XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

# ANÁLISE DOS NÍVEIS DE ILUMINAÇÃO NATURAL EM SALA DE AULA ATRAVÉS DE MEDIÇÕES E SOFTWARES DE SIMULAÇÃO AGI-32 E LICASO: ESTUDO DE CASO LOCALIZADO NO EDIFÍCIO JORGE MACHADO MOREIRA – UFRJ

**Patrizia Di Trapano (1)**
(1) DSc, Arquiteta, Professora adjunta EBA/UFRJ, Professora Colaboradora PROARQ/FAU/UFRJ, patrizia@eba.ufrj.br; patrizia@loggia.arq.br
**PROARQ -** Av. Pedro Calmon, 550/sl. 433, Prédio da Reitoria, Ilha do Fundão
Rio de Janeiro-RJ 21941-590, + 55 (21) 3938-1661 + 55 (21) 3938-1662

## RESUMO
No projeto de edifícios escolares, especificamente no que diz respeito a salas de aula, os sistemas de janelas e aberturas zenitais têm fundamental importância, pois devem oferecer níveis adequados de iluminação natural no interior do ambiente, garantindo o conforto visual de seus ocupantes e favorecendo a economia de energia elétrica usada na iluminação artificial. Este trabalho tem como **objetivo** analisar a quantidade e a qualidade da iluminação natural em sala de aula localizada no bloco D (sala 202) do edifício **Jorge Machado Moreira** - UFRJ, onde se encontram a Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e a Escola de Belas Artes. O uso desta sala atualmente está destinado às disciplinas de plástica I e II para os alunos Escola de Belas Artes. Esta sala tem como característica apresentar iluminação zenital na forma de lanternins, associados a um grande pano de vidro na fachada. A **metodologia** para a análise se desenvolveu nas seguintes etapas: levantamento das características físicas e materiais do ambiente; levantamento de iluminância da sala de aula através da distribuição de 19 pontos definidos com base na norma NBR15215-4:2005; medições realizadas através de luxímetro durante três dias na mesma semana do mês de maio/2018, em três horários distintos: 9:00, 12:00 e 15:00; simulação em softwares de iluminação *AGI-32* (simulação estática que expressa resultados na forma de valores absolutos de iluminância para horários e dias específicos) e *LICASO* (simulação dinâmica que produzem séries anuais de iluminâncias), ambos com licenças estudantis fornecidas pela empresa *Lighting Analysts*; consulta à norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013 – que define as iluminâncias necessárias e específicas para diversos ambientes. Os **resultados** obtidos mostram que apesar da sala de aula poder permanecer todo o dia com a luz artificial apagada, ela apresenta uma quantidade de luz acima do estabelecido pela norma. Através das simulações dinâmicas foi possível constatar também que a quantidade de iluminação natural é excessiva durante o ano, influenciando no ganho de carga térmica no ambiente e gerando ofuscamento. O software *LICASO* possui uma grande velocidade para simulação, é de fácil interação com o usuário e trabalha com a norma IES LM-83-2012, referência do LEED v.4, apresentando-se como uma alternativa para os profissionais da área de projetos eficientes.
Palavras-chave: simulação computacional, iluminação natural, conforto térmico.

## ABSTRACT
In the projects of school buildings, specifically in classrooms, the design of window systems and skylight openings are important, and they should offer adequate levels of daylight ensuring visual comfort and saving energy used in artificial lighting. This work aims to analyze the quantity and quality of natural lighting in the classroom located in Block D (room 202) of the building Jorge Machado Moreira - UFRJ, where are the faculty of Architecture and Urbanism and the School of Fine Arts. The use of this room is currently destined to plastic disciplines I and II for the School of Fine Arts students. This room features a skylight associated with a large glass on the façade. The methodology for the analysis was developed in the following stages: identification of physical and material characteristics of the room; mapping the classroom illuminance through the distribution of 19 points defined based on the standard NBR15215-4 of 03/2005; measurements performed by means of a luxmeter for three days in the same week of the month of May/2018, at three different times: 9:00, 12:00 and

15:00; simulation in lighting software AGI-32 (static simulation that expresses results in the form of absolute values of illuminance for specific schedules and days) and LICASO (dynamic simulation that produce annual series of illuminances), both with academic licenses provided by the company Lighting Analysts; consult the standard ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013 – which defines the necessary and specific illuminances for various environments. The results obtained show that although the classroom can remain all day with artificial light erased, it presents a quantity of light above that established by the standard. Through the dynamic simulations it was also possible to observe that the amount of natural illumination is excessive during the year, influencing the gain of thermal load in the environment and generating glare. The software LICASO has a great speed for simulation, it is easy to interact with the user and works with the standard IES LM-83-2012, reference of LEED v. 4, presenting itself as an alternative for professionals in the area of efficient projects.
Keywords: Computer simulation, daylight, thermal comfort.

## 1. INTRODUÇÃO

A disponibilidade de luz natural no ambiente construído depende prioritariamente da luz direta do sol e daquela difundida pela atmosfera, que em função da latitude, posição do sol, estação do ano e variações climáticas pode proporcionar mais ou menos luz em determinadas localidades. Portanto, trata-se de uma estimativa baseada em algoritmos (modelos matemáticos) cujas referências são devidas as medições realizadas em diversos países ao longo de décadas (ABNT 15215-2, 2007).

Em função da existência de várias pesquisas e propostas de metodologias para avaliação da disponibilidade de luz do dia, o IES, publicou o LM-83-12, *Approved Method for Daylight Metrics* a fim de melhorar o desempenho das ferramentas de previsão e simulação de luz natural. As qualidades dinâmicas de um espaço dotado de luz natural requerem métodos de avaliação diferentes daqueles que foram desenvolvidos para um espaço que é eletricamente iluminado. A avaliação de luz natural deve ser considerada ao longo do tempo, e como esta varia conforme o clima local, do aspecto do céu e das estações do ano, há de se considerar como critério de projeto a localização da edificação e a respectiva adequação dos modelos computacionais utilizados. (IES LM-83-12, 2012 p.1).

Ainda no que tange a essa avaliação, o céu de Perez mostra um modelo matemático usado para descrever a distribuição da luminância relativa da abóbada celeste, sendo considerado referência para cálculos e simulações de luz natural. A base de cálculo não está baseada necessariamente na média de determinado dia e local, mas sim nos dados que melhor expressam as condições de céu do dia que se pretende simular. A estação meteorológica de referência utiliza dados coletados num período de aproximadamente 20 anos. Se o dia que se pretende simular é 23/05, os dados da estação meteorológica de referência indicarão o dia 23/05 que melhor representou as condições de céu e do clima, dentro do universo de dados. Os parâmetros seriam brilho do céu e nebulosidade, representados através de valores que indicam irradiação direta e difusa.

O conceito de autonomia de luz natural, ou "*daylight autonomy*" (DA) definido como a porcentagem do ano no qual a iluminância de tarefa em um plano de trabalho é atingida sem a necessidade do uso da iluminação artificial. As definições dos níveis de iluminação são as propostas pelas normas locais para cada tipo de ambiente e tarefa. (AEC, 2009).

De forma pioneira, Nabil e Mardaljevic (2006), propuseram uma nova abordagem ao problema da métrica da luz natural denominada "*useful daylight illuminance*" (UDI). Em contraste com o "*daylight factor*" DF que utiliza uma porcentagem, ou seja, um número que representa uma avaliação pontual do espaço, a UDI utiliza dados meteorológicos atualizados, onde as condições dos céus são dinamicamente consideradas resultando em previsão de iluminâncias em cada momento (hora) do dia, em um ano, para cada ponto do ambiente sob análise. Dentre as razões para se utilizar a UDI, Nabil e Mardaljevic (2006) defendem o uso de uma faixa de iluminâncias consideradas úteis, entre 100 a 2000 lux. Criticam o conceito da DA afirmando que a simples adoção de um valor mínimo (por exemplo 500lux), como alvo para atingir uma determinada economia de energia, não leva em conta as preferências dos usuários e os momentos em que pode ocorrer desconforto provocado por ofuscamento e contrastes excessivos. Em razão disso, valores de iluminância inferiores a 100 lux são considerados insuficientes, seja como fonte única no espaço ou como complemento a artificial. Já os valores entre 100 e 500lux caracterizam-se como suficientes desde que tenham a possibilidade do uso de complementação de luz artificial. Na faixa de 500 a 2000 lux são percebidos como desejáveis ou toleráveis e aqueles acima de 2000 lux se caracterizam por gerar desconforto luminico, térmico ou ambos.

O IES LM-83-12, após identificar, revisar e avaliar diversas metodologias utilizadas nas ferramentas de previsão e simulação de luz natural, desenvolveu duas métricas, (parâmetros de comparação que utilizam diversos métodos de cálculo), baseadas nos critérios da iluminância suficiente em um ambiente naturalmente iluminado e do risco potencial da penetração excessiva da luz do sol direta. A primeira métrica denomina-se "*Spatial Daylight Autonomy*" (sDA), ou seja, uma medida da iluminância em uma determinada superfície,

tendo como resultado um valor percentual da área de piso que exceda um nível de iluminação especificado (por exemplo 300 lux), para uma quantidade de horas anuais (por exemplo 50% das horas úteis - 8:00h às 18:00h). Adotou-se a forma de expressar dotada de termo: $sDA_{lux,\%,}$ ou seja, o termo "sDA", seguido da iluminância mínima especificada e do percentual de horas úteis no ano, ambas subscritas. (IES LM-83-12, 2012 p.1 e p.3).

A fim de proporcionar uma nova dimensão a esta análise, a segunda métrica "*Annual Sunlight Exposure"* (ASE) foca na potencial fonte de desconforto visual oriunda da luz direta do sol em ambientes internos de trabalho. É definida como um valor percentual da área analisada que exceda um nível de iluminação natural direta especificado, por um determinado número de horas no ano. De forma análoga a sDA, adotou-se a expressão: $ASE_{lux,horas,}$ ou seja, o termo "ASE", seguido da iluminância máxima especificada e das respectivas horas úteis no ano em que esta condição se aplique, ambas subscritas. (IES LM-83-12, 2012 p.1 e p.10).

Alguns softwares podem avaliar as disponibilidades de luz natural internas a uma edificação de forma estática como o DIALUX e o AGI-32. Em ambos, dado um modelo computacional de um ambiente dotado de fenestrações (janelas, fachadas-cortina, átrios, clarabóias, etc) e fechamentos da envoltória, localizados geograficamente em suas coordenadas de latitude e longitude, o software pode então calcular as iluminâncias instantâneas de um determinado horário de um dia escolhido para análise. Os valores estáticos de iluminância obtidos através destes softwares de simulação podem ser comparados com as normas, como por exemplo, a ISO 8995-2013 a fim de avaliar sua adequação aos ambientes e as tarefas ali realizadas.

Entretanto, quando se trata de avaliar a disponibilidade de luz natural de forma dinâmica, faz-se necessário o uso de softwares com esta funcionalidade. Estes programas se utilizam de uma base de dados meteorológicos (TMY: *Tipical Meteorological Year*), no Brasil denominada de Normal Climatológica, série 1961 a 1990, sendo que, recomenda-se utilizar os dados da estação mais próxima à edificação a fim de obter uma melhor precisão na simulação. Dentre os produtos disponíveis no mercado pode-se destacar o *Daysim*, e *Radiance*. Entretanto, nesta pesquisa foi utilizado o *LICASO*, da empresa *Lighting Analysis*, que nos concedeu uma licença educacional para estudos e aplicação em pesquisas. O programa permite a utilização de diversos tipos de céus padrões, como o céu de Perez, produzindo relatórios com os seguintes parâmetros: Iluminância, sDA, UDI, ASE, entre outros, e trabalha com a norma IES LM-83-2012, referência do LEED v.4.

## 2. OBJETIVO

Este trabalho tem como **objetivo** analisar a quantidade e a qualidade da iluminação natural em sala de aula localizada no bloco D (sala 202) do edifício **Jorge Machado Moreira** - UFRJ, onde se encontram a Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e a Escola de Belas Artes. O uso desta sala está destinado às disciplinas de plástica I e II para os alunos Escola de Belas Artes. Esta sala tem como característica apresentar iluminação zenital na forma de lanternins, associados a um grande pano de vidro na fachada.

## 3. MÉTODO

A **metodologia** para a análise se desenvolveu nas seguintes etapas: levantamento das características físicas e materiais do ambiente; Levantamento de iluminância da sala de aula através da distribuição de 19 pontos definidos com base na norma NBR15215-4 de 03/2005 - Iluminação natural - Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações - Método de medição; Medições realizadas através de luxímetro durante três dias na mesma semana do mês de maio/2018, em três horários distintos: 9:00, 12:00 e 15:00; Simulação em softwares de iluminação AGI-32 (simulação estática que expressa resultados na forma de valores absolutos de iluminância para horários e dias específicos) e LICASO (simulação dinâmica que produzem séries anuais de iluminâncias), ambos com licenças estudantis fornecidas pela empresa *Lighting Analysts*; Consulta à norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013 – que define as iluminâncias necessárias e específicas para diversos ambientes.

### 3.1. Características da sala

A sala é composta por duas paredes e teto pintados de branco, fachada em plano de vidro, parede oposta ao pano de vidro em cerâmica bege, piso em cerâmica preta, e lanternins dispostos paralelamente, no sentido do comprimento da sala (Figuras 1, 2, 4 e 5). O uso desta sala está destinado a disciplinas práticas da faculdade de Belas Artes, utilizando mesas altas para trabalhos manuais. A sala de aula analisada localiza-se na fachada sudeste do edifício. Essa é a orientação para o qual está voltado o pano de vidro, responsável pela maior entrada de luz da sala (Figura 3 e 6).





Figura 1 e Figura 2 – Características da Sala de Aula

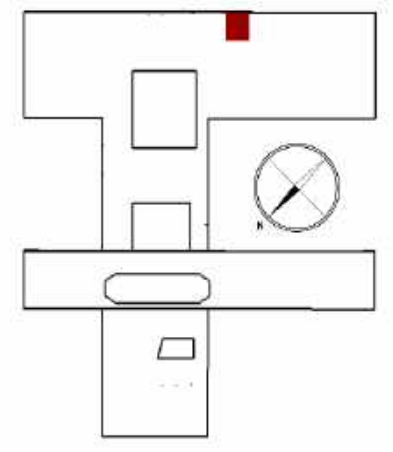


Figura 3 – Orientação

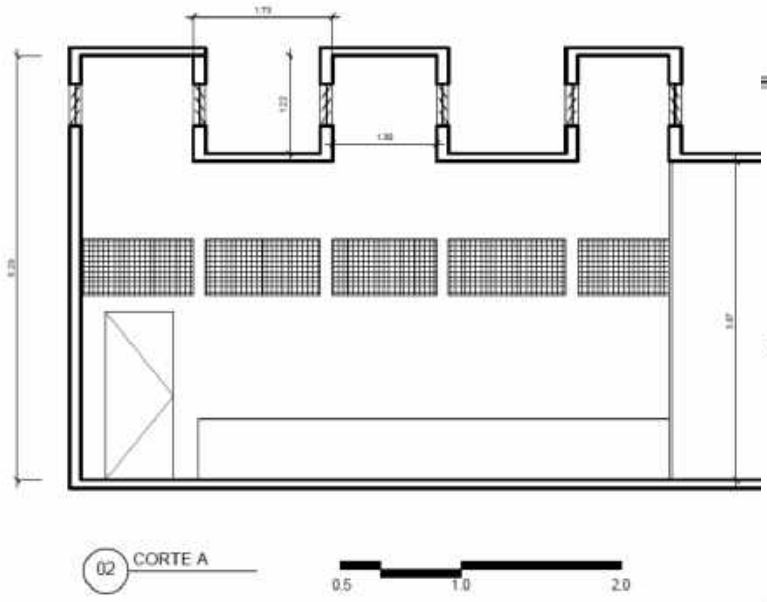



Figura 4 – Corte sala de aula

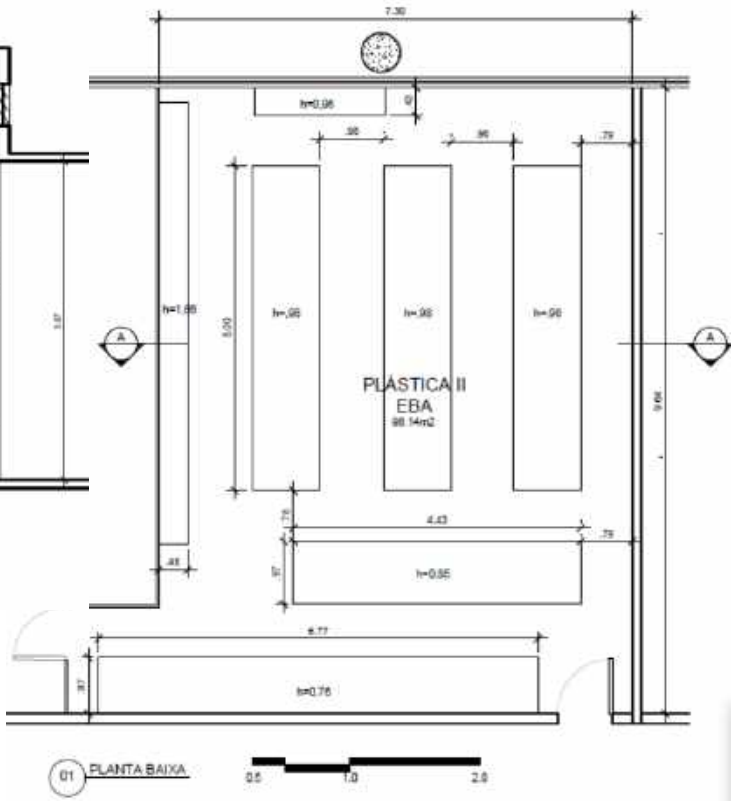



Figura 5 – Planta Baixa

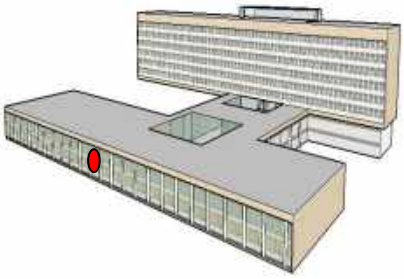


Figura 6 – Modelo do edifício com indicação da sala

## 3.2. Método do papel branco

Para o levantamento das reflectâncias das superfícies internas da sala foi usado o método do papel branco de acordo com Ghisi & Lamberts (1998). Para a execução do método do papel branco é necessário um luxímetro portátil e uma folha de papel branco. São feitas duas medições de iluminância refletida em um mesmo ponto, uma com o papel branco e outra da superfície desejada, ambas com a fotocélula do luxímetro voltada para a superfície que se deseja saber a refletância e afastada aproximadamente 10 cm da mesma. Logo em seguida, com os dados coletados em mãos, descobre-se a refletância da parede através da fórmula a seguir:

$$Psup = \frac{90.Esup}{Epb}$$ Equação1

Onde:
Psup = Refletância da superfície (%);
Esup = Iluminância refletida pela superfície (lux);
Epb = Iluminância refletida pela superfície com papel branco (lux);
90 = Refletância do papel branco (%).

As medições foram realizadas no dia 21/11/2017 no horário 14:20 com o céu nublado e os resultados servirão para ajustes das refletâncias das superfícies no software AGI-32.
Parede Branca (direita) = 96,26%; Chão = 8,80%; Divisória = 67,88%; Parede azulejo = 49,35%

## 3.3. Determinação da malha para medição e consulta a NBR ISO/CIE 8995-1 para iluminâncias

A NBR 15215:3 (2007) foi utilizada para a obtenção dos métodos para verificação experimental de ambientes internos. A aplicação do método chegou a um número de 16 pontos, que para uma melhor distribuição e precisão da malha, foram aumentados para 19 pontos, conforme figura 7.

A norma NBR ISO/CIE 8995-1 (2013) (Tabela 1) mostra que o nível de iluminação adequado para a sala deveria estar entre 500 a 750 lux no plano de trabalho.

Tabela 1 – NBR ISO/CIE 8995-1 (2013) – Iluminação de ambientes de trabalho

**PLANEJAMENTO DOS AMBIENTES (ÁREAS), TAREFAS E ATIVIDADES COM A ESPECIFICAÇÃO DA ILUMINÂNCIA, LIMITAÇÃO DE OFUSCAMENTO E QUALIDADE DA COR**

| Tipo de ambiente, tarefa ou atividade | $\bar{E}_m$ lux | $UGR_L$ | $R_a$ | Observações |
|---|---|---|---|---|
| 1. Áreas gerais da edificação | | | | |
| 22. Escritórios | | | | |
| Arquivamento, cópia, circulação etc. | 300 | 19 | 80 | |
| Escrever, teclar, ler, processar dados | 500 | 19 | 80 | Para trabalho com VDT, ver 4.10. |
| Desenho técnico | 750 | 16 | 80 | |
| Estações de projeto assistido por computador | 500 | 19 | 80 | Para trabalho com VDT, ver 4.10. |
| Salas de reunião e conferência | 500 | 19 | 80 | Recomenda-se que a iluminação seja controlável. |
| Recepção | 300 | 22 | 80 | |
| Arquivos | 200 | 25 | 80 | |

**PLANEJAMENTO DOS AMBIENTES (ÁREAS), TAREFAS E ATIVIDADES COM A ESPECIFICAÇÃO DA ILUMINÂNCIA, LIMITAÇÃO DE OFUSCAMENTO E QUALIDADE DA COR**

| Tipo de ambiente, tarefa ou atividade | $\bar{E}_m$ lux | $UGR_L$ | $R_a$ | Observações |
|---|---|---|---|---|
| 1. Áreas gerais da edificação | | | | |
| Tipo de ambiente, tarefa ou atividade | $\bar{E}_m$ lux | $UGR_L$ | $R_a$ | Observações |
| Sala de leitura | 500 | 19 | 80 | Recomenda-se que a iluminação seja controlável. |
| Quadro negro | 500 | 19 | 80 | Prevenir reflexões especulares. |
| Mesa de demonstração | 500 | 19 | 80 | Em salas de leitura 750 lux. |
| Salas de arte e artesanato | 500 | 19 | 80 | |
| Salas de arte em escolas de arte | 750 | 19 | 90 | $T_{cp} \geq 5.000$ K. |
| Salas de desenho técnico | 750 | 16 | 80 | |
| Salas de aplicação e laboratórios | 500 | 19 | 80 | |
| Oficina de ensaio | 500 | 19 | 80 | |
| Salas de ensino de música | 300 | 19 | 80 | |
| Salas de ensino de computador | 500 | 19 | 80 | Para trabalho com VDT, ver 4.10. |
| Laboratório lingüístico | 300 | 19 | 80 | |

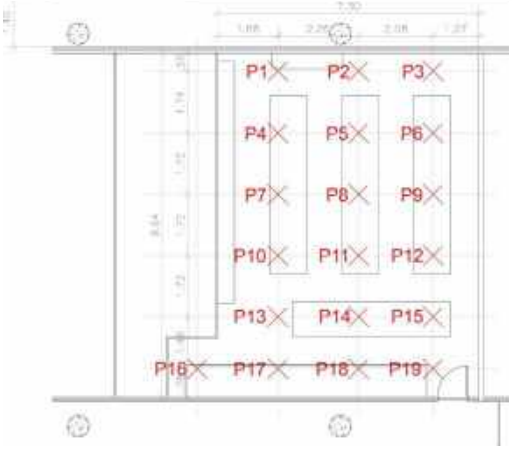



Figura 7 – Distribuição dos pontos na sala de aula

## 3.4. Medições

A próxima etapa da pesquisa foi a medição in loco com auxílio do luxímetro ICEL LD-800. Para determinar a altura do plano de medição foi tomada como referência a altura do plano de trabalho, ou seja, a altura das mesas, que são mais altas do que o padrão 75cm, ficando estabelecido o valor de 1.00m. A partir NBR 15215:4 (2007) foram definidos os intervalos de tempo nos quais foram realizadas as medições: pela manhã, as 9h; ao meio dia; e a tarde, às 15h. As medições foram realizadas nos dias 21, 22 e 23 de maio de 2018. Devido à similaridade dos resultados, será mostrado nesse artigo, apenas os dias 21/05/2018 e 22/05/2018.

## 3.5. Simulação com o Software *AGI-32* – Simulação estática

O AGI32 é uma ferramenta de simulação de iluminação natural e artificial, da empresa *Lighting Analysis* - Colorado EUA, que nos concedeu uma licença educacional, utilizada para calcular a quantidade de luz que será fornecida com base na localização geográfica através de suas coordenadas de latitude e longitude. O software pode então calcular as iluminâncias instantâneas de um determinado horário de um dia escolhido para análise, fornecendo soluções numéricas e renderizadas para quase todas as aplicações de iluminação, internas ou externas (Figuras 9 e 10). Os valores estáticos de iluminância obtidos através deste software de simulação podem ser comparados com a norma NBR ISSO/CIE 8995-1 (2013). O céu de Perez foi o modelo matemático usado para descrever a distribuição da luminância relativa da abóbada celeste, sendo considerado referência para cálculos e simulações de luz natural (Figura 8).

O modelo 3D da sala foi desenvolvido no software Bim *VectorWorks* da *Nemetschek Company* e importado para o AGI-32. As refletâncias das superfícies foram ajustadas conforme o resultado obtido pelo método do papel branco (item 3.2).

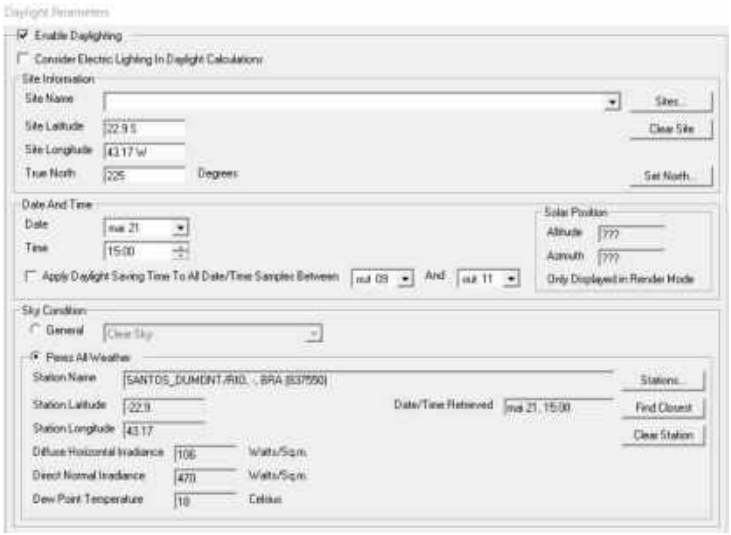



Figura 8: Parâmetros da simulação software AGI-32



Figura 9: Vista interna do interior para o exterior

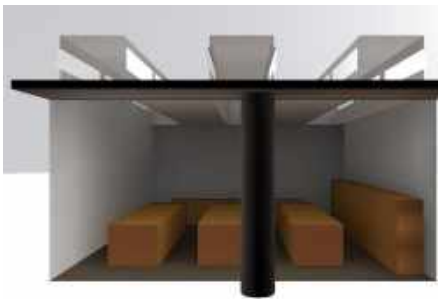


Figura 10: Vista interna do exterior para o interior

## 3.6. Simulação com o Software *LICASO* – Simulação dinâmica

A empresa *Lighting Analysts* desenvolveu o software *LICASO*, um simulador de luz natural anual, que trabalha em conjunto com o software AGI-32. Até recentemente, as únicas opções para simulações anuais eram baseadas no *Radiance*, ferramenta de simulação de iluminação, como o software *DAYSIM*.

*LICASO* é um software de simulação anual que não se baseia no *Radiance* e no modelo *ray tracing*. Ele se baseia no método *radiosity* (ASHDOWN, 1994) e assim como o *DAYSIM,* também utiliza a base de dados meteorológicos (TMY: *Tipical Meteorological Year*) (ASHDOWN, 2017).

O *software* trabalha com a norma IES LM-83-12 (Figura 11), que define métricas que serão utilizadas nesta análise: *Illuminance, Continuous Daylight Autonomy* (cDA), *Spatial Daylight Autonomy* (sDA), *Useful Daylight Illuminance* (UDI), *Annual Sunlight Exposure* (ASE).

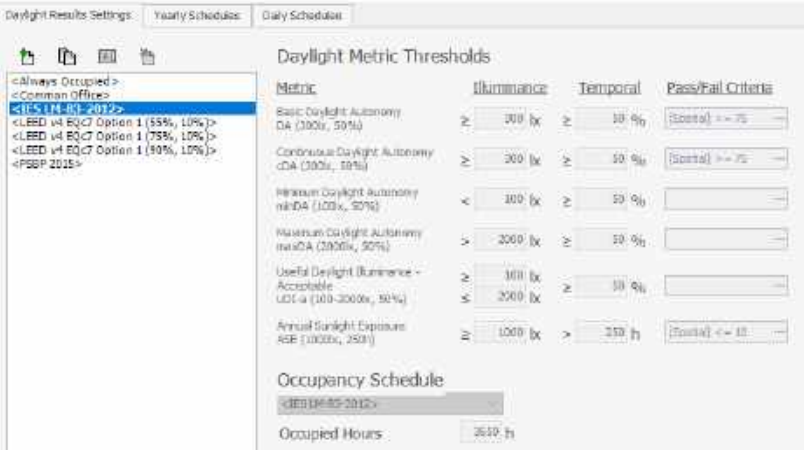



Figura 11: Padrões da simulação segundo IES LM-83-2012 simulado no software LICASO

## 4. RESULTADOS

Nos resultados, são apresentadas nas tabelas 2 e 3 as medições dos dias (21/05/2018 e 22/05/2018), sendo suprimido o dia 23/05/2018 devido a similaridade dos dados. As figuras 12, 13 e 14 mostram a condição de céu claro nos horários das medições do dia 21/05/2018 e as figuras 15, 16 e 17 do dia 22/05/2018. Em comparação com a norma NBR ISO/CIE 8995-1 (2013), as médias de iluminâncias para os dois dias encontram-se acima do esperado, principalmente para o horário das 9:00.

Tabela 2 - Resultado das medições- Dia 21/05/2018 - sala 202 bloco D (FAU-UFRJ)

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 09:00 | P1 | 1519 klx | P2 | 2083 klx | P3 | 2461 klx | P4 | 1004 klx | P5 | 1231 klx | P6 | 1510 klx |
| | P7 | 1033 klx | P8 | 1353 klx | P9 | 1260 klx | P10 | 1050 klx | P11 | 1148 klx | P12 | 1161 klx |
| | P13 | 1260 klx | P14 | 1500 klx | P15 | 1309 klx | P16 | 726 klx | P17 | 951 klx | P18 | 1000 klx |
| | P19 | 1006 klx | | | | | | | | | | |
| 12:00 | P1 | 1007klx | P2 | 1408 klx | P3 | 1830 klx | P4 | 748 Klx | P5 | 889 klx | P6 | 974 klx |
| | P7 | 662 Klx | P8 | 701 klx | P9 | 821 klx | P10 | 568 Klx | P11 | 544 klx | P12 | 603 klx |
| | P13 | 601 Klx | P14 | 683 klx | P15 | 622 klx | P16 | 329 Klx | P17 | 514 klx | P18 | 554 klx |
| | P19 | 497 Klx | | | | | | | | | | |
| 15:00 | P1 | 1010 klx | P2 | 1278 klx | P3 | 1605 klx | P4 | 789 klx | P5 | 647 klx | P6 | 743 klx |
| | P7 | 583 klx | P8 | 532 klx | P9 | 776 klx | P10 | 541 klx | P11 | 480 klx | P12 | 655 klx |
| | P13 | 622 klx | P14 | 721 klx | P15 | 695 klx | P16 | 355,7 klx | P17 | 534 klx | P18 | 622 klx |
| | P19 | 543 klx | | | | | | | | | | |



Figura12: Medição 21/05/2018 às 9:00



Figura13: Medição 21/05/2018 às 12:00

Média 9:00 de 1.293 lux
Média 12:00 de 766 lux
Média 15:00 de 705 lux

Tabela 3 - Resultado das medições - Dia 22/05/2018 - sala 202 bloco D (FAU-UFRJ)

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 09:00 | P1 | 1518 klx | P2 | 1993 klx | P3 | 2435 klx | P4 | 1191 klx | P5 | 1305 klx | P6 | 1490 klx |
| | P7 | 1068 klx | P8 | 1179 klx | P9 | 1367 klx | P10 | 991 klx | P11 | 990 klx | P12 | 1008 klx |
| | P13 | 1054 klx | P14 | 1208 klx | P15 | 1128 klx | P16 | 636 klx | P17 | 878 klx | P18 | 1005 klx |
| | P19 | 909 klx | | | | | | | | | | |
| 12:00 | P1 | 1077 klx | P2 | 1264 klx | P3 | 1711 klx | P4 | 666 klx | P5 | 885 klx | P6 | 1005 klx |
| | P7 | 542 Klx | P8 | 689 klx | P9 | 717 klx | P10 | 485 Klx | P11 | 554 klx | P12 | 586 klx |
| | P13 | 600 Klx | P14 | 680 klx | P15 | 673 klx | P16 | 336 Klx | P17 | 525 klx | P18 | 561 klx |
| | P19 | 492 Klx | | | | | | | | | | |
| 15:00 | P1 | 1024 klx | P2 | 1159 klx | P3 | 1572 klx | P4 | 688 klx | P5 | 594 klx | P6 | 658 klx |
| | P7 | 542 klx | P8 | 570 klx | P9 | 494 klx | P10 | 518 klx | P11 | 498 klx | P12 | 427 klx |
| | P13 | 597 klx | P14 | 531 klx | P15 | 569 klx | P16 | 258 klx | P17 | 426 klx | P18 | 440 klx |
| | P19 | 350 klx | | | | | | | | | | |



Figura14: Medição 21/05/2018 às 15:00

Média 9:00 de 1.228 lux
Média 12:00 de 739 lux
Média 15:00 de 624 lux



Figura15: Medição 22/05/2018 às 9:00



Figura16: Medição 22/05/2018 às 12:00



Figura17: Medição 22/05/2018 às 15:00

Os resultados das simulações estáticas com o software AGI-32 (Figuras 18, 19 e 20) mostram valores de iluminâncias médias acima da norma e com valores superiores aos da medição.

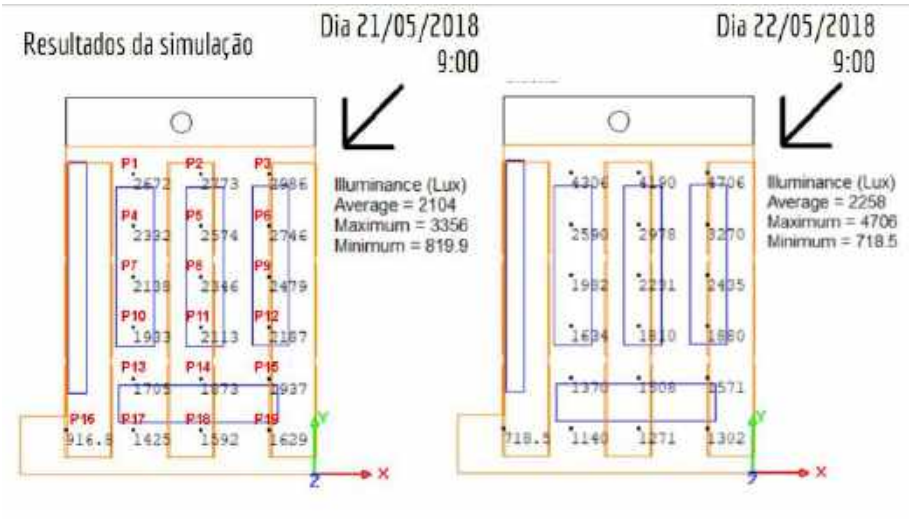



Figura 18: Resultados da simulação dias 21 e 22/05 às 9:00

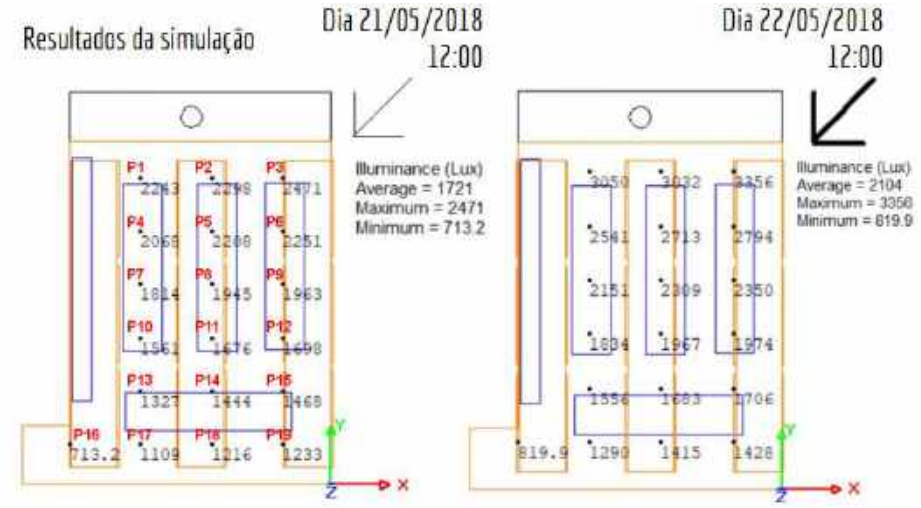



Figura 19: Resultados da simulação dias 21 e 22/05 às 12:00

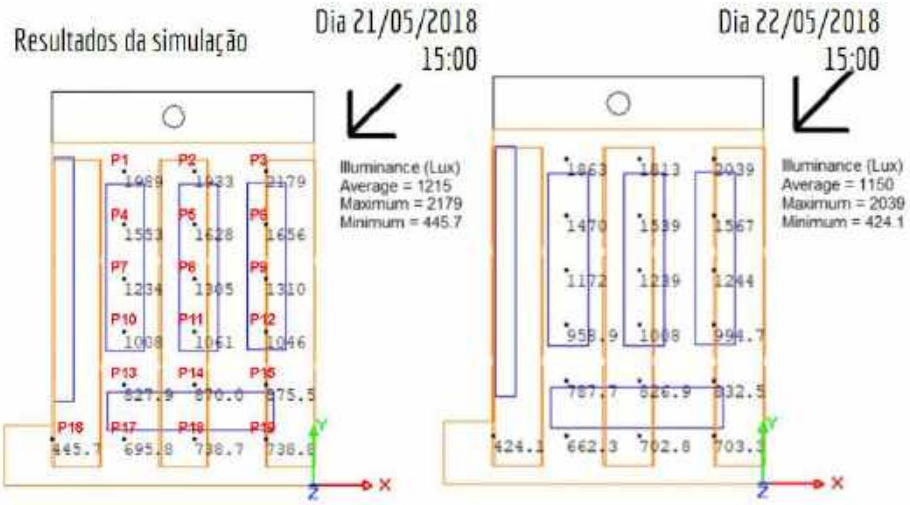



Figura 20: Resultados da simulação dias 21 e 22/05 às 15:00

Para aprofundar a análise das medições e simulações foram tomados 4 pontos em fileiras alternadas (P2, P8, P14 e P16) no dia 21/05/2018 (Figura 21) e apresentados nas tabelas 4, 5 e 6. Os gráficos das figuras 22, 23 e 24 mostram que a diferença entre os valores das simulações varia de 30 a 50% a mais do que o das medições. Estes valores são aceitáveis, pois a simulação foi realizada com o céu de Perez, e a realidade das medições com o céu real dos dias analisados.

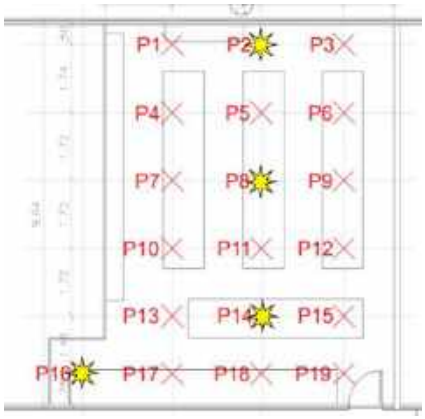



Figura 21: Marcação dos pontos

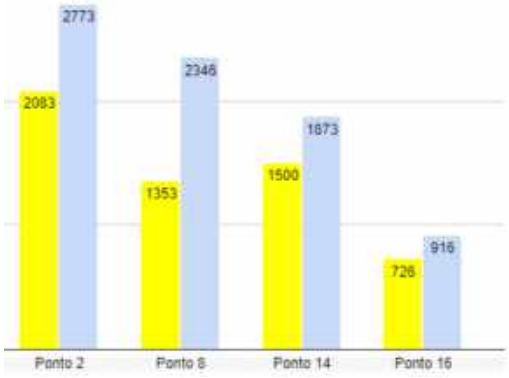



Figura 22: 21/05/2018 às 9:00

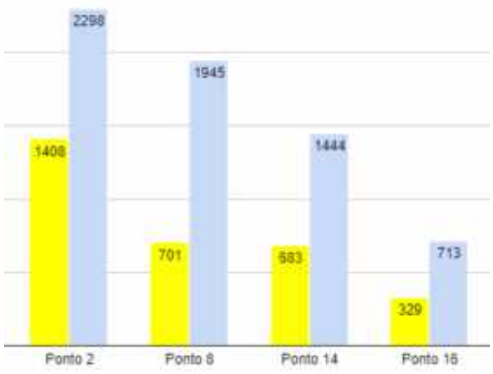



Figura 23: 21/05/2018 às 12:00

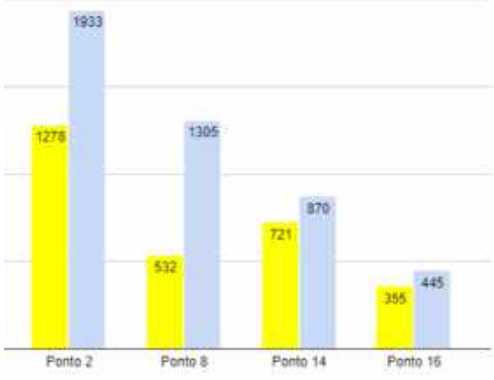



Figura 24: 21/05/2018 às 15:00

Tabela 4 – Medição manual x simulação dia 21/05 às 9:00

Medição Manual - 21/05

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 09:00 | P1 1519 klx | P2 2083 klx | P3 2461 klx | P4 1004 klx | P5 1231 klx | P6 1510 klx |
| | P7 1033 klx | P8 1353 klx | P9 1260 klx | P10 1050 klx | P11 1148 klx | P12 1161 klx |
| | P13 1260 klx | P14 1500 klx | P15 1309 klx | P16 726 klx | P17 951 klx | P18 1000 klx |
| | P19 1006 klx | | | | | |

Simulação - 21/05

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 09:00 | P1 2672 klx | P2 2773 klx | P3 2986 klx | P4 2332 klx | P5 2574 klx | P6 2746 klx |
| | P7 2138 klx | P8 2346 klx | P9 2479 klx | P10 1933 klx | P11 2113 klx | P12 2187 klx |
| | P13 1705 klx | P14 1673 klx | P15 1937 klx | P16 916 klx | P17 1425 klx | P18 1592 klx |
| | P19 1629 klx | | | | | |

Tabela 5 – Medição manual x simulação dia 21/05 às 12:00

Medição Manual - 21/05

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 12:00 | P1 1070 Klx | P2 1408 klx | P3 1830 klx | P4 748 Klx | P5 889 klx | P6 974 klx |
| | P7 662 Klx | P8 701 klx | P9 821 klx | P10 508 Klx | P11 544 klx | P12 603 klx |
| | P13 601 Klx | P14 583 klx | P15 622 klx | P16 329 Klx | P17 514 klx | P18 554 klx |
| | P19 497 Klx | | | | | |

Simulação - 21/05

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 12:00 | P1 2243 klx | P2 2298 klx | P3 2471 klx | P4 2068 klx | P5 2208 klx | P6 2251 klx |
| | P7 1814 klx | P8 1945 klx | P9 1963 klx | P10 1561 klx | P11 1676 klx | P12 1698 klx |
| | P13 1327 klx | P14 1444klx | P15 1468 klx | P16 713 klx | P17 1100 klx | P18 1216 klx |
| | P19 1233 klx | | | | | |

Tabela 6 – Medição manual x simulação dia 21/05 às 15:00

Medição Manual - 21/05

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 15:00 | P1 1010Klx | P2 1278klx | P3 1605klx | P4 789klx | P5 647klx | P6 743klx |
| | P7 583Klx | P8 532klx | P9 776 klx | P10 541Klx | P11 480klx | P12 655klx |
| | P13 622 Klx | P14 721klx | P15 695klx | P16 355.7Klx | P17 534klx | P18 622klx |
| | P19 543Klx | | | | | |

Simulação - 21/05

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 15:00 | P1 1986klx | P2 1933klx | P3 2170klx | P4 1553klx | P5 1628klx | P6 1656klx |
| | P7 1234klx | P8 1305klx | P9 1310klx | P10 1008 klx | P11 1061 klx | P12 1046 klx |
| | P13 827klx | P14 870klx | P15 874klx | P16 445klx | P17 695 klx | P18 738klx |
| | P19 738klx | | | | | |

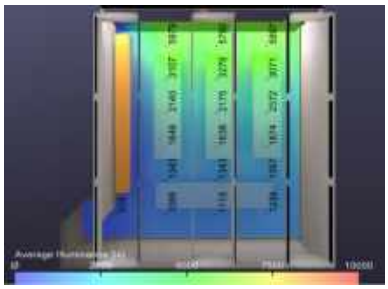


Figura 25: Média anual de iluminâncias

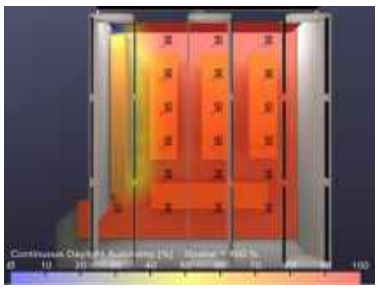
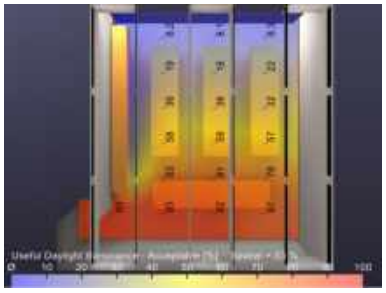


Figura 26: Autonomia de Luz Natural



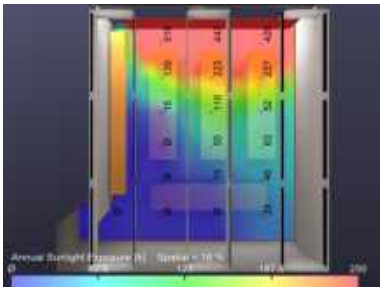


Figura 27: Percentual de utilização de luz natural aceitável
Figura 28: Exposição anual de luz direta do sol

Os resultados das simulações dinâmicas realizadas com o software *LICASO* mostram na figura 25 as médias de iluminância anuais acima da norma NBR ISO/CIE 8995-1 (2013). A métrica *continuos daylight autonomy,* segundo o IES LM-83-12-2012, é uma medida que tem como resultado um valor percentual da área de piso que excede o nível de iluminação especificado de 300 lux, para 50% das horas úteis determinadas (8:00h às 18:00h). A figura 26 mostra que toda a sala excederá esse valor pelo percentual apresentado de 94 a 96%.

A figura 27 mostra que a métrica caracterizada como *Useful Daylight Illuminance,* que considera os percentuais de utilização da sala com base nos valores da iluminância (inferiores a 100 lux insuficientes e acima de 2000 lux podendo causar desconforto lumínico, térmico ou ambos), apresentou variações entre 36% a 8.3% mais próximos à janela, significando que existe ofuscamento devido a valores altos de iluminância, conforme mostrado na figura 27. Isto significa que metade da sala está em desconforto visual.

A última métrica "*Annual Sunlight Exposure"* (ASE) apresentada na figura 28, está focada na potencial fonte de desconforto visual oriunda da luz direta do sol em ambientes internos de trabalho. É definida como um valor percentual da área analisada que exceda um nível de iluminação natural direta especificado, por um determinado número de horas no ano. Adotou-se a expressão: $ASE_{lux,horas,}$ ou seja, o termo "ASE", seguido da iluminância máxima especificada e das respectivas horas úteis no ano em que esta condição se aplique. Conforme mostrado na figura 11, e segundo IES LM-83-2012 simulado no software *LICASO*, os valores seriam ≥1000lux em >250horas. A figura 28 mostra que a área próxima à janela apresentará valores maiores que 1000lux em períodos de tempo superiores a 250h.

## 5. CONCLUSÕES

Os **resultados** obtidos mostram que apesar da sala de aula poder permanecer todo o dia com a luz artificial apagada, ela apresenta uma quantidade de luz natural acima do estabelecido pela norma. Através das simulações dinâmicas foi possível constatar também que a quantidade de iluminação natural é excessiva durante o ano, influenciando no ganho de carga térmica no ambiente e gerando ofuscamento. Conclui-se que a sala, apesar de apresentar iluminação zenital e eficiência lumínica, precisará fazer uso do ar condicionado para manter o conforto térmico durante o ano.

Uma das grandes vantagens do uso da simulação dinâmica da luz natural é a possibilidade de se desenvolver análises mais precisas através das métricas apresentadas, que podem auxiliar nas decisões de projeto. O software *LICASO* possui uma grande velocidade para simulação, é de fácil interação com o usuário e trabalha com a norma IES LM-83-2012, referência do LEED v.4, apresentando-se como uma alternativa para os profissionais da área de projetos eficientes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS


ABNT: NBR ISO/CIE - 8995-1 2013 - **Iluminação de ambientes de trabalho**.

ABNT: NBR 15215-3: 2007 – **Iluminação natural – Parte 3: Procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos.**

ABNT: NBR 15215- 4: 2005 – **Iluminação natural – Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações - Método de medição.**

AEC - ARCHITECTURAL ENERGY CORPORATION. **Design brief: Understanding daylight metrics**. Energy design resources, 2009. Disponível em: https://energydesignresources.com/resources/publications/design-briefs/design-brief-understanding-daylight-metrics.aspx

ASHDOWN, Ian. ***Climate-Based Daylight Modeling*** (2016). Disponível em: https://lightinganalysts.com/climate-based-daylight-modeling/

_____ ***Radiosity: A Programmer's Perspective*** (1994). New York, NY: John Wiley & Sons.

_____ et.al,. ***Licaso and Daysim***. (2017). Disponível em: https://lightinganalysts.com/licaso-and-daysim/

AZZA NABIL, JOHN MARDALJEVIC. ***Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors***. Energy and Buildings 38 (2006).

GHISI, E.; LAMBERTS, R. **Desenvolvimento de uma metodologia para retrofit em sistemas de iluminação**. Anais 7º Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Florianópolis. p. 401- 409, 1998.

IESNA: IES LM-83-12 – ***Approved Method: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE)***.

PEREZ, R. et.al,. **All-Weather Model for Sky Luminance Distribution – Preliminary Configuration and Validation**. Solar Energy 50(3):235-245 (1993).