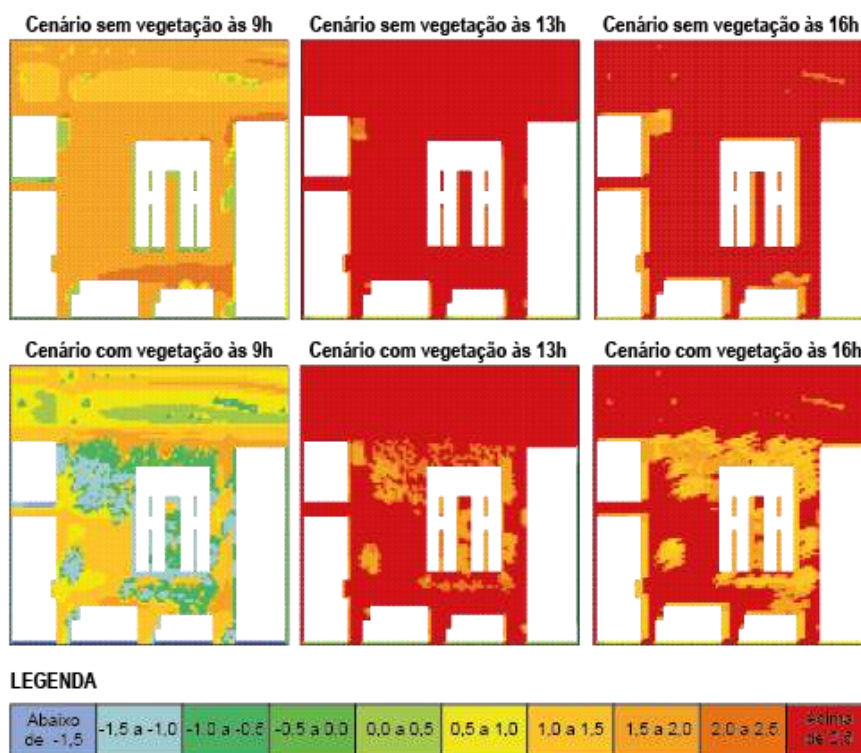
Valor de PMV	Nível de Conforto
Acima de 2,5	Externamente frio
-2,0 até 2,5	Muito frio
-1,5 até -2,0	Frio
-1,0 até -1,5	Pouco frio
-1,0 até -0,5	Levemente frio
-0,5 até -0	Confortável
0 até 0,5	Confortável
0,5 até 1,0	Levemente quente
1,0 até 1,5	Pouco quente
1,5 até 2,0	Quente
2,0 até 2,5	Muito quente
Acima 2,5	Externamente quente



Cada valor de PMV se enquadra em um nível de conforto referente aos estudos de Fanger (1970), dessa forma a leitura e interpretação ficam mais entendíveis. O nível de conforto para cada dado de PMV resultante da simulação se encontra na tabela 3 (baseada na tabela de SILVA, 2013).

A figura 6 representa os mapas com os dados obtidos dos PMVs extraídos da simulação, os horários representados são: 9 horas, representando o início do dia e um horário no qual houve poucas horas de exposição aos raios solares, 13 horas, representando um meio termo e também equivalente ao horário em que se visitou a escola, e 16 horas, horário de maior carga térmica dos materiais.

### MAPAS COM RESULTADOS DO PMV



**Figura 6.** Mapas com dados do índice de PMV nos cenários simulados extraídos do Leonardo. (Fonte: ENVI-met, 2019).

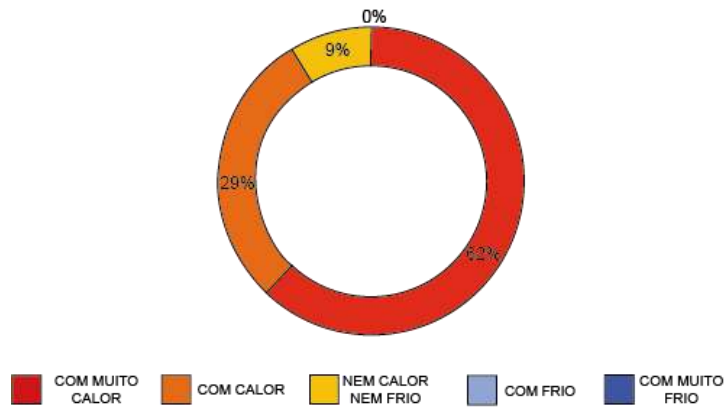
Nota-se que no cenário sem vegetação há uma predominância de áreas extremamente quentes, principalmente das 13 às 16 horas, horário em que os materiais já absorveram bastante calor e começam a irradiá-lo, e mesmo no início do dia, a sensação térmica resultante é “quente”, no cenário sem vegetação há predomínio da sensação de desconforto por calor ao longo de todas as horas do dia.

Ao implementar áreas vegetadas na escola, percebe-se que foram reduzidos os níveis de estresse por calor, e locais onde o valor do PMV indicava um ambiente “extremamente quente” no cenário sem vegetação, houve redução para ambientes “muito quentes”, “quentes” e até “pouco quentes”. Embora não tenha sido possível alcançar níveis de conforto nos horários mais críticos, é possível notar regiões com condições mais amenas, em especial nos locais mais próximos de onde foram colocadas as plantas. O horário de maior alteração foi no pátio descoberto às 9h, onde de “quente” (2,1) passou para “pouco frio” (-1,3), reduzindo 3,4 pontos na escala de conforto estabelecida por Fanger. Também se observa que apenas no horário das 9h às 10h foi possível verificar níveis de conforto, assim como constatou-se em uma avaliação do conforto térmico conforme Lima *et al.* (2009).

O cenário atual da escola corresponde a um meio termo entre os cenários ensaiados, pois há presença de áreas verdes, mas não há muita presença de árvores frondosas no pátio escolar, área que se encontra bastante próxima das salas de aulas, por isso, não é correto afirmar que os valores informados no questionário são os mesmos extraídos da simulação. Contudo esses dados da simulação podem ser analisados junto às respostas dos alunos que demonstram um descontentamento com a condição microclimática atual da escola, pois ao perguntar sobre a sensação térmica que os alunos estavam sentindo no momento, 91% dos alunos se queixaram de calor e apenas 9% estavam neutros em relação à sensação térmica, e nenhum entrevistado estava sentindo frio (gráfico 1).

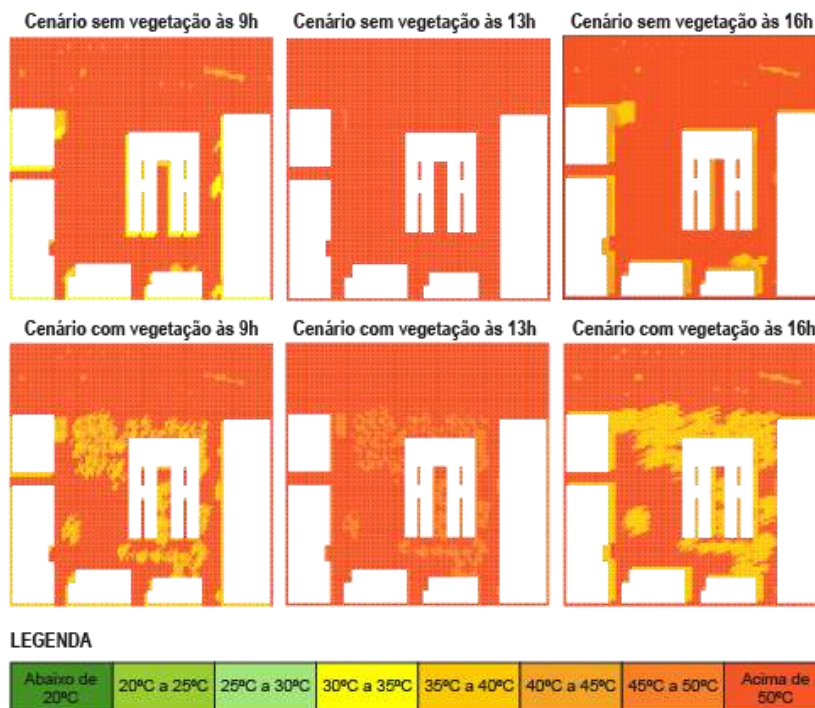
**Gráfico 1.** Sensação térmica dos alunos durante a aplicação do questionário. Fonte: Elaboração própria, 2019.

RESPOSTA DOS ENTREVISTADOS À PERGUNTA:  
 COMO VOCÊ ESTÁ SE SENTINDO AGORA?



A figura abaixo representa os mapas da TRM também nos horários de 9, 13 e 16 horas.

### MAPAS COM RESULTADOS DA TEMPERATURA RADIANTE

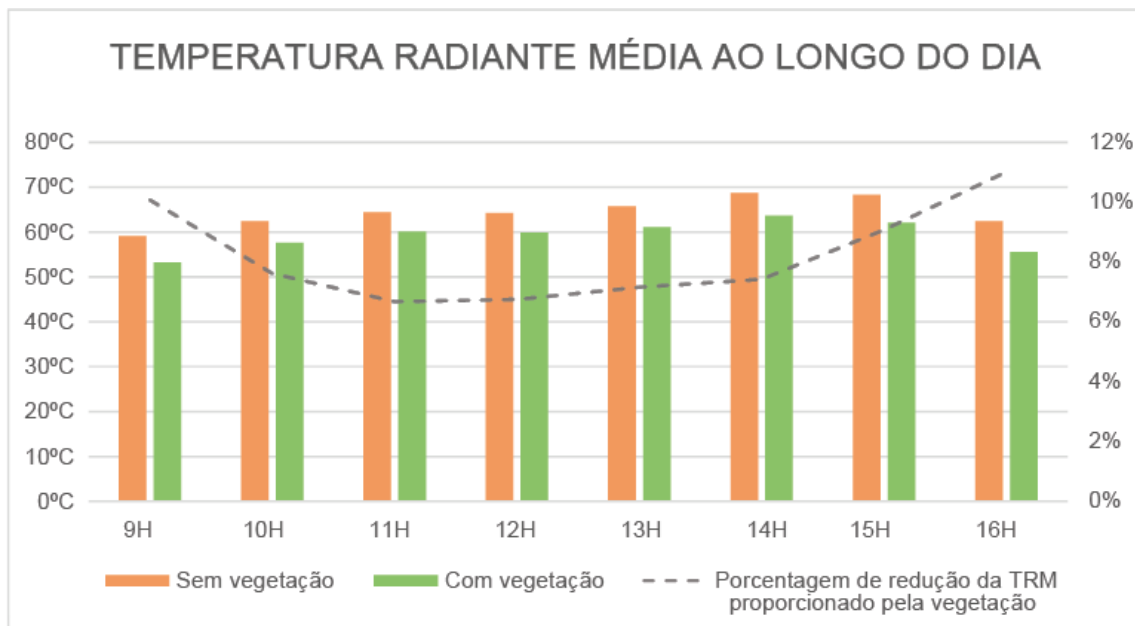


**Figura 7.** Mapas com dados do índice de TRM nos cenários simulados extraídos do Leonardo. (Fonte: ENVI-met, 2019).

Os resultados da temperatura radiante, assim como o esperado, tiveram o mesmo comportamento que os resultados dos índices de PMV, as temperaturas radiantes no cenário sem vegetação resultaram, em sua maioria, em temperaturas radiantes médias acima de 50°C, mas também houve ocorrência de temperaturas entre 35 a 45 °C próximos às edificações. Após a implementação da vegetação, a temperatura radiante nas áreas em que se aplicou as espécies arbóreas reduziu efetivamente em torno de 10 a 15 °C.

Com os dados extraídos do *plugin* Leonardo, calculou-se a média de todos os valores de temperatura radiante em toda a área analisado durante o intervalo de tempo e então comparou-se o valor obtido ao longo do dia para cada cenário. É importante ressaltar que os *pixels* que continham edificações não foram considerados nessa análise por não fazerem parte da análise urbana que o ENVI-met simula. A temperatura radiante média da área vegetação é numericamente menor que a da mesma área entorno sem a presença de vegetação, ao longo das horas essa redução variou de 7 a 11% em média. O horário de maior redução foi às 16 horas e os valores de menor redução às 11h, o que permite constatar que essa redução tende a ser maior no início e no fim do dia.

**Gráfico 3.** TRM durante o período das 9 às 16 horas e taxa de redução da TRM . Fonte: Elaboração própria, 2019.



## Discussão e Conclusões

Diferente das áreas públicas que costumam ter um maior potencial de implementação de áreas verdes, a área escolar costuma ter áreas permeáveis menores, geralmente se restringindo a pátios e entrada das escolas, por isso muitas vezes a implementação de vegetação não é vista como uma solução de conforto na escola, sendo geralmente tratada apenas como uma proposta de melhoria de conforto apenas em espaços urbanos e públicos.

Portanto foi proposto estudar cada vez mais a vegetação como amenizadora do microclima de escolas e quantificar essas análises, posto que a melhora no desconforto do microclima já é comprovada por artigos sobre conforto urbano de diferentes metodologias.

Devido às frequentes queixas relatadas de desconforto térmico e aos dados sobre a sensação térmica dos alunos no dia, foi possível constatar uma congruência relativa aos resultados simulados. Observou-se que os alunos se queixaram de extremo desconforto por calor durante a aplicação do questionário, assim como indicou a simulação. É importante relatar que a data simulada corresponde ao mês de maio, que em Brasília, é o mês de início da seca, onde cessam as chuvas, mas o índice de umidade mensal é por volta de 70%. Embora seja o início da seca, a escola já apresenta níveis de desconforto térmico por calor, portanto acredita-se que nos meses mais secos (de julho a setembro), a situação seja ainda mais agravante.

Essa questão é resultante de um descaso com os projetos escolares no Brasil, que não se preocupam com o conforto térmico do espaço projetado e também implementam plantas sem estudo prévio para saber se as espécies se adequam ao uso estabelecido, como é o caso das árvores que estavam causando infiltração no pátio.

Nesse estudo, a aplicação de vegetação não foi capaz de solucionar todo o desconforto térmico da escola, no entanto, a vegetação apresentou-se como uma solução para melhora do microclima escolar e com grande potencial e capaz de amenizar do estresse térmico causado por calor, visto que foi responsável por uma redução de até 11% na temperatura radiante média e uma amenizada nas áreas de extremo desconforto e potencial de redução de até 3



níveis de conforto na escala do PMV. Logo, a proporção da vegetação e do microclima estudado indicam o grande potencial que a vegetação tem de reduzir calores extremos.

Ainda que tenham sido usados outros parâmetros em diferentes pesquisas, já havia sido observado anteriormente dados que apresentavam que a vegetação era responsável pela redução dos níveis de desconforto, ao passo que árvores têm o potencial de reduzir 13% do índice PET (ZOLCH *et al.*, 2016) e variar 10°C no índice TEP e 13,4°C no índice PET ao nível do pedestre com a inserção de vegetação (DUARTE, 2015). Kowaltoski *et al.* (1999) haviam proposto a vegetação como solução de conforto em escolas. Acredita-se que com a implementação de soluções simples que não exijam grandes alterações no projeto da escola, por exemplo brises como propõem Kowaltowski *et al.* (1999). Em conjunto com a inserção de vegetação nas escolas é bem provável que se consiga proporcionar melhores níveis de conforto ao longo do dia no ambiente escolar.

Comprovar, por meio desse estudo, que a vegetação pode ser uma solução para o problema de desconforto térmico em escolas pode tornar as áreas vegetadas – tão negligenciadas ultimamente – mais presentes nas escolas, e assim, amenizar problemas de desconforto térmico sem reformas na estrutura dos edifícios escolares e melhorar a experiência acadêmica dos alunos, uma vez que o desconforto térmico influi diretamente no desempenho dos estudantes.

O tema abordado tem potencial para ser aprofundado e trabalhado em pesquisas futuras. Como exemplo, recomenda-se que a vegetação empregada na simulação seja modelada tendo em vista que o modelo padrão do programa tem suas limitações, dessa forma seria possível a análise da influência de diferentes espécies de plantas nos pátios escolares e se estudar o tipo de vegetação mais adequado como árvores, fachadas verdes, espécies arbustivas, entre outras. Outra possibilidade é analisar as taxas de proporção entre áreas vegetadas e suas respectivas reduções de desconforto no microclima. Além disso, para que se valide a alteração do microclima nas salas de aula é preciso estudar as alterações que a vegetação proporciona no conforto térmico dentro das salas de aula.

## Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela bolsa fornecida que tornou possível o desenvolvimento dessa pesquisa. E a todos que acreditaram em mim e de alguma forma contribuíram para o decorrer desse estudo.

## Referências

- Batiz, E.; Goedert, J.; Morsh, J.; Kasmirski Junior, P.; Venske, R. (2009). Avaliação do conforto térmico no aprendizado: estudo de caso sobre a influência na atenção e memória (19), 477-488.
- Bruse, M.; Fler, H. (1998). On the Simulating of Surface-Plant-Air Interactions Inside Urban Environments. Germany, University of Bochum.
- Duarte, D. (2015). O Impacto da Vegetação no Microclima em Cidades Adensadas e Seu Papel na Adaptação aos Fenômenos de Aquecimento Urbano: contribuições a uma abordagem interdisciplinar. In: Infraestrutura verde: iniciativas locais e aplicações em políticas públicas. Brasil, Universidade de São Paulo.
- Duarte, D.; Shintazo, P.; Gusson, C.; Arch, C. (2014). The Impact of Vegetation on Urban Microclimate to Counterbalance Built Density in a Subtropical Changing Climate. São Paulo, Brasil, Elsevier.
- Encontro Nacional De Conforto No Ambiente Construído: Kowaltowski, D.; Borges Filho, F.; Labaki, L. *et al.* (1999). Melhoria do conforto ambiental em edificações escolares na região de Campinas. Encontro Nacional De Conforto No Ambiente Construído, Fortaleza, Brasil.
- Encontro nacional de engenharia de produção: Correia, S.; Silva, M.; Carmo Neta, B.; Cavalcante N.; Silva, I. (2016). Avaliação do conforto térmico em uma sala de aula. Encontro nacional de engenharia de produção, João Pessoa, Brasil.
- Fanger, P. O. (1970). Thermal Comfort – Analysis And Applications in Environmental Engineering. McGraw-Hill Book Company. New York, United States, McGraw-Hill Book Company



- Hirashima, S. (2010). Calibração do índice de conforto térmico temperatura fisiológica equivalente (PET) para espaços abertos do município de Belo Horizontes, MG. Belo Horizonte. Brasil, Universidade Federal de Minas Gerais.
- Honjo, T. (2009). Thermal comfort in outdoor environment. Chiba, Japan, Chiba University.
- III ENECS – Encontro Nacional Sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis: Fredizzi, B.; Tomasini, S.; Cardoso, L. (2018). A vegetação no pátio escolar: um estudo para as condições das escolas municipais de Porto Alegre – RS. III ENECS – Encontro Nacional Sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, Paraná, Brasil.
- International Organization For Standardization. (2005). ISO 7730: ergonomics of the thermal environment: analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Geneva, Switzerland, ISO.
- Jansson, M.; Gunnarsson, A.; Martensson, F. (2013). Children's perspectives on vegetation establishment: Implication for school ground greening. *Urban Forestry & Urban Greening* (13).
- Kowaltowski, D. (2011). *Arquitetura escolar: o projeto do ambiente de Ensino*. São Paulo, Brasil, Oficina de textos.
- Labaki, L.; Santos, R.; Bueno-Bartholomei, C.; Abreu, L. (2011). *Vegetação e Conforto Térmico em Espaços Urbanos Abertos*. Belo Horizonte, Brasil, Fórum Patrimônio.
- Martelli, A. (2016). Arborização Urbana Versus Qualidade de Vida no Ambiente Urbano. *Revista Científica Faculdades do Saber* (1), 133-142.
- Ministério Do Meio Ambiente; Instituto Brasileiro Do Meio Ambiente E Dos Recursos Naturais Renováveis. (2011). *Monitoramento do Bioma Cerrado 2009- 2010*. Brasília, Brasil, MMA.
- Picot, X. (2004). Thermal comfort in urban spaces: Impact of vegetation growth. Case study: Piazza dela Scienza, Milan, Italy. *Energy and Buildings* (36), 329 – 334.
- Projeto De Conservação E Utilização Sustentável Da Diversidade Biológica Brasileira Do Ministério Do Meio Ambiente. (2007). *Mapeamento de Cobertura Vegetal do Bioma Cerrado: Edital Probio 02/2004*. Brasília, Brasil, MMA.
- Puteh, M.; Ibrahim, M; Adnan M; Che'Ahmad, C.; Noh, N. (2012). Thermal comfort in classroom: constraints and issues. *Tanjung Malim, Malásia, Procedia – Social and Behavioral Sciences*.
- Romero, M.; Clímaco, R.; Andrade, M.; Sotero, F.; Biavati, R. (2003). Sofrer para aprender: desconforto ambiental em salas de aula. *Paranoá: Cadernos de Arquitetura e Urbanismo* (1), 46 – 56.
- Roméro, M.; Ornstein, S. (2003). *Avaliação pós-ocupação: métodos e técnicas aplicados à habitação social*. Porto Alegre, Brasil, ANTAC.
- Simpósio de Pós-Graduação em Engenharia Urbana: Lima, D.; Nunes, L; Soares, P. (2009). Avaliação da influência da vegetação no conforto térmico em espaços livres. *Simpósio de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Maringá, Brasil*.
- Shinzato, P.; Duarte, D. (2018). Impacto da vegetação nos microclimas urbanos e no conforto térmico em espaços abertos em função das interações solo-vegetação-atmosfera. *Ambiente Construído* (online) (18), 197-215. ([http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1678-86212018000200197&Ing=en&nrm=iso&tIng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212018000200197&Ing=en&nrm=iso&tIng=pt))
- Silva, C. (2013). *O conforto térmico de cavidades urbanas: contexto climático do Distrito Federal*. Brasília, Brasil, Universidade de Brasília.
- XL Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente: Ré, G.; Filippín, C.; Lucas, I. (2017). Niveles de confort térmico em aulas de dos edificios escolares del área metropolitana de San Juan. *San Juan, Argentina*.
- Zolch, T.; Maderspacher, J.; Wamsler, C.; Pauleit, S. (2016). Using green infrastructure for urban climate-proofing: an evaluation of heat mitigation measures at the micro-scale. *Urban Forestry e Urban Greening* (20), p. 305-316.