



MELHORIA DO DESEMPENHO AMBIENTAL EM EDIFICAÇÃO ESCOLAR: CONTROLE DA RADIAÇÃO DIRETA NO INSTITUTO FEDERAL DE SÃO PAULO (IFSP-SPO)

Merielen Almeida (1); Erickson de Oliveira Ruiz (2); Valéria Azzi Collet da Graça (3)

(1) Aluna de graduação, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Brasil
e-mail: meri_mms@hotmail.com

(2) Aluno de graduação, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Brasil
e-mail: oliverdrip@hotmail.com

(3) Professora e Doutora, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Brasil
e-mail: valeria_collet@uol.com.br

RESUMO

Diversos estudos comprovam que quando o ambiente construído é confortável, ou seja, quando garante a espontaneidade das atividades executadas, a produtividade de seus usuários tende a elevar-se consideravelmente. Nesse contexto, este trabalho faz parte de uma pesquisa mais abrangente que tem por objetivo analisar e propor melhorias na estrutura física do Instituto Federal de São Paulo (IFSP-SPO) visando à melhoria do desempenho ambiental da edificação e por consequência a melhoria do desempenho energético e da produtividade.

Este trabalho trata do controle da radiação solar direta nos fechamentos transparentes para melhor atender os usuários do prédio escolar. As pessoas que trabalham nestes ambientes, como os profissionais da administração, percebem o desconforto térmico, acústico e visual, alguns tentam solucionar o problema de forma empírica com o uso de papelões nos caixilhos, aumento da potência de ar condicionado, mudança do local de trabalho por algumas horas do dia, já o corpo docente e discente acabam por considerar o desconforto como algo transitório e possuem como hábito o uso indiscriminado de luzes acesas e abertura de portas para circulação de ar em momentos que os corredores estejam vazios e silenciosos.

As principais etapas de metodologia dessa pesquisa foram: verificação dos tipos de fechamentos existentes no IFSP-SPO (tipos de janelas e orientações); seleção de salas típicas de aula e de salas do setor administrativo; aplicação de avaliação comportamental por meio de questionários; avaliação com medições técnicas e observação dos pesquisadores; cruzamento de informações da avaliação técnica e da avaliação dos usuários, e por fim, elaboração de recomendações quanto ao uso de proteção solar de acordo com a orientação e tipo de janela.

Neste trabalho apresentam-se os resultados das medições, entrevistas e proposta de soluções de uma sala de aula. As características avaliadas mostram como é deficiente o desempenho funcional do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo e a principal contribuição do artigo é referente à necessidade de um projeto de intervenção para a proteção contra a radiação solar direta, como por exemplo, a utilização de proteções externas do tipo *brisés*, dependendo do tipo de orientação de fachada, ou ainda evitar a implantação de abertura de sala de aula para oeste, quando o terreno permitir outras orientações.

Palavras-chave: conforto ambiental; radiação solar; projeto de escolas.

1. INTRODUÇÃO

O conforto ambiental é um atributo necessário em edificações e a radiação solar é uma de suas importantes variáveis que além de influir no ganho de calor do edifício promove a iluminação natural. Esse trabalho busca mostrar como a insolação atua no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – campus São Paulo (IFSP-SPO) e apresentar dispositivos para controlá-la e atender as necessidades de conforto ambiental, mais especificamente de desempenho visual.

Segundo ALUCCI (1992), propiciar condições ambientais internas agradáveis aos ocupantes do ambiente, no caso, do IFSP-SPO (professores, alunos e funcionários) significa que:

- ✓ a iluminação dos ambientes deve ser realizada preferencialmente com luz natural de modo que o tempo de utilização do sistema de iluminação artificial seja o mínimo possível (durante o dia e durante o ano) e o ganho de luz natural não implique em ganho excessivo de carga térmica.
- ✓ a quantidade de luz disponível no ambiente deve ser suficiente para a realização da atividade à qual se destina o mesmo, e deve ser adequadamente distribuída.
- ✓ a visão do céu através das aberturas iluminantes não deve ser motivo de desconforto.
- ✓ o conforto visual do usuário com o meio exterior deve ser garantido a partir do maior número possível de posições na área destinada ao trabalho.

Com as exigências de conforto visual dos usuários atendidas, consequentemente, o desempenho luminoso do IFSP-SPO pode ser considerado aceitável. Com base nessas exigências é possível a formulação de requisitos e critérios de desempenho que devem ser atendidos pelas edificações para que a mesma possa ser considerada satisfatória. Essa definição é válida tanto para a iluminação natural quanto artificial e constam nos documentos normativos brasileiros. A referência disponível é a NBR 5413 (1992), que estabelece níveis de iluminação artificial exigidos para diferentes tipos de atividade e a NBR 15215 (2004) que estabelece as condições necessárias para a iluminação natural.

Para a verificação dos requisitos sugeridos, além dos documentos normativos, segundo FROTA; SCHIFFER (2001), a Geometria da insolação fornece um instrumental, a partir de gráficos simplificados, para mensurar os horários de insolação direta para distintas orientações do ambiente. E não menos importante é avaliar a orientação das aberturas e os elementos transparentes e translúcidos da construção, que permitem o contato com o exterior e a iluminação dos ambientes.

Dessa forma, para evitar que a radiação solar direta atinja a construção e penetre excessivamente nos ambientes do IFSP-SPO, a pesquisa utiliza a NBR 5413 (1992), a NBR 15215 (2004), a Geometria da insolação e as características dos fechamentos como ferramentas para avaliar as condições do usuário e definir estratégias para a adequação dos ambientes.

2. OBJETIVO E JUSTIFICATIVA

O objetivo geral do trabalho é analisar e propor soluções na estrutura física do Instituto Federal de São Paulo (IFSP-SPO) visando à melhoria do desempenho ambiental da edificação ao controlar a radiação solar que chega ao ambiente interno através dos fechamentos transparentes e por consequência a melhoria do desempenho energético e da produtividade.

3. METODOLOGIA DE PESQUISA

As principais etapas de metodologia de pesquisa são: verificação dos tipos de fechamentos (janelas) existentes no IFSP-SPO, seleção de salas típicas para estudo, avaliação pós-ocupação nos ambientes que possuam incidência de radiação solar direta, aplicação de avaliação comportamental abrangendo o conforto ambiental, análise técnica do conforto do IFSP-SPO com relação à insolação, iluminação natural e artificial, apresentação dos resultados obtidos com o cruzamento de informações da avaliação técnica e da avaliação dos usuários e elaborações de recomendações determinando as proteções que podem ser utilizadas de acordo com a orientação e tipo de janela, familiarizando-se com os cálculos e geometria de insolação e desenvolvendo um exemplo, no IFSP-SPO, utilizando-se o Heliodon.

4. O OBJETO DE ESTUDO: IFSP-SPO

4.1 Problemática

Com relação ao conforto visual, deve-se levar em consideração a orientação que dê o melhor aproveitamento da luz do Sol no inverno e no verão, bem como a posição relativa das janelas. É imprescindível considerar também o conforto térmico, pois a incidência direta da luz solar tende a elevar a temperatura das salas acima dos valores aceitos como confortáveis (BORMANN, 2003).

O desconforto térmico é, geralmente, uma das maiores reclamações dentre os fatores que compõem o conforto ambiental (FROTA e SCHIFFER, 2001). Analisando as condições em que se encontram os ambientes do IFSP-SPO referente às características dos fechamentos e suas orientações, além do desconforto térmico, o conforto visual (luminoso) é o fator que mais aflige os usuários.

Ao verificar o conforto dos ambientes no IFSP-SPO foram pontuados problemas do tipo: há ambientes com excesso de incidência solar mesmo com a utilização de película protetora nos fechamentos transparentes, a temperatura dos ambientes no verão é elevada, a ventilação natural é baixa devido às características dos fechamentos e existem salas de aulas nas quais o ofuscamento no quadro negro dificulta a leitura e o aprendizado. A partir de reclamações e de constatações visuais pode-se dizer que o excesso de luminosidade natural e, consequentemente, o calor afetam o conforto e a eficiência não somente nos locais de estudo, como também, nos locais de trabalho da instituição.

4.1.1 A influência da orientação das fachadas no IFSP-SPO

A radiação solar direta nos ambientes varia de acordo com a orientação do edifício (CAMPOS, 2005). Analisando o movimento aparente do sol sobre o IFSP-SPO e o comportamento de cada orientação de fachada, figura 01, observa-se que há predominância de aberturas para leste e oeste. A avaliação realizada por três especialistas de conforto visual descrito em GRAÇA (2008) considerou as salas de aula com abertura oeste e sem proteção como péssimos ambientes para a implantação de sala de aula.



Figura 1: Comportamento de cada orientação de fachada do IFSP-SPO.

Portanto, a orientação Norte é a mais indicada para ter o melhor desempenho térmico e visual durante o ano todo. No entanto, o IFSP-SPO possui em sua maioria janelas posicionadas nas fachadas Leste e Oeste e, devido à presença de incidência solar direta durante todo o ano, os ambientes da instituição proporcionam desconforto aos seus usuários.

4.1.2 Características dos fechamentos do IFSP-SPO

No IFSP-SPO, as orientações dos fechamentos contribuem consideravelmente com a quantidade de iluminação natural, o calor e a ventilação dos ambientes. Quanto a sua forma, a luz do sol penetra tanto por aberturas laterais como também zenitais (superiores) e, as mesmas, podem ser caracterizadas como altas e largas e por isso permitem a entrada excessiva de luminosidade natural nos ambientes.

Maxim-ar e basculante são os únicos modelos de janela presentes nos ambientes do IFSP-SPO. O vidro é caracterizado como simples, tem alta transparência e possibilita a ocorrência do efeito estufa.

De maneira geral, os ambientes fazem uso de proteção interna do tipo película protetora que promove a diminuição da transmissão através do aumento da refletância e da absorção e bloqueia a quantidade de luz natural. No entanto, esse tipo de proteção interna não é suficiente para manter o mínimo conforto visual dos ambientes.

5. SELEÇÃO DE AMBIENTES

As variáveis que influenciaram na escolha de ambientes foram: as orientações das fachadas, os tipos de aberturas e a função do local. A seleção de ambientes foi realizada de forma que fossem investigadas as salas de todas as fachadas da instituição, exceto da fachada sul onde a incidência solar é pequena, e as salas do setor de administração, local mais crítico da instituição, pois medidas de proteção solar já foram tomadas e não se obteve sucesso na intenção de diminuir a incidência.

No total 10 salas típicas foram selecionadas nas quais a incidência solar ocorre de maneira diferente devido à orientação geográfica, localização no terreno, o tipo de fechamento transparente e aberturas. A figura 02 mostra a planta do IFSP-SPO, sua orientação geográfica e, nos círculos, a localização das salas selecionadas e da sala utilizada para a apresentação dos resultados do estudo em questão.

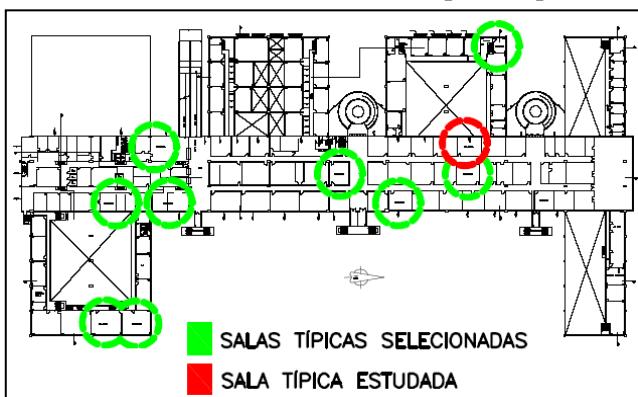


Figura 2: Salas típicas do IFSP-SPO.

Portanto, com relação à orientação oeste (W) foram selecionadas a sala de recursos humanos e a sala de aula 316 (*estudada*). Com relação à orientação leste (E), a sala de gerência de tecnologia da informação, a secretaria e a sala de aula 338. Com relação à orientação nordeste (NE), as salas de desenho da construção civil 913 e 914. Com relação à orientação noroeste (NW), o protocolo geral – DDE. E por fim, com relação ao tipo de abertura foram selecionadas as salas de aula 319 e 309.

6. AVALIAÇÃO PÓS-OCUPAÇÃO

De acordo com Morgado, Bastos e Salgado (2000) a Avaliação pós-ocupação (APO) é uma metodologia de avaliação do ambiente construído e de seus componentes que une avaliações comportamentais e técnica através do estudo de todos os elementos relacionados ao desempenho do ambiente. No IFSP-SPO, a APO tem por objetivo estudar e controlar a radiação solar da edificação e propor soluções que minimizem os problemas de incidência solar direta, para melhorar não somente os ambientes de estudo dos alunos como também de trabalho dos funcionários e professores.

6.1 Avaliação comportamental

A avaliação comportamental é conduzida através de questionários, nos quais são abordados junto aos usuários temas para avaliar a desempenho ambiental, funcional ou tecnológico da edificação. No IFSP-SPO a avaliação comportamental foi aplicada a três categorias diferentes de usuários: estudantes, professores e funcionários. Essa categorização permite a identificação das tendências de opiniões de cada categoria e orienta a pesquisa na maneira mais correta de trabalhar com os dados.

Os questionários foram aplicados para aproximadamente 392 pessoas, dentre elas 360 alunos, 12 professores e 20 funcionários, para tanto, foram elaborados avaliações separadas. Para análise, os dados foram tabulados em forma de gráficos e as necessidades, ou as áreas mais críticas, foram detectadas a fim de se propor soluções que melhorem o desempenho da instituição.

6.1.1 Elaboração dos questionários

Os questionários utilizados foram baseados no Roteiro para avaliação de iluminação (SCARAZZATO, 2006), adaptados para a avaliação proposta na pesquisa, são constituídos de 11 questões abrangendo áreas do conforto ambiental e foram elaborados para serem aplicados aos usuários que frequentam o IFSP-SPO nos períodos da manhã e da tarde, durante o ano letivo, para ser possível responder a questão sobre temperatura de inverno. Quanto à sensação térmica, o usuário deve relatar a sensação momentânea, ou seja, a sensação referente ao período de verão no qual os questionários foram aplicados. Este método visa determinar o grau de conforto ou desconforto dos ambientes do IFSP-SPO seguindo os parâmetros e as seguintes variáveis: sensação térmica, temperatura de inverno e de verão, ventilação natural, iluminação natural e artificial.

As questões de 01 a 04 avaliam os ambientes com relação à sensação térmica, ventilação natural, temperatura de inverno e de verão e as questões de 05 a 11 tratam de iluminação natural e artificial. As sequências de critérios estabelecidas para as variáveis são: bom, razoável e ruim; muito calor, calor, confortável, frio e muito frio; confortável pouco confortável, normal, desconfortável e muito desconfortável; entre outros, assim o usuário não é influenciado durante as perguntas.

6.2 Avaliação técnica

A avaliação técnica é realizada a partir do estudo dos elementos relacionados ao desempenho do ambiente construído. No IFSP-SPO, faz parte desses elementos o estudo da iluminação natural e artificial. O principal objeto da avaliação é medir a quantidade de luz em cada ambiente escolar e detectar se o desconforto está presente, ou não, no IFSP-SPO. Dessa forma, a avaliação baseia-se na NBR 5413 (1992), que estabelece níveis de iluminação artificial exigidos para diferentes tipos de atividade e na NBR 15215 (2004) que estabelece as condições necessárias para a iluminação natural.

6.2.1 Medição da quantidade de luz no IFSP-SPO

Segundo a NBR 15215 (2004), as medições de iluminância podem ser realizadas em ambientes reais, como no IFSP-SPO, e têm por objetivo avaliar as condições de iluminação natural do ambiente construído, em condições reais de ocupação e utilização. As medidas são realizadas com o luxímetro.

A NBR 5413 (1992) estabelece os valores de iluminância por tipo de atividade. A tabela 01 apresenta os valores que devem ser encontrados com a utilização do luxímetro em um ambiente escolar. Os valores, medidos em lux, garantem o conforto e o bem estar do usuário ao ocupar o ambiente.

Tabela 1: Quantidade de lux no ambiente escolar.

| ILUMINÂNCIA EM LUX | | | |
|---|---------------------|--------------------|---------------------|
| Local escolar | Valor mínimo | Valor médio | Valor máximo |
| Sala de aula | 200 | 300 | 500 |
| Salas de desenho, de administração e quadros negros | 300 | 500 | 750 |

FONTE: NBR-5413 (1992).

Para cada tipo de local ou atividade a norma NBR 5413 (1992) indica três valores de quantidade de luz medida em lux e, das três iluminâncias, o valor médio deve ser utilizado sempre que possível.

Para avaliação da iluminância sobre as mesas e carteiras, devem-se fazer medições em uma quantidade de pontos suficiente para caracterizar adequadamente o plano e montar as malhas. Para determinar o número mínimo de pontos necessários para a verificação do nível de iluminação natural nos ambientes do IFSP-SPO foi utilizado como referência às etapas que a NBR 15215 (2004) estabelece. Por coincidência a quantidade mínima foi menor ou igual à quantidade de mesas e carteiras dos ambientes. Dessa forma, as medições foram realizadas na área central de desenvolvimento das atividades, no caso, na área central das mesas de estudo e de trabalho e nas áreas que influenciam no desenvolvimento das atividades, como por exemplo, nos quadros negros presentes nas salas de aula.

7. RESULTADOS OBTIDOS DE UMA SALA DE AULA

7.1 Resultados da avaliação comportamental

Na sala de aula 316 os questionários foram respondidos pelos alunos do período da manhã e da tarde. No total 58 alunos foram entrevistados sendo que os mesmos frequentam o ambiente ao longo do ano todo. No período da manhã os alunos, do curso superior, possuíam faixa etária de 20 a 40 anos e o professor, 39 anos. No período da tarde, os alunos eram do ensino médio com faixa etária menor variando de 15 a 17 anos e o professor, 50 anos. Para a quantificação dos resultados, as respostas foram separadas por variáveis, somadas, transformadas em porcentagem já que todas possuem o mesmo peso e representadas em gráficos. Na figura 03 são apresentados os resultados obtidos.

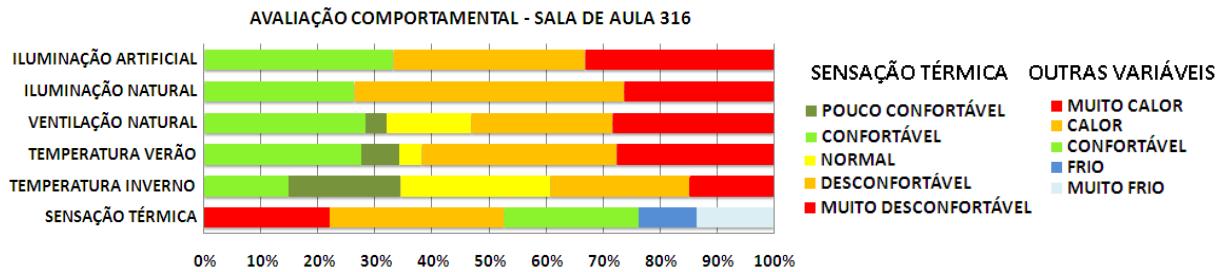


Figura 3: Gráfico da avaliação comportamental - sala de aula 316.

Várias questões podem ser levantadas para discussão a partir do gráfico anterior. Serão apresentados os resultados de maior relevância com relação à satisfação ou insatisfação dos usuários.

Para as sensações térmicas o desconforto é predominante para os parâmetros de “calor” e “muito calor”. Na variável temperatura de inverno as respostas se deram de forma balanceada e apesar dos alunos frequentarem o ambiente durante todas as estações do ano não é definido a satisfação ou insatisfação do usuário. Já no verão, no comportamento do ambiente, prevalece o desconforto.

A ventilação natural, por sua vez, é consequência do gráfico analisado anteriormente. Se a sensação térmica predominante é o calor e a temperatura de verão é considerada desconfortável é de se esperar que as condições de ventilação não sejam as melhores. Assim, as variáveis “muito desconfortável” e “desconfortável” destacam-se.

De acordo com o parecer dos usuários, a sala de aula tem um desempenho de iluminação natural e artificial ruim, sendo o primeiro mais visível que o segundo. Com relação à iluminação natural, mesmo com a proteção interna do tipo película, há um desconforto e era de se esperar que uma sala de aula com orientação oeste apresentasse valores insatisfatórios devido ao fato da radiação solar ser direta nesses ambientes. Com relação à iluminação artificial, durante a aplicação dos questionários todas as luzes dos ambientes estavam acesas. Portanto, o excesso de iluminação se deve não somente a iluminação natural como também ao fato das luzes estarem acesas contribuindo com um gasto excessivo de energia elétrica.

7.2 Resultados da avaliação técnica

Segundo a NBR 15215 (2004), para uma análise completa da iluminância no ambiente construído, deve-se verificar a variação e distribuição de iluminância através de representações gráficas. Desta forma, os gráficos representam a variação de iluminância no ambiente e indicam os pontos com excesso de iluminação natural, além das regiões onde pode ser necessário o uso de iluminação artificial para suprir as necessidades mínimas.

Em virtude da variação frequente das condições de céu ao longo do dia, para valores mais precisos de níveis de iluminação, as medições nas salas de aula foram realizadas em diferentes horas do dia entre 7h00 e 17h00 e em diferentes dias, de 14/12/2009 a 18/12/2009. No entanto, serão analisadas e estudadas as medições realizadas dia 17/12/2009, sendo os dados mais completos recolhidos durante a pesquisa. Como não é possível o monitoramento ao longo do ano, a iluminação foi verificada em uma das condições de céu mais representativas, ou seja, nos dias próximos ao solstício de verão, 22 de dezembro, de 2h em 2h a partir do inicio das atividades, como determina a NBR 15215 (2004).

A NBR 15215 (2004) recomenda que a medição da iluminância externa horizontal na condição mais desobstruída possível seja realizada. No IFSP-SPO, a medição da quantidade externa de luz foi realizada quatro vezes ao dia, antes da execução das medições no ambiente interno da instituição. A tabela 02 apresenta os resultados obtidos dia 17/12/2009.

Tabela 2: Quantidade de lux externo durante as medições de iluminância.

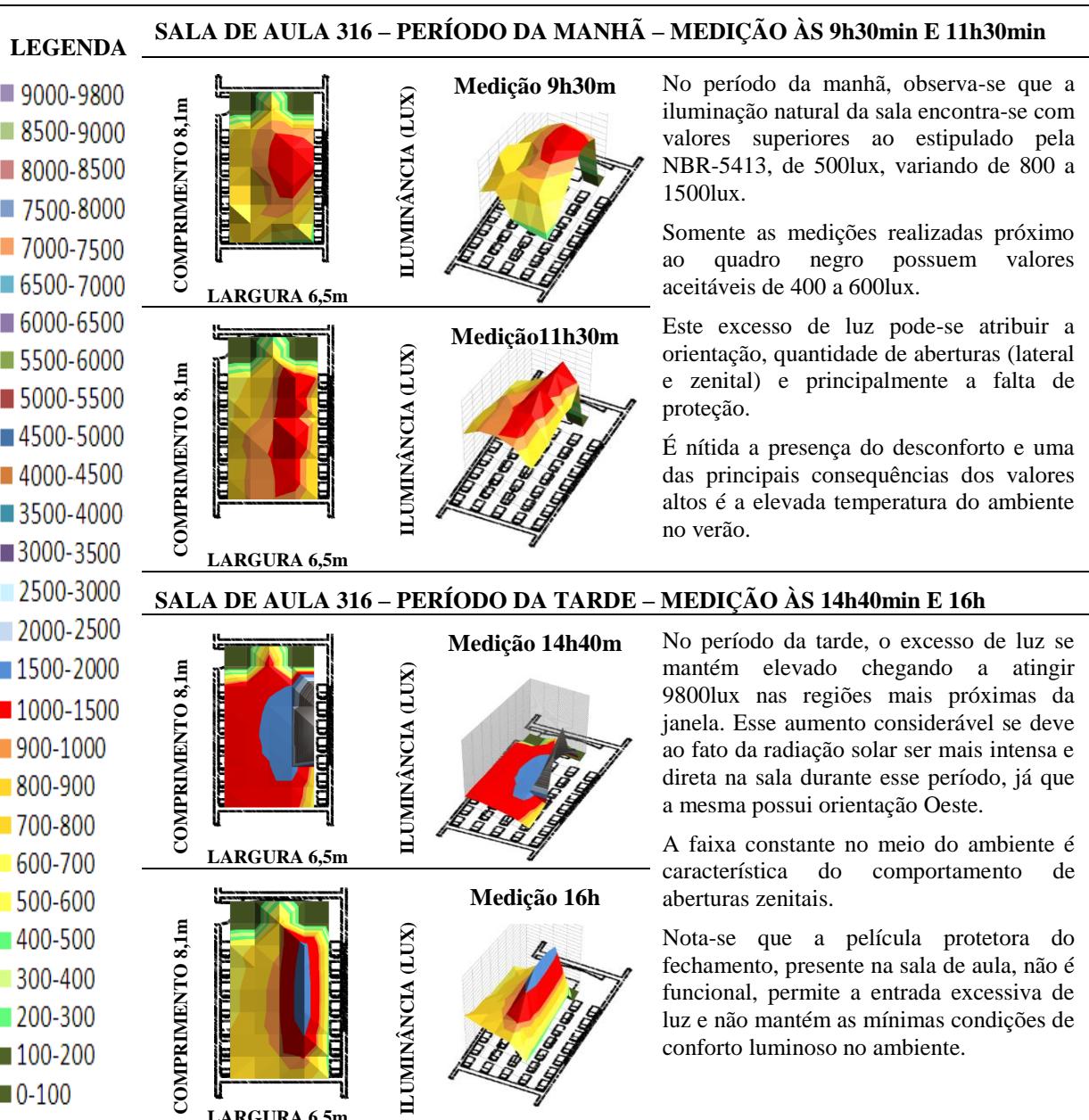
| Das 7h às 9h | Das 9h30min às 11h30min | Das 13h às 15h | Das 15h30min às 17h30min |
|---------------------|--------------------------------|-----------------------|---------------------------------|
| 8900 lux | 12900 lux | 112400 lux | 52000 lux |

FONTE: NBR-5413 (1992).

7.2.1 Gráficos das medições da sala de aula 316

Interpretando os gráficos através das faixas de iluminância e levando em consideração os valores estipulados por norma (NBR – 15215/2004) pode-se concluir, conforme a tabela 03:

Tabela 3: Avaliação técnica da sala 316.



8. PROPOSTA DE SOLUÇÃO DE UMA SALA DE AULA

Através da análise das avaliações técnica e comportamental ficou evidente a necessidade de adotar uma proteção contra o excesso de iluminação nessa sala de aula, sendo as proteções externas as mais indicadas, pelo fato do calor absorvido por estes elementos ser emitido para a atmosfera e não ao interior do espaço (WEBER, 2005).

Entre esses protetores foi escolhido o *brise-soleil* por destacar-se com o mais elevado percentual de redução de ganho solar entre os sistemas de proteção em uso e além de proteção solar esse dispositivo tem a capacidade de atender outras finalidades simultâneas como captar a ventilação, dar privacidade visual, refletir e distribuir a luz natural, porém, dependendo da sua constituição, podem, enquanto protegem da insolação, comprometer as condições luminosas e visuais dos espaços internos. Para a escolha e dimensionamento do *brise-soleil* utilizou-se o roteiro apresentado por Bittencourt (2004) e instrumentos de geometria da insolação disponibilizados pelo LABAUT (2006).

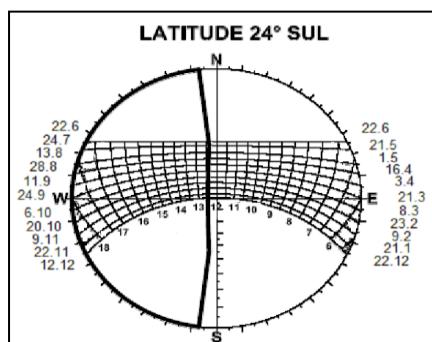


Figura 4: Horário de incidência solar. Em seguida, verifica-se o tipo de insolação da fachada. A orientação Oeste é caracterizada por apresentar incidência solar perpendicular à fachada, sendo o *brise* vertical oblíquo muito eficiente nessas condições (BITTENCOURT, 2004), portanto esse será o dispositivo adotado para a proposta de solução.

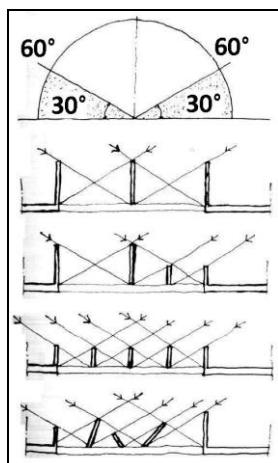


Figura 5: Ângulo de sombra (BITTENCOURT, 2004).

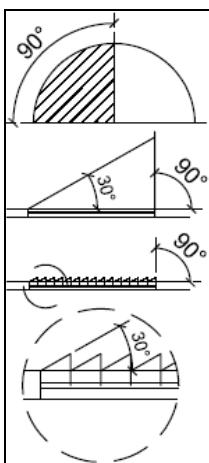


Figura 6: Definição do brise.

Segundo Bittencourt, primeiramente determina-se o horário e o período do ano a ser protegido. Dessa forma, utilizando o transferidor auxiliar foi feita a sobreposição da carta solar para latitude 24° sul pela máscara da abertura. Tendo a sala de aula 316 orientação Oeste, através da carta sobreposta obtive-se o horário e período do ano que a abertura recebe incidência solar, como mostra a figura 04. Através da sobreposição tornaram-se conhecidos os períodos de incidência na abertura, sendo escolhido para estudo o solstício de verão das 13hrs às 18hrs por ser o dia e o horário mais críticos e representativos.

Estipulado o período de proteção, realiza-se a máscara de sombreamento para obter o ângulo de sombra. Segundo Bittencourt (2004) a partir dessa definição, constrói-se o tipo de protetor que se deseja, desde que conservado o mascaramento obtido. A figura 05 mostra a variação de protetores verticais para uma mesma máscara de sombra.

Para as características do protetor escolhido levou-se em consideração a quantidade de material gasto na fabricação do *brise*, sendo que para inclinações próximas a 90° se gasta mais material para atender o sombreamento proposto. Para o tipo do material foi considerada a refletância solar e a emitância infravermelha, de forma que evite o aumento da temperatura. Portanto, determinou-se: no mínimo 15 lâminas de polímero branco (Refletância solar 0,7 - 0,85 / Emitância infravermelha 0,86 – 0,91) com 0,30m de largura por 3,30m de altura, espaçamento entre lâminas de 0,26m e inclinação de 30° com relação à fachada, figura 06.

No IFSP-SPO para verificar o funcionamento do *brise* na sala de aula, foi realizada a simulação física com heliodon em um modelo de escala reduzida e computacional. Segundo PEREIRA (2006), para estudos de tratamento das fachadas a escala ideal é 1:20, valor este adotado no estudo. A incidência solar na maquete foi simulada com e sem o *brise* vertical para o horário mais crítico do solstício de verão, 22 de dezembro, às 16horas. As figuras 07, 08 e 09 apresentam, respectivamente, o comportamento da radiação solar direta no ambiente determinado pelo programa Luz do Sol (RORIZ, 1995), a incidência solar na maquete sem o uso de proteção externa às 16 horas e a eficiência do *brise* para o mesmo período, garantindo total obstrução solar.

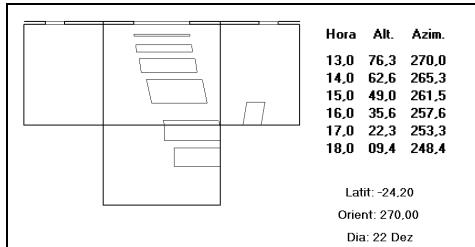


Figura 7: Simulação computacional. (solstício de verão)

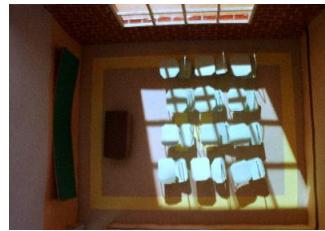


Figura 8: Simulação física sem proteção. (solstício de verão)



Figura 9: Simulação física com proteção. (solstício de verão)

Também foi simulada a incidência solar com e sem o *brise* vertical para o horário mais crítico dos equinócios, 21 de março e 23 de setembro, às 16 horas. As figuras 10, 11 e 12 apresentam, respectivamente, o comportamento da radiação solar no ambiente determinado pelo programa Luz do Sol (RORIZ, 1995), a incidência solar sem o uso de proteção externa às 16 horas e a eficiência parcial do *brise* para o mesmo período.

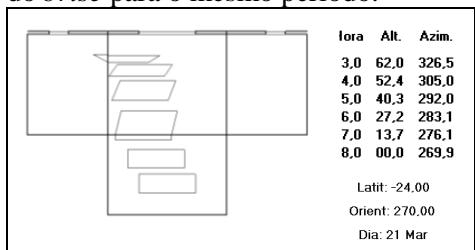


Figura 10: Simulação computacional. (equinócios)



Figura 11: Simulação física sem proteção. (equinócios)

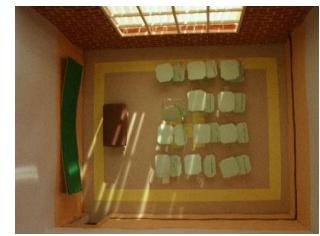


Figura 12: Simulação física com proteção. (equinócios)

E por fim, foi simulada a incidência solar na maquete com e sem o *brise* vertical para o horário mais crítico do solstício de inverno, 22 de junho, às 16 horas. As figuras 13, 14 e 15 apresentam, respectivamente, o comportamento da radiação solar direta no ambiente determinado pelo programa Luz do Sol (RORIZ, 1995), a incidência solar na maquete sem o uso de proteção externa às 16 horas e a eficiência nula do *brise* para o mesmo período, permitindo total incidência solar.

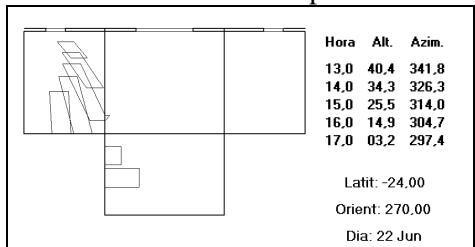


Figura 13: Simulação computacional. (solstício de inverno)



Figura 14: Simulação física sem proteção. (solstício de inverno)



Figura 15: Simulação física com proteção. (solstício de inverno)

9. CONCLUSÃO

Relacionando os diagnósticos da análise comportamental e técnica do IFSP-SPO é possível observar a relação do desconforto dos usuários com a falta de planejamento em relação às orientações das salas de aula e o grande uso de aberturas sem proteção, o que permite a entrada excessiva de radiação solar direta, aumentando o desconforto e a necessidade de meios artificiais para alcançar o mínimo conforto. Essas características avaliadas definem como baixo o desempenho funcional do IFSP-SPO, apresentando ambientes desconfortáveis e não funcionais, ratificando a necessidade de um projeto de intervenção, como por exemplo, a utilização de proteções externas do tipo *brises*, dependendo do tipo de orientação de fachada. No entanto, devido a característica dominante de aberturas na fachada Leste e Oeste, a utilização de *brise* fixo vertical oblíquo para solucionar o excesso de iluminação natural, proposto no artigo, resolve parcialmente o problema do IFSP-SPO em relação ao conforto ambiental.

Segundo BROWZ (2004), quanto à proteção vertical, deve-se fazer o uso de cores claras nos climas quentes e evitar que o calor seja emitido no meio interno utilizando materiais, como o polímero

branco, com alta emitância infravermelha e refletância solar para diminuir a temperatura interna. Na sala avaliada a simulação mostrou que esta proteção obstruiria totalmente a radiação solar no verão, parcialmente no outono/primavera, possuiria eficiência nula no inverno e reduziria a quantidade de ventilação natural disponível. Dessa forma, uma alternativa seria a utilização de *brises* móveis para fachadas de orientação Leste e Oeste uma vez que a flexibilidade do mesmo permite melhor atender a necessidade do usuário para os diversos períodos do ano.

Porém aqui fica outro problema: em certos períodos seria necessário o fechamento completo do *brise* para impedir a entrada de radiação solar direta no plano de trabalho, com o fechamento, há necessidade de uso de iluminação artificial o que não é um fato eficiente em termos de energia já que as medições externas mostram que não haveria necessidade de utilização de iluminação artificial nestes períodos. Observa-se, portanto, que a avaliação realizada por três especialistas de conforto visual descrito em GRAÇA (2008), que consideraram salas com abertura oeste sem proteção como uma condição péssima para implantação de sala de aula se ratifica. Assim a maior contribuição deste trabalho foi verificar que por princípio de projeto deve-se evitar a implantação de aberturas de salas de aula para oeste, quando o terreno permitir outras orientações.

10. REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5413: Iluminação de Interiores.** ABRIL 1992
-
- NBR 15215: Iluminação Natural. 4 Partes.** NOV 2004.
- ALUCCI, P. M. **Conforto térmico, luminoso e conservação de energia elétrica.** Tese de doutorado Faculdade de arquitetura e urbanismo, Universidade de São Paulo. Nov. 1992.
- BITTENCOURT, L. **Uso das cartas solares – diretrizes para arquitetos.** Maceió: Edufal, 2004.
- BORMANN, Oto Roberto. **Iluminação natural em salas de aulas e escritórios com uso de prateleiras de luz.** Dissertação em mestrado. CEFET/PR. Curitiba, 2003.
- BROWZ, G. Z. **Sol, Vento & Luz - Estratégia para o projeto de arquitetura.** Tradução: Alexandre Ferreira da Silva Salvaterra. – 2. Ed. – Porto Alegre: Bookman 2004.
- CAMPOS, Rudnei .**Análise da influência da orientação da testada dos lotes na ocupação do setor estrutural de Curitiba.** Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005.
- FROTA, A.B. & SCHIFFER,S. R. **Manual de Conforto Térmico: arquitetura e urbanismo.** 5^a edição . São Paulo: Nobel, 2001.
- GRAÇA, V.A.C. **A integração dos aspectos de conforto ambiental no projeto de escolas.** (doutorado em Engenharia Civil). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 2008.
- MORGADO, C. O, BASTOS, L. E. G. e SALGADO, M. S. **Avaliação pós-ocupação do conforto ambiental na FAU-UFRJ.** Professores do Departamento de Tecnologia da Construção. UFRJ. 2000.
- PEREIRA, D. C. L. **Modelos físicos reduzidos: uma ferramenta para avaliação da iluminação natural.** Dissertação de Mestrado, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo de São Paulo, 2006.
- RORIZ, M. **Luz do Sol – Radiação solar e iluminação natural.** Versão 1.1 (1995), São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 1995.
- SCARAZZATO, Paulo Sérgio. **Roteiro para Avaliação da iluminação.** CECACE 2006. Disponível em:http://www.usp.br/fau/cursos/graduacao/arq_urbanismo/disciplinas/aut0213/017_Cecace_2006_Roteiro_para_Avaliacao_da_Iluminacao.pdf. Acesso em: 10 Abril 2010.
- WEBER, Caroline Pienes. **O uso do brise-soleil na arquitetura da região central do Rio Grande Do Sul.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2005.
- LABAUT. **Cartas Solares.** Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. 2006. Disponível em: www.usp.br/fau/pesquisa/laboratorios/labaut/conforto.html. Acesso em: 10 Abril 2010.