

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - CAMPUS ARARANGUÁ

NATALIA DA ROSA SILVA

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
DE ENERGIA**

ARARANGUÁ

2017

NATALIA DA ROSA SILVA

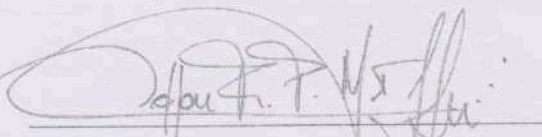
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE ENERGIA

Trabalho de conclusão de curso na
modalidade de artigo científico para a
aprovação na disciplina de Trabalho de
Conclusão de Curso do curso de Engenharia
de Energia da Universidade Federal de Santa
Catarina – Campus Araranguá

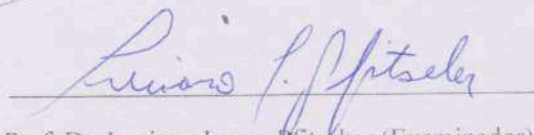
Aprovado em: 28/06/2017



Prof. Dr. César Cataldo Scharlau (Orientador)



Prof. Me. Odilon Francisco Pavoni Duarte (Examinador)



Prof. Dr. Luciano Lopes Pfitscher (Examinador)

ANÁLISE E INTEGRAÇÃO EFICIENTE DA ILUMINAÇÃO NATURAL E ARTIFICIAL EM UMA SALA DE AULA

NATALIA DA ROSA SILVA¹

RESUMO

Há um interesse crescente quanto à efficientização das edificações, no qual a iluminação artificial apresenta considerável representatividade no consumo de energia elétrica. Dessa forma, se mostram de grande importância os estudos relacionados ao tema, contribuindo na proposição de equipamentos mais eficientes e estratégias de aproveitamento da iluminação natural. O objetivo desse trabalho é examinar alternativas de efficientização da iluminação, tendo como estudo de caso uma sala de aula da Universidade Federal de Santa Catarina – Centro Araranguá. Para atender os objetivos, serão realizadas simulações com o *software* DIALux, de modo a estudar lâmpadas mais eficientes que as usadas atualmente. Além disso, será verificado também o aproveitamento da iluminação natural com a implantação de proteções solares. Esses dispositivos auxiliam na uniformidade da iluminação e controle do ofuscamento. Dois exemplos desses dispositivos serão avaliados: prateleira de luz e brise. Finalmente, será selecionada a proteção solar que tiver melhor desempenho na sala, no que diz respeito ao conforto visual e a viabilidade econômica. A expectativa com este trabalho é desenvolver alternativas de eficiência energética que possam ser aplicadas na universidade.

Palavras-chave: Iluminação. Brise. Prateleira de luz. Efficientização.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a iluminação representa, aproximadamente, 24% do consumo de energia elétrica no setor residencial, 44% no setor comercial e serviços públicos e 1% no setor industrial. Portanto, uma quantia considerável dos custos com energia provém do sistema de iluminação (FURUYAMA, 2013). Na edificação de interesse para a realização desse trabalho, a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) – Centro Araranguá, localizada no bairro Jardim das Avenidas, o consumo de energia elétrica com iluminação representa 32% do total, salientando

¹Graduanda do Curso de Engenharia de Energia da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá, Rodovia Governador Jorge Lacerda, 3201, Jardim das Avenidas Araranguá, Santa Catarina, Brasil, CEP 88905-355. E-mail: natalia.da.rosa.silva@gmail.com

a necessidade de se estudar alternativas de eficiência energética para reduzir essa fração (BILÉSIMO, 2015).

Em uma sala de aula são necessárias condições de conforto visual, isto é, condições de iluminação em que o desenvolvimento das atividades seja feito com maior precisão visual, menor esforço e com riscos reduzidos de acidentes e prejuízos à visão (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). O conforto visual é considerado um dos aspectos mais importantes para que os alunos possam ter um bom rendimento escolar, visto que, o grau de concentração, a produção, a qualidade e o comportamento dos estudantes dependem da situação de conforto visual proporcionada pela sala (DORIGO; SUGA; KRÜGER, 2006). Entretanto, muitos edifícios escolares possuem salas de aulas deficientes com relação ao conforto visual. Um dos motivos é porque, no Brasil, há longo tempo são utilizados projetos padronizados para a construção de escolas. Dessa forma, não há o devido planejamento no que diz respeito às características do entorno, à orientação das salas, à localização, à dimensão das aberturas, aos materiais dos revestimentos e a outros fatores que influenciam na iluminação (LOPES, 2006).

De modo a integrar esses dois quesitos, podem ser utilizados alguns princípios da arquitetura bioclimática, que tem como objetivo reduzir o consumo de energia elétrica em uma edificação ao estudar as relações entre os seres humanos e a características climáticas de um local (ADAM, 2001). Para atender aos critérios de conforto visual, é possível integrar a iluminação natural e a artificial, com esta última sendo utilizada apenas nos momentos que a luz natural for insuficiente. Dessa forma, com um devido controle da iluminação, consegue-se obter economia de energia elétrica e atender ao nível de iluminação adequado (SALATA et al., 2016).

A iluminação natural, quando em demasia, pode causar desconforto visual e/ou térmico. Para otimizar o aproveitamento dessa fonte de luz, são instalados elementos de controle da luz do sol, como o brise e a prateleira de luz. Eles atuam no bloqueio do excesso de insolação direta, filtrando e redirecionando a luz natural, mas ainda assim permitindo a ventilação e a visibilidade externa (BOGO, 2007).

Diante do exposto, entende-se a necessidade de estudar alternativas de adequação da iluminação de forma a atingir o conforto visual e levar em consideração também a eficiência energética. Este trabalho, portanto, tem como objetivo apresentar uma análise do sistema de iluminação em uma sala de aula e estudar opções de eficiência energética, para aumentar o aproveitamento da luz natural e atender os requisitos necessários para o desenvolvimento das atividades. Será dada continuidade aos estudos iniciados por Bilésimo (2015), no qual foram avaliadas alternativas para efficientização do sistema de iluminação artificial nas salas de aula da UFSC.

De forma a atingir o objetivo do trabalho, será escolhida uma das salas de aula da UFSC,

Centro Araranguá, para simular e analisar a condição atual do sistema de iluminação artificial e natural. Inicialmente, pretende-se selecionar um sistema de iluminação artificial mais eficiente que o atual. A próxima etapa consiste na simulação das proteções solares estudadas e na quantificação da economia de energia elétrica obtida com o aproveitamento da iluminação natural. Com os resultados das simulações, será determinada qual a melhor combinação de iluminação artificial e proteção solar apresenta melhor desempenho na sala em questão. As simulações serão realizadas com o *software* DIALux.

Parte dos resultados obtidos foram apresentados em um artigo de Silva, Bilésimo e Scharlau (2016), no 5º Simpósio de Integração Científica e Tecnológica do Sul Catarinense (SICT-Sul). A expectativa com esse trabalho é contribuir no desenvolvimento de alternativas para a efficientização e melhora da condição de iluminação, que possam ser aplicadas nas salas de aula da UFSC – Centro Araranguá.

O trabalho está estruturado da seguinte forma: os conceitos pertinentes a este tema serão apresentados no referencial teórico na seção 2. A metodologia será explicada na seção 3. Os resultados obtidos e a discussão dos mesmos está presente na seção 4. Por fim, a conclusão será descrita na seção 5.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção serão descritos os conceitos pertinentes a este trabalho, abordando aspectos referentes à iluminação natural, integração da luz natural e artificial e simulação computacional da iluminação.

2.1 Conceitos importantes sobre iluminação

Ao se tratar do tema iluminação, é importante compreender o significado de alguns termos comumente utilizados, que serão apresentados a seguir.

O fluxo luminoso representa a radiação que é emitida por uma fonte luminosa em todas as direções e percebida pelo olho humano. A unidade utilizada é o Lúmens (lm). A iluminância ou nível de iluminação é o fluxo luminoso incidente em uma unidade de área, definida também como a densidade superficial de fluxo luminoso recebido. A unidade em que é apresentada é o lux (lx). A eficiência luminosa de uma fonte representa a relação entre o fluxo luminoso emitido pela fonte (lm) e a potência por ela absorvida (W), apresentada na unidade de lm/W (CAYE, 2010).

Para poder determinar o fluxo luminoso necessário para atender o nível de iluminação

preciso no plano de trabalho, é possível utilizar o Método dos Lumens, apresentado na Equação 2.1 (MAMEDE FILHO, 2011).

$$\phi = \frac{E \times S}{F_u \times F_{dl}} \quad (2.1)$$

onde ϕ é o fluxo total a ser emitido pelas lâmpadas, E é a iluminância requerida no plano de trabalho, S é área do ambiente, F_u é o fator de utilização do ambiente e F_{dl} é o fator de depreciação do serviço da luminária (MAMEDE FILHO, 2011).

O conforto visual é atingido quando o nível de iluminação está adequado às necessidades do ocupante do ambiente, quando não há incômodos, como reflexo e ofuscamento, e quando não há contrastes que demandem esforço da visão (SANTOS, 2012).

O ofuscamento ocorre quando o processo de adaptação da visão não acontece de forma correta, podendo ser pela visão de um objeto com um brilho muito forte ou pela grande variação de brilho entre elementos do campo visual (NISSOLA; PEREIRA, 2006).

2.2 Iluminação natural

A iluminação natural pode ser definida como a luz que provém do sol e é representada pelos raios solares diretos e a luz difusa do céu, como também pelos raios indiretos, que tem origem no sol, mas são retransmitidos pelo céu, pelas nuvens, pela vegetação, pelos edifícios e por outros corpos (SOUZA, 1997).

A luz natural é a fonte que melhor atende às exigências visuais humanas. O olho humano utiliza o espectro da luz natural como forma de comparação com outras fontes luminosas (CHRISTAKOU, 2004).

A disponibilidade da luz natural depende de algumas variáveis, como a sazonalidade, onde o movimento aparente do sol altera os níveis de iluminação, variando com a época do ano e hora do dia. A luz natural é alterada também com o clima (presença de nuvens e névoa), com a qualidade do ar (poeira suspensa na atmosfera), com as características físicas e geográficas do local e com a orientação e configuração do entorno, se existir (SCHVARTZ, 2004). A latitude do local é um fator importante, pois impacta na posição do sol no céu, variando a disponibilidade da luz natural (LOPES, 2006).

Apesar da grande disponibilidade de luz natural durante o dia, nas horas iniciais e finais do dia o nível de iluminação disponível pelo céu e pelo sol são menores. Com isso, é necessária uma complementação da iluminação com fontes de luz artificiais para atingir o conforto visual (LOPES, 2006).

2.2.1 Conforto visual e luz natural

Para uma sala de aula atender as condições de conforto visual necessárias para um melhor desempenho dos estudantes, ela precisa estar de acordo com as regulamentações estabelecidas pelas normativas. No que diz respeito à condição de iluminação, no Brasil utiliza-se a ABNT NBR ISO/CIE 8995 – 1, que trata da iluminação em ambientes de trabalho. Em uma sala de aula, a iluminância adequada é de 500 lx no plano de trabalho (ABNT, 2013).

Entretanto, sob o ponto de vista da iluminação natural, o conforto visual não se trata apenas de atender os valores de iluminância adequados, mas também do controle do ofuscamento (SOUZA, 1997). Deve-se ainda fornecer boas condições de iluminação sem ganhos excessivos de calor no ambiente durante o verão (SOUZA, 1997).

De acordo com ABNT (2013) é possível determinar o valor referente ao ofuscamento desconfortável a partir Índice de Ofuscamento Unificado (UGR). A escala UGR é: 13 - 16 - 19 - 22 - 25 - 28. Cada passo na escala representa uma mudança significativa no efeito do ofuscamento e 13 representa o ofuscamento desconfortável menos perceptível.

Uma forma de determinar o intervalo de iluminâncias proporcionadas pela luz natural, adequado para o conforto visual, pode-se considerar o parâmetro proposto por Nabil e Mardaljevic (2006), denominado de Iluminância Natural Útil (UDI, do inglês *Useful Daylight Illuminance*). A Tabela 1 classifica os valores das iluminâncias conforme a condição de conforto visual proporcionada. Os valores apresentados foram obtidos a partir de pesquisas que verificaram o comportamento dos ocupantes em escritórios, de acordo com uma ampla faixa de iluminâncias proporcionadas pelo Sol.

Tabela 1 – Iluminância Natural Útil (UDI).

Intervalo de iluminância	Característica da iluminação
< 100 lx	Insuficiente.
Entre 100 e 500 lx	Suficiente, mas necessária fonte de iluminação complementar.
Entre 500 e 2000 lx	Suficiente e desejável.
> 2000 lx	Indesejável, por causar desconforto visual e/ou térmico.

Fonte: adaptado de Nabil e Mardaljevic (2006)

Para poder controlar a magnitude e a distribuição da luz natural em um ambiente, de forma a atender os requisitos acima mencionados, é necessário conhecer os fatores que influ-

enciam na iluminação do local, tais como: a disponibilidade da luz natural (condições atmosféricas), as obstruções externas, a orientação e propriedades das aberturas, como, também, o tamanho e a geometria do ambiente e a refletividade das superfícies internas (SOUZA, 2003). Entre esses aspectos, as aberturas se apresentam como uma importante variável, devido ao fato de permitirem a entrada de um alto nível de luminosidade. Porém, esse nível decresce rapidamente em direção ao interior. Dessa forma, há regiões do ambiente que ficam sujeitas ao ofuscamento e outras que não possuem o nível de iluminação adequado. O tamanho desses dispositivos também é relevante, pois grandes aberturas aumentam a iluminação natural e, conseqüentemente, o ganho de calor na sala e o ofuscamento. Por esse motivo, proteções solares se mostram importantes para o controle da luz natural (ROSIM, 2008).

2.2.2 Controle da luz natural

Quando a luz natural incide em elementos envidraçados da edificação, ela pode ser refletida, absorvida e transmitida, dependendo das características do vidro utilizado. O vidro incolor comum permite que grande parte seja transmitida ao interior (aproximadamente 85%). Nas superfícies opacas, a luz natural é absorvida e refletida de acordo com as características do material, sendo que a reflexão é maior em cores claras. Essa reflexão pode ser especular em materiais muito refletivos, difusa em materiais uniformemente rugosos e também mista, pois muitos materiais se comportam em parte como refletivos e em parte como difusos (BOGO, 2007).

A luz natural que não incide diretamente no vidro da abertura pode ser redirecionada por reflexão ao atingir elementos junto a esta, como, por exemplo, elementos de controle de luz solar. Eles irão refletir a luz, em determinadas direções, em função das características de refletância dos materiais, como a cor e o tipo de reflexão. Dessa forma, há uma contribuição para a iluminação no ambiente interno. Portanto, ao contrário de uma abertura com apenas vidro incolor comum, onde a luz é transmitida para o ambiente em apenas uma direção (conforme a incidência externa), em uma abertura com elementos de controle solar a transmissão da luz é feita em diversas direções, conforme apresentado na Figura 1 (BOGO, 2007).

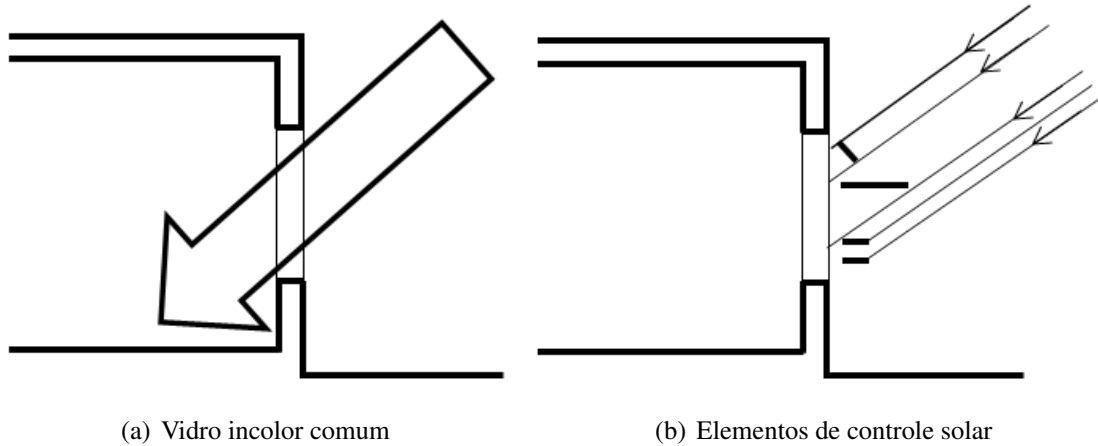


Figura 1 – Transmissão da luz natural. Fonte: adaptado de Bogo (2007)

Elementos de controle da luz solar são utilizados com o objetivo de otimizar a distribuição de iluminação natural no ambiente interno, prevenir o ofuscamento e diminuir as cargas térmicas. Entre esses elementos, se encontram a prateleira de luz e o brise (ROSIM, 2008).

2.2.2.1 Prateleira de luz

A prateleira de luz é um elemento de controle da luz natural que redireciona os raios solares com o objetivo de diminuir o ofuscamento e controlar o aquecimento. Ela consiste em uma estrutura horizontal ou inclinada, que é instalada de forma a dividir a janela em duas partes: a superior, responsável pela iluminação, e a inferior, que se encarrega da ventilação e da integração visual do ambiente interior com o exterior. A Figura 2 ilustra uma prateleira de luz e mostra a variação do gradiente de iluminação, conforme o posicionamento da prateleira (ROSIM, 2008).

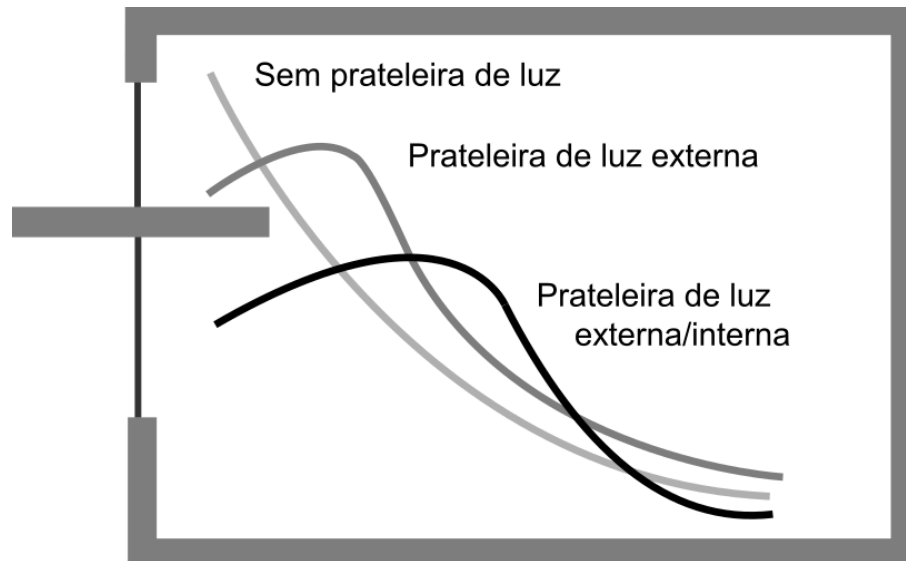


Figura 2 – Variação do gradiente de luz de acordo com o posicionamento da prateleira de luz. Fonte: adaptado de Rosim (2008)

O princípio desse dispositivo é a utilização do teto e das paredes do ambiente como superfícies difusoras da luz vinda do exterior. Os raios de luz são refletidos pela superfície superior da prateleira, para uniformizar a luminosidade. Quando a prateleira é instalada acima do nível dos olhos, ela previne o ofuscamento (ALVES, 2008). Há pesquisas sobre prateleiras de luz desde os anos 1950, com resultados comprovando que a luz natural fica bem distribuída, melhorando as condições visuais, principalmente nas proximidades da janela (MACÊDO, 2002).

2.2.2.2 Brise

O *brise-soleil*, ou mais usualmente chamado de brise, é um dispositivo de proteção solar, formado por estruturas laminares, com o objetivo de impedir que raios solares incidam diretamente nas aberturas do ambiente. O brise tem a função também de evitar contrastes excessivos, ofuscamentos e o sobreaquecimento (MEDEIROS, 2015).

Os brises, normalmente, são constituídos por lâminas paralelas internas ou externas à edificação. A sua composição dependerá do período de sombreamento requerido, latitude e orientação da abertura. Os materiais mais utilizados para a sua fabricação são placas de concreto armado, chapas de fibrocimento, chapas de aço e chapas e perfis de alumínio (MEDEIROS, 2015).

Os brises podem ser classificados de acordo com a posição e a mobilidade. Com relação à posição, os brises podem ser horizontais, verticais ou mistos (combinação de brises horizontais e verticais), os quais estão representados na Figura 3. Quanto à mobilidade, podem ser móveis ou fixos (MEDEIROS, 2015).

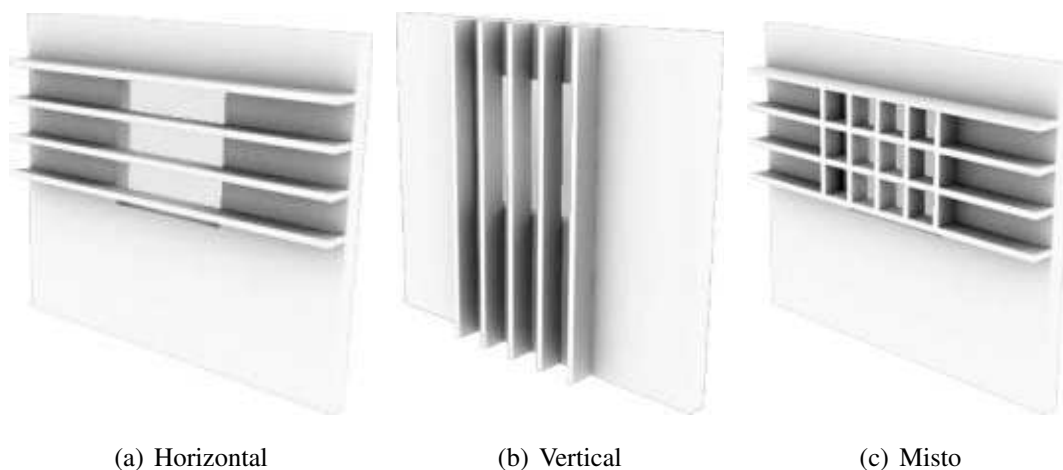


Figura 3 – Classificação dos brises com relação à posição. Fonte: adaptado de Martins (2007)

Os brises horizontais se mostram eficientes quando colocados em fachadas orientadas ao norte, noroeste e nordeste. Quando são utilizados para barrar raios solares baixos, é preciso aumentar a inclinação da lâmina, assim reduzem a luminosidade, a ventilação natural e causam obstrução ao ambiente externo. São mais eficientes nas horas do dia em que o sol está mais alto e não geram bons resultados nas primeiras e últimas horas do dia (MEDEIROS, 2015).

Os brises verticais são mais eficientes em latitudes elevadas, nas fachadas leste e oeste. Nessas orientações, com baixas latitudes, é necessário acentuar a inclinação das lâminas. Por esse motivo, reduzem significativamente a iluminação no ambiente interno. Apresenta eficiência em fachadas onde o sol incide mais baixo (MARTINS, 2007).

Nos brises mistos há uma associação de lâminas verticais e horizontais de forma simultânea. Quando devidamente combinados, apresentam resultados eficientes devido à complementaridade que possuem. São indicados para as fachadas norte e sul (MARTINS, 2007).

Os brises fixos não possuem a possibilidade de regulação, são dimensionados e incorporados na fachada. Dessa forma, apresentam um menor custo com a manutenção e não precisam de intervenção das pessoas para realizar a regulação. Eles apresentam uma melhor eficiência anual em regiões com o verão mais longo (MARTINS, 2007).

Os brises móveis podem ser regulados de forma manual ou automática, conforme a variação da radiação solar e, por esse motivo, são mais eficientes. Porém, apresentam um custo mais elevado com a instalação e manutenção, por causa dos sistemas de acionamento ou da mão de obra necessária para realizar posicionamento adequado (MARTINS, 2007). A mobilidade do brise permite o controle de sua inclinação conforme a necessidade do usuário, aumentando ou diminuindo a entrada de luz do sol no recinto. Ele pode ser programado para se ajustar a variação dos raios solares durante o dia ou ser alterado de forma manual pelo ocupante. Dessa forma, o brise estará com a angulação correta em cada horário (BITTENCOURT, 2004).

Há sistemas que contam com o uso de sensores para que o controle da inclinação seja feito automaticamente sem interferência humana (MARAGNO, 2000).

2.3 Integração da iluminação natural e artificial

A utilização de luz natural em uma edificação reduz o consumo de energia de forma direta e indireta. A forma direta acontece quando as lâmpadas são desligadas nos horários em que a iluminação natural é suficiente para atender o requisito de iluminância. De forma indireta, há economia de energia pois, com o sistema de iluminação artificial desligado, há uma redução nas cargas de resfriamento (SOUZA, 2003).

Em uma edificação, o aproveitamento da luz natural depende em grande parte das características arquitetônicas, mas o projetista pode também decidir como integrar e aproveitar a luz solar com a iluminação artificial. A escolha adequada do posicionamento das luminárias influenciará diretamente no nível de iluminação do ambiente e também na potência consumida pelo sistema (MORAES, 2012).

Nos projetos relacionados à integração de iluminação artificial e natural, são necessárias algumas considerações como: a determinação do controle do sistema de iluminação artificial, a disposição das luminárias, para que elas possam complementar a luz natural e atender as necessidades de conforto visual quando essa não estiver disponível, a escolha da lâmpada, que seja energeticamente eficiente, e da luminária adequada para a estratégia de controle e para a lâmpada (MORAES, 2012).

Na realização deste trabalho, o controle do sistema de iluminação artificial será considerado de forma manual através de interruptores. Os controles manuais são eficientes na redução do consumo de energia elétrica para fins de iluminação, com a integração da luz natural. Para se obter essa eficiência, é necessário levar em consideração a divisão de circuitos de iluminação em um ambiente (SOUZA, 2003).

2.4 Simulação computacional da iluminação

É importante utilizar a simulação computacional da iluminação, principalmente nas fases de projeto da edificação, para conhecer o comportamento da luz natural e artificial no ambiente (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

No que concerne à luz natural, os *softwares* são divididos entre os que realizam simulações estáticas e os que a fazem de forma dinâmica. As simulações estáticas utilizam modelos de céu padronizados (céu claro, céu parcialmente encoberto e céu encoberto). Dessa forma, nas

análises que utilizam esses programas, são necessárias simulações em diversos horários e dias do ano. Os resultados obtidos com esse modo de simulação incluem os níveis de iluminância e imagens renderizadas do espaço. Nas simulações dinâmicas, é necessário importar o arquivo climático do ano de referência do local em estudo. São utilizados modelos de céu, os quais convertem os dados da radiação solar e outras informações meteorológicas em distribuição de iluminâncias no céu. Os resultados dessa forma de simulação incluem informações sobre o desempenho do sistema durante todo o ano (SANTOS, 2012).

Dentre os *softwares* de simulação computacional da iluminação utilizados, é possível destacar o Radiance, o Daysim e o DIALux. Em comum, esses programas precisam de informações de entrada, as quais correspondem a posição geográfica do local, a área e geometria do ambiente, as propriedades das superfícies, as dimensões e orientação das aberturas como também o padrão de uso e a ocupação da edificação (SANTOS, 2012).

O Radiance é um programa de simulação estática desenvolvido pelo *Lawrence Berkeley National Laboratory* (LBNL), nos Estados Unidos e disponibilizado para *download* de forma gratuita. Seus resultados já foram testados e validados em trabalhos científicos. Ele apresenta um interface complexa, dificultando a sua utilização (SANTOS, 2012). Esse programa simula a iluminação nos ambientes utilizando o método conhecido como raio traçado (*ray-tracing*), o qual traça todos os raios de luz e constrói a luminosidade nas superfícies até determinado limite de reflexões pré-estabelecido. O resultado apresenta uma imagem tridimensional do ambiente em que é possível sobrepor as isolinhas de iluminância sobre as superfícies (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

O Daysim é um programa de simulação dinâmica da iluminação, desenvolvido pelo *National Research Council Canada* (NRC), que utiliza o algoritmo do Radiance para calcular a iluminância no ambiente para o período de um ano, de acordo com as informações do arquivo climático inserido (DIDONÉ, 2009). É um programa gratuito e, conforme o Radiance, apresenta uma interface complexa (SANTOS, 2012).

O *software* DIALux realiza a simulação estática da iluminação. Foi desenvolvido na Alemanha e disponibilizado para *download* de forma gratuita. Apresenta uma interface amigável, dados de saída precisos e foi validado pela *Commission International de l'Éclairage* (CIE) no relatório técnico CIE 171 : 2006 (SANTOS, 2012). O DIALux permite que cada ambiente seja projetado com suas características individuais, por exemplo, pé-direito, comprimento, largura, como também o índice de reflexão das paredes, do piso e do teto. No que diz respeito a luz artificial, o *software* determina o nível de iluminação a partir de curvas de distribuição fotométricas das luminárias e dos dados de fluxo luminoso da lâmpada utilizada (CAYE, 2010).

3 METODOLOGIA

Essa seção apresenta a metodologia utilizada para realizar este trabalho.

3.1 Caracterização da sala estudada

Para a realização desse trabalho foi selecionada uma sala de aula da UFSC, Centro Araranguá, no bairro Jardim das Avenidas. Essa unidade é composta por três blocos e a sala selecionada está localizada no bloco A, no terceiro andar. As dimensões são de 7,05x7,05 m e o pé direito é de 2,9 m. A Figura 4 apresenta a simulação e a Figura 5 a planta da sala em estudo.



Figura 4 – Simulação da sala em estudo. Fonte: adaptado de Silva, Bilésimo e Scharlau (2016)

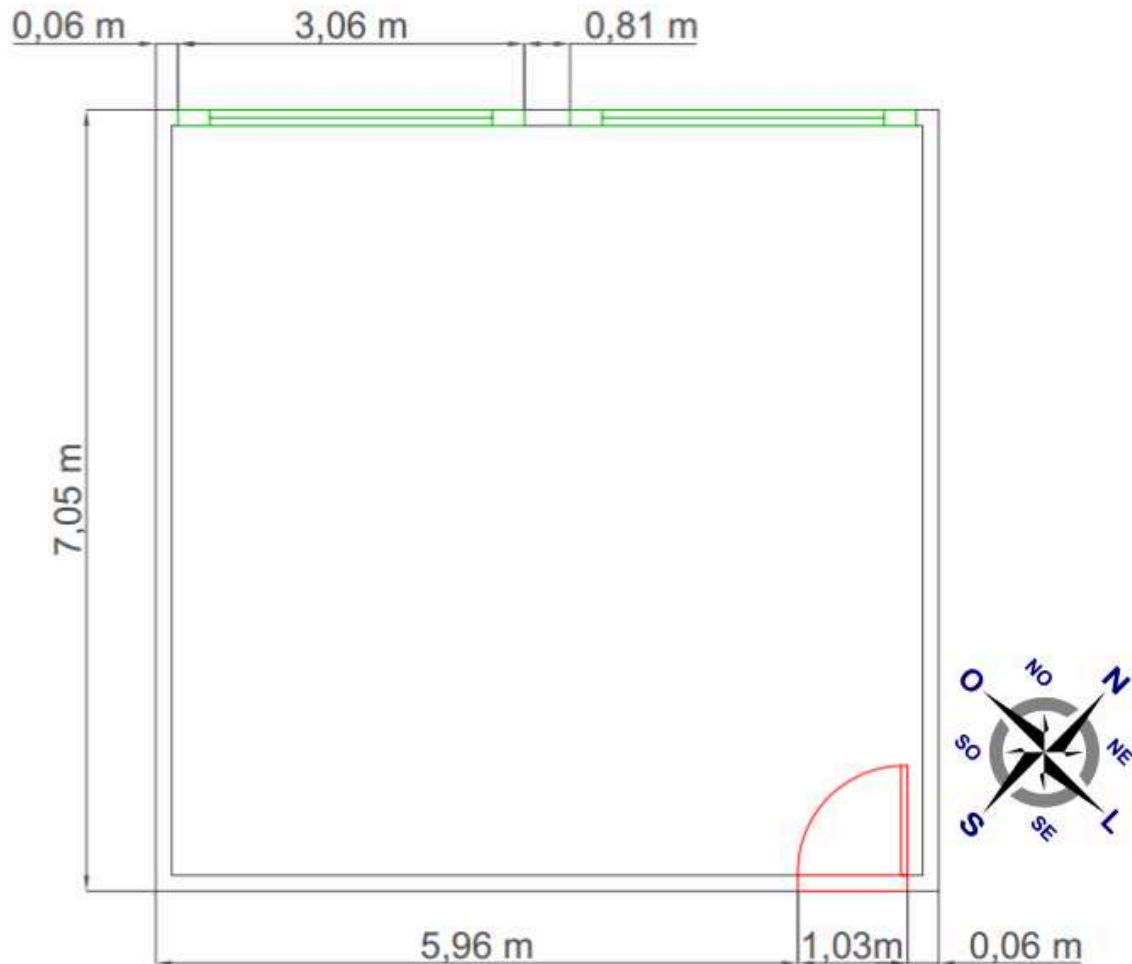


Figura 5 – Planta baixa da sala em estudo. Fonte: do autor

Uma das paredes é composta por aberturas orientadas na direção noroeste. Essas aberturas são compostas por vidro comum e não apresentam nenhuma proteção solar no período da realização deste estudo. As aberturas são constituídas por duas janelas com seis folhas cada uma, em que cada janela possui largura de 3,06 m e altura de 1,135 m.

Para a realização das simulações serão considerados os seguintes índices de reflexão: Para o teto de 70%, parede 70% e piso 22%. Esses valores foram sugeridos pelo *software* DIALux ao selecionar os materiais para a constituição da sala.

É necessário determinar também a altura do plano de trabalho que será considerada para o cálculo da iluminância. Essa altura é de 0,72 m, a qual é a altura das mesas dos estudantes.

As lâmpadas utilizadas atualmente são fluorescentes do tipo tubular diâmetro de 26 mm (T8), sendo o sistema formado por seis luminárias com duas lâmpadas cada uma. Essas luminárias não apresentam superfície refletora. O sistema é dividido em dois circuitos, que englobam as luminárias próximas e afastadas do quadro.

3.2 Validação da simulação pelo *software* DIALux

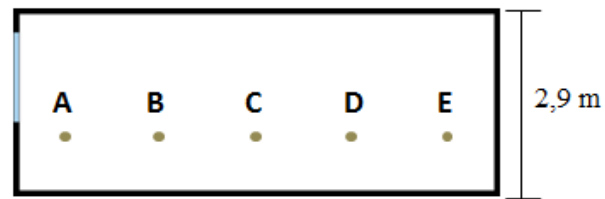
A validação da simulação da iluminação natural será feita com a utilização do aparelho luxímetro, o qual mede a iluminância no local onde posicionado seu sensor. A medição da iluminância na sala será realizada em diferentes pontos, na altura do plano de trabalho, em determinado horário durante um dia com o céu limpo. Após a coleta dos dados, esses serão comparados com os dados fornecidos pelo *software* no mesmo dia e horário.

Um procedimento semelhante foi realizado para a iluminação artificial por Bilésimo (2015), também utilizando o DIALux. Os resultados obtidos nessa referência indicaram uma boa conformidade entre os valores da simulação e coletados experimentalmente em salas de aula.

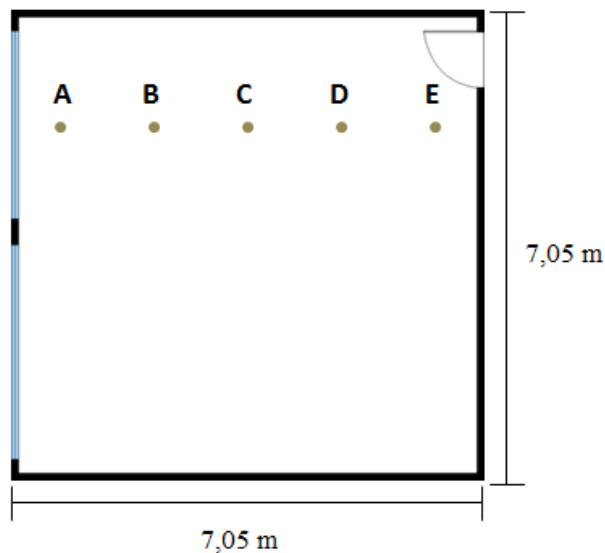
3.3 Avaliação da condição atual de iluminação na sala

A avaliação da condição atual de iluminação natural da sala de aula será feita a partir de simulações realizadas em dias críticos do ano de 2015. Esses dias são os solstícios de inverno e verão, 21 de junho e 22 de dezembro, respectivamente. Todas as simulações que incluam a iluminação natural serão realizadas considerando a condição de céu claro.

Para essa avaliação serão considerados cinco pontos na sala, que estão distanciados em 1,41 m entre si e posicionados no centro de uma das janelas, na altura do plano de trabalho, conforme a Figura 6. Uma metodologia semelhante foi utilizada em Maioli e Alvarez (2013).



(a) Vista frontal



(b) Vista superior

Figura 6 – Sala de aula, pontos de avaliação. Fonte: adaptado de Silva, Bilésimo e Scharlau (2016)

As simulações serão feitas no DIALux a cada duas horas e, a partir dos dados obtidos, serão identificados possíveis pontos de ofuscamento e áreas com menores níveis de iluminação. Para simulação do sistema de iluminação atual, será considerado o modelo luminária que consta na Tabela 2.

Tabela 2 – Luminária utilizada na simulação do sistema atual de iluminação artificial.

Tipo	Modelo	Potência (W)	Fluxo luminoso (lm)	Eficiência (lm/W)
T8	CCN14-S	67	5400	80,6

Fonte: adaptado de Bilésimo (2015)

De acordo com Bilésimo (2015), o sistema atual de iluminação artificial da sala não atende ao requisito da norma de 500 lx durante o período noturno. Ele proporciona uma média de iluminâncias de 400 lx e, para atingir o nível de iluminação necessário, seria preciso um total de 10 luminárias iguais às usadas atualmente. Visto que ocorrem aulas durante a noite, em que não há aproveitamento da luz natural, se mostrou importante o estudo com a utilização de lâmpadas mais eficientes, de forma a reduzir os custos com energia.

3.4 Sistema de iluminação artificial mais eficiente

Após a verificação da condição atual do sistema de iluminação, será examinada a utilização de lâmpadas do tipo Diodo Emissor de Luz (LED, do inglês *Light Emitting Diode*), as quais são mais eficientes e, portanto, reduzem o consumo de energia para atender a mesma condição de iluminação que as lâmpadas fluorescentes. As informações sobre as luminárias de LED consideradas para esse estudo estão presentes na Tabela 3.

Tabela 3 – Luminária de LED utilizadas nas simulações.

Tipo	Modelo	Potência (W)	Fluxo luminoso (lm)	Eficiência (lm/W)
LED	LCN12-S	36,5	4350	119

Fonte: adaptado de Bilésimo (2015)

Não é necessária a utilização de todo o sistema de iluminação artificial quando há a presença de luz natural. Dessa forma, será realizada a técnica de divisão dos circuitos de iluminação para poder desligar determinadas lâmpadas quando a iluminação natural for suficiente para atender o nível de iluminância necessário.

3.5 Simulação das proteções solares

Conhecendo o comportamento da luz natural na sala, será simulado o uso de proteções solares e realizar-se-á a verificação da que melhor se enquadra na sala em questão, no que diz respeito à redução do ofuscamento, uniformidade da distribuição de iluminâncias entre a parte mais próxima e a mais afastada das janelas e maior economia de energia.

3.5.1 Comportamento da luz natural com prateleiras de luz

A prateleira de luz que será considerada na simulação possui 3,06 m de largura, que é a dimensão de cada janela, espessura de 0,1 m e comprimento de 1 m, onde 0,2 m consistem na parte do dispositivo que ficará na parte interna da sala. Para definir o posicionamento, foi utilizada a Figura 2, a qual ilustra a variação do gradiente de luz de acordo com o posicionamento da prateleira. Ela possui uma curvatura na parte exterior para auxiliar no redirecionamento da luz, conforme a Figura 7. O fator de reflexão na superfície superior da prateleira foi considerado de 90% e nas demais superfícies de 30%, esses dados são baseados no estudo de Maioli e Alvarez (2013).

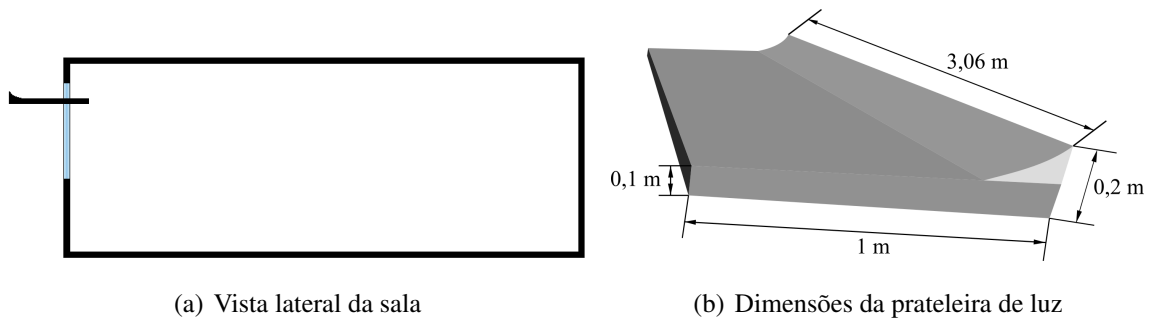


Figura 7 – Prateleira de luz utilizada na simulação. Fonte: adaptado de Silva, Bilésimo e Scharlau (2016)

3.5.2 Comportamento da luz natural com brise

Para a simulação do brise, será utilizado um dos modelos fornecidos pelo DIALux. O brise escolhido é o modelo AR 63 S da marca Hella. Ele está posicionado na superfície externa da janela e possui as mesmas dimensões da mesma. A Figura 8 apresenta o modelo de brise selecionado. Foi escolhido o brise horizontal devido à orientação das aberturas da sala, a qual é noroeste. Para essa orientação o brise horizontal apresenta melhores resultados que o vertical.

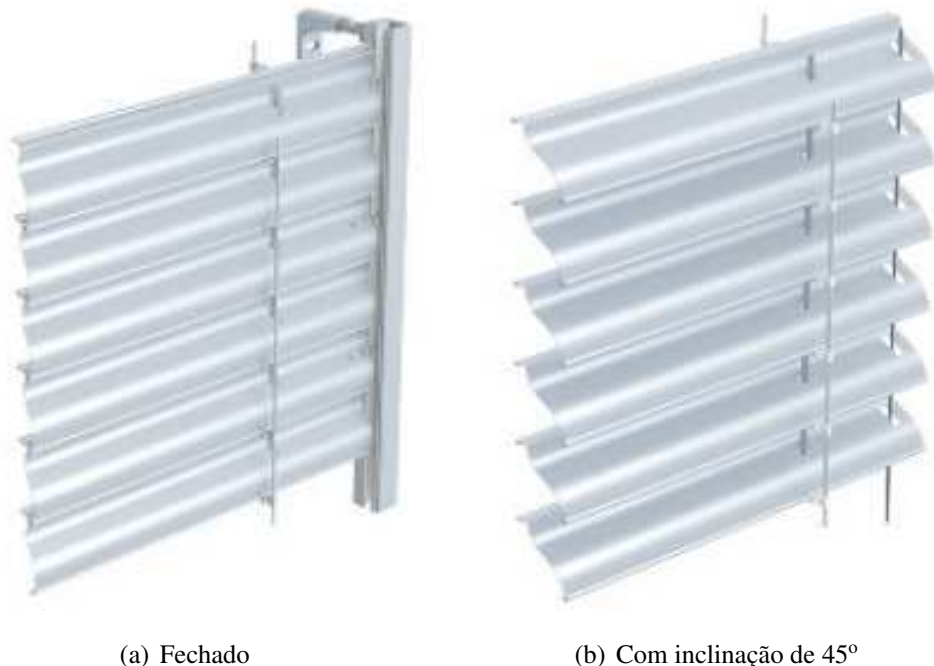


Figura 8 – Brise utilizada na simulação. Fonte: (DIAL GmbH, 2016)

No DIALux é possível fazer o ajuste da inclinação do brise de forma manual, determinando o ângulo desejado. Dessa forma, as simulações com o brise serão feitas examinando o ângulo ótimo a cada quinze minutos, para que a iluminância em todo o plano de trabalho não

ultrapasse o limite máximo de 2000 lx, de acordo com o UDI, prevenindo assim a ocorrência de desconforto visual e/ou térmico. Com base nas informações obtidas, será determinada a inclinação ótima em todos os horários durante o dia em cada estação do ano para o funcionamento de um brise automático. Além disso, será verificada a inclinação máxima necessária em cada estação para a proteção contra o ofuscamento, de forma a ser utilizado um brise manual.

3.6 Construção das curvas de carga do sistema de iluminação

O aproveitamento da luz natural acarretará em economia de energia, uma vez que o sistema composto por luminárias de LED apresenta divisão de circuitos e determinadas lâmpadas poderão ser desligadas em alguns períodos do dia. Para quantificar essa economia, serão realizadas simulações no DIALux a cada quinze minutos, para um dia de cada mês do ano.

As simulações serão repetidas considerando-se cada uma das proteções solares apresentadas. A partir dos resultados, é possível identificar em que horário e quais circuitos poderão ser desligados. Com base nas informações mensais obtidas, serão agrupados os meses representantes de cada estação do ano para a construção das curvas de carga ilustrando o comportamento do sistema em cada uma delas durante o dia. É possível também calcular o percentual de economia de energia do sistema de iluminação artificial que cada proteção solar pode gerar durante o dia, quando comparado com os dois circuitos ligados das luminárias de LED.

3.7 Viabilidade econômica do sistema

A partir do consumo de energia identificado das luminárias de LED em conjunto com cada proteção solar, é possível fazer um estudo econômico das propostas apresentadas e verificar qual apresenta melhor desempenho financeiro. De modo a alcançar esse objetivo, será quantificada a economia de energia com cada proposta em comparação com um cenário base. A primeira alternativa é composta pelas luminárias de LED e as prateleiras de luz, a segunda é constituída de luminárias de LED e o brise móvel automatizado e a última proposta contém as luminárias de LED e o brise móvel manual. O cenário base para fazer a comparação com os demais será constituído pelas lâmpadas utilizadas atualmente (T8) com uma quantidade que atenda ao requisito da norma de iluminação (10 luminárias), sem o aproveitamento da luz solar.

Considerando que a sala é utilizada 14 horas por dia, é possível calcular a economia de energia em um ano acadêmico (período em que são desenvolvidas as atividades acadêmicas), sendo este composto por 200 dias. A partir do valor em reais obtido para o primeiro ano é possível fazer projeções deste para os anos seguintes. Na análise será considerada a evolução

média geométrica da tarifa média de energia, entre os períodos de 1995 a 2014, a qual foi de 9,6% ao ano (NAKABAYASHI, 2014).

Para realizar a análise econômica das propostas apresentadas, serão calculados indicadores que identificam a viabilidade das sugestões, como, o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e também o *payback*.

O VPL consiste na diferença entre os benefícios ocasionados pelo projeto e os custos para a sua realização. No cálculo do VPL, os valores do fluxo de caixa do projeto são trazidos para o tempo presente, descontados de uma taxa de juros. A Equação (3.1) traz a expressão utilizada para o cálculo do VPL (NAKABAYASHI, 2014).

$$VPL = -I_o + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+r)^t} \quad (3.1)$$

onde I_o representa o investimento inicial em reais, t é o tempo em questão, FC_t é o fluxo de caixa do projeto no tempo t , r é a taxa de desconto e n é o período de análise do fluxo de caixa. Se o cálculo do VPL gerar um valor positivo, as receitas do projeto superam os custos para a sua implantação, representando viabilidade para o mesmo (NAKABAYASHI, 2014).

A taxa de desconto considerada foi a taxa de juros do Sistema Especial de Liquidação e de Custódia (SELIC), fixada pelo Comitê de Política Monetária (COPOM). Essa taxa é definida como a taxa média ajustada dos financiamentos diários apurados no SELIC para títulos federais (NAKABAYASHI, 2014). O valor da taxa SELIC no período da realização deste trabalho é de 12,15% ao ano.

A TIR é a taxa que, se utilizada como taxa de desconto no cálculo do VPL, levaria seu valor para zero. A relação da TIR com o VPL é demonstrada pela Equação (3.2) (NAKABAYASHI, 2014).

$$VPL = -I_o + \frac{FC_1}{(1+TIR)^1} + \frac{FC_2}{(1+TIR)^2} + \frac{FC_3}{(1+TIR)^3} + \dots + \frac{FC_n}{(1+TIR)^n} = 0 \quad (3.2)$$

Para verificar a viabilidade do projeto é feita uma comparação entre a TIR e a Taxa Mínima de Atratividade (TMA), que para este trabalho é representada pela taxa SELIC (12,15% a.a.). Se a TIR for maior que a TMA, o valor do VPL é maior que do zero, portanto, o projeto será viável. Se os valores das taxas forem iguais, o VPL e, também, o ganho do projeto apresenta valor nulo e se a TIR for inferior a TMA, o VPL calculado será menor que zero e o projeto não apresentará viabilidade (NAKABAYASHI, 2014).

O último índice utilizado para avaliar a viabilidade econômica das propostas apresentadas é o *payback*, ou tempo de retorno sobre o investimento, o qual representa o período de

tempo necessário para que o fluxo de caixa acumulado se torne positivo. Com relação aos outros índices, o *payback* apresenta a limitação de não levar em conta a taxa de desconto, o que significa que o valor do dinheiro no tempo não é considerado (NAKABAYASHI, 2014).

O investimento inicial do projeto consistirá na compra de luminárias de LED e na compra das proteções solares. Não estão incluídos os custos relacionados à instalação e a adequação da sala.

Para a realização da estimativa do investimento inicial, foi considerado para o brise móvel automatizado o modelo Aeroscreen Plano da empresa Hunter Douglas. Para o sistema de acionamento será utilizado o atuador linear elétrico Euro 1 da marca Mingardi, o qual é distribuído no Brasil pela empresa Somfy e, para seu controle, serão consideradas as informações de sensores de luminosidade. Para o brise móvel manual, foi considerado o modelo Brise Metálico Retrátil Asa de Avião da empresa Refax. As informações técnicas desses equipamentos, estão dispostas no Anexo A. A síntese dos custos está apresentada na Tabela 4.

Tabela 4 – Investimento inicial.

Item	Preço unitário	Quantidade	Preço total
Luminária LCN12-S	R\$ 414,17	8	R\$ 3313,36
Prateleira de Luz	R\$ 550,00	2	R\$ 1100,00
Brise automatizado	402,45 R\$/m ²	8,05 m ²	R\$ 3239,72
Sistema de acionamento	//	//	R\$ 1855,68
Brise manual	157,30 R\$/m ²	8,05 m ²	R\$ 1266,26

Fonte: do autor

O período de análise da viabilidade econômica das propostas será de 16 anos. Esse valor foi calculado a partir da vida útil das lâmpadas de LED, a qual é de 50000 horas, segundo o fabricante, a Lumicenter.

A UFSC – Centro Araranguá é atendida pela distribuidora Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A. (Celesc), na modalidade tarifária A4 Verde. O custo da energia para essa modalidade, atualmente, é de 1,04231 R\$/kWh no horário de ponta e 0,30126 R\$/kWh fora de ponta, sendo esses valores sem tributos. Sobre esses valores, foram inseridos o PIS/PASEP (0,92%), o COFINS (4,26%) e ICMS (25%).

A análise da diminuição da demanda da edificação não foi realizada devido a este trabalho estudar o sistema de iluminação de apenas uma sala, o que não gera uma influência considerável. Entretanto, ao avaliar todas as salas de aula seria necessário verificar a possível diminuição na demanda contratada.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta sessão serão apresentados os resultados obtidos com as propostas desenvolvidas na sessão anterior e realizada a discussão dos mesmos.

4.1 Condição atual de iluminação natural e artificial

Antes de realizar as simulações dos cenários propostos, foi feita a validação do *software* DIALux com relação a iluminação natural. Isso foi possível através da comparação dos dados obtidos na simulação para o dia 15 de abril às 15h com os medidos pelo aparelho luxímetro. A Tabela 5 apresenta os valores obtidos na medição e na simulação nos pontos de avaliação.

Tabela 5 – Iluminância para os pontos de avaliação na medição e na simulação.

Ponto	Iluminância (lx)		
	Medida	Simulada	Variação
A	24400	22964	5,89%
B	1230	1057	14,07%
C	535	573	7,10%
D	368	342	7,07%
E	292	271	7,19%

Fonte: do autor

Conforme os resultados, com exceção do ponto B, a diferença entre os valores medidos e simulados foi menor do que 10%. Sendo assim, foi observado que os valores obtidos foram bastante próximos, validando assim a simulação da luz do sol pelo DIALux.

Ao realizar a simulação da condição de iluminação natural na sala sem proteções solares e em dias críticos do ano, foi possível verificar que, em alguns horários do dia, a média de iluminação atinge 500 lx, que seria o valor suficiente de iluminância para não ser necessário acrescentar a luz artificial. Entretanto, foi verificado que a iluminação natural é distribuída na sala de forma desigual, sendo que, em alguns pontos, verificou-se iluminâncias excessivas e, em outros, insuficiente. Esse comportamento pode ser constatado nos dados das Tabelas 6 e 7, as quais apresentam o valor das iluminâncias nos pontos de avaliação, em alguns horários do dia, para o solstício de inverno (21 de junho) e de verão (22 de dezembro).

Tabela 6 – Iluminância simulada para os pontos de avaliação durante o dia 22 de dezembro, sem proteção solar.

Ponto	Iluminância (lx)					
	8h	10h	12h	14h	16h	18h
A	394	634	912	1673	2506	5685
B	282	374	415	706	1173	1139
C	181	232	238	388	645	654
D	127	162	161	257	418	412
E	110	138	137	213	338	332
Média	191	268	313	855	1882	1224

Fonte: do autor

Tabela 7 – Iluminância simulada para os pontos de avaliação durante o dia 21 de junho, sem proteção solar.

Ponto	Iluminância (lx)					
	8h	10h	12h	14h	16h	18h
A	245	1052	16645	2237	1029	0
B	151	542	1145	23387	1271	0
C	93	294	684	1183	5732	0
D	64	213	445	776	5519	0
E	54	197	370	600	699	0
Média	114	464	2279	4135	2385	0

Fonte: do autor

Com essas simulações, foi possível observar que nos pontos próximos as janelas os valores de iluminância são mais altos e, em alguns casos, maiores que 2000 lx, condição que pode ocasionar desconforto térmico e visual. O contrário é observado nos pontos mais afastados das janelas, onde os valores de iluminância são muitas vezes insuficientes para manter uma condição de iluminação confortável sem o auxílio de luz artificial. Pela análise das Tabelas 6 e 7, fica evidente que os horários mais críticos estão entre as 16h e 18h no solstício de verão e entre as 12h e 16h no solstício de inverno. A Figura 9 apresenta a distribuição de iluminâncias na sala para o horário das 16h nos solstícios.

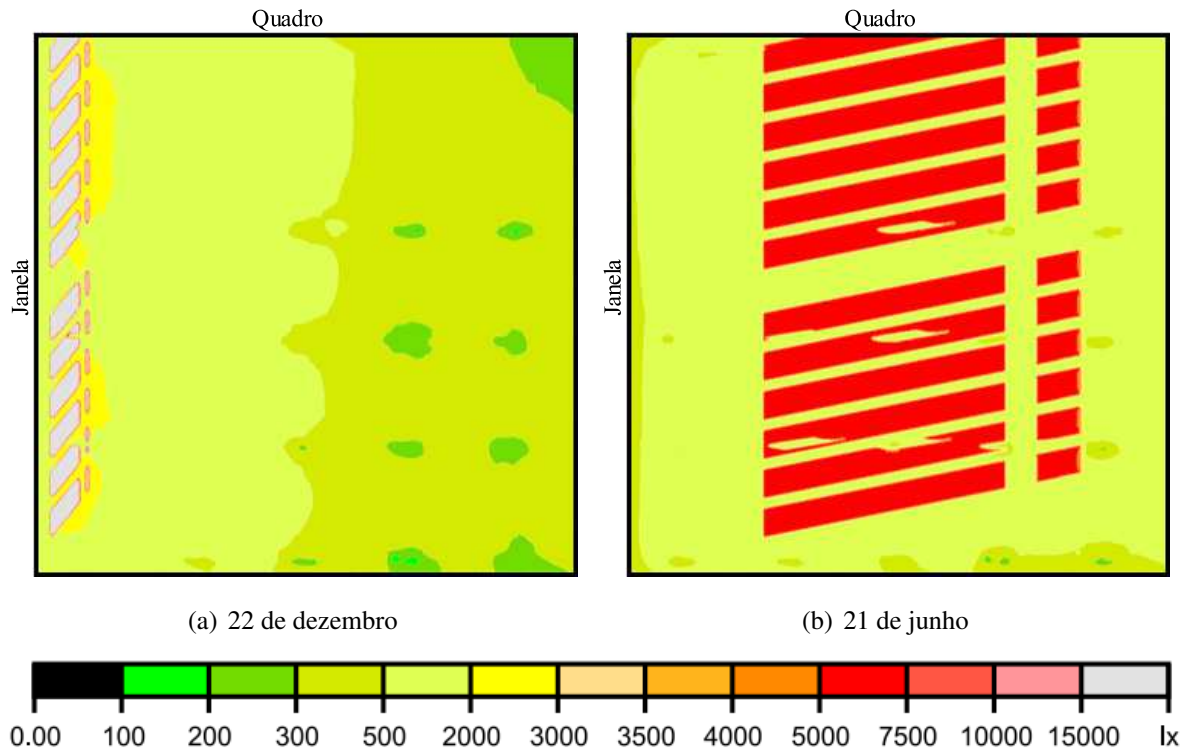


Figura 9 – Distribuição de iluminâncias na sala para as 16h, sem proteção solar. Fonte: do autor

4.2 Sistema de iluminação artificial com lâmpadas de LED

Para atender o requisito da norma de 500 lx, foram necessárias oito luminárias de LED na sala, as quais foram divididas em dois circuitos, conforme ilustrado na Figura 10. É possível perceber que, devido a melhor eficiência dessa luminária, foi preciso uma menor potência para atingir a iluminância adequada na sala, quando comparada com a alternativa utilizando luminárias fluorescentes.

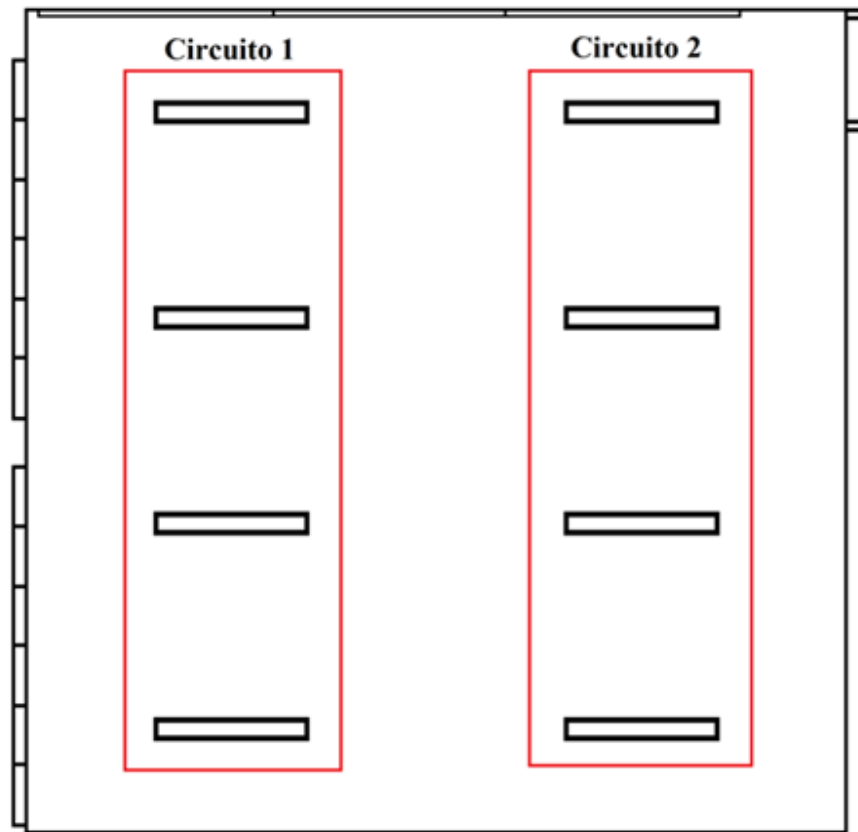


Figura 10 – Disposição das luminárias de LED na sala estudada. Fonte: do autor

Ao simular o sistema de iluminação artificial com lâmpadas de LED, foi obtida a distribuição de iluminâncias apresentada na Figura 11. Pode-se observar que a iluminação no plano de trabalho está de acordo com o requisito da norma, apresentando uma média de 531 lx.

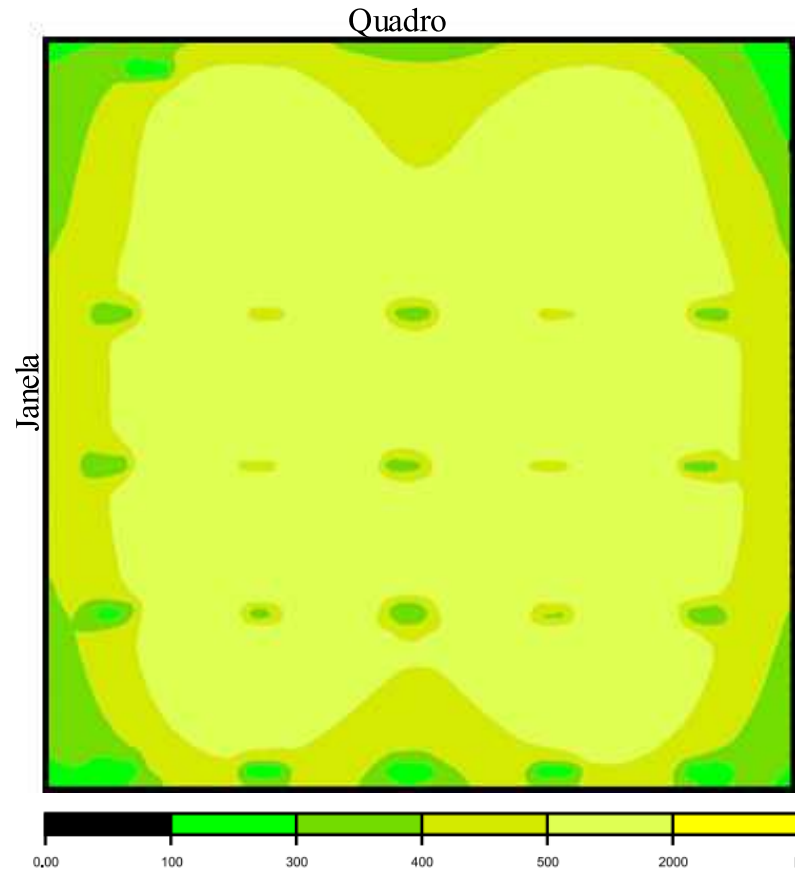


Figura 11 – Distribuição de iluminâncias na sala para o sistema de iluminação artificial com lâmpadas de LED. Fonte: do autor

Com esse sistema de oito luminárias divididas em dois circuitos, há a possibilidade de desligar o circuito mais próximo da janela quando a iluminação natural nesse local for suficiente, necessitando de complementação artificial apenas nos pontos mais afastados. Pode-se ainda desligar os dois circuitos caso a iluminação do sol atenda o requisito da norma em toda a sala de forma uniforme.

A Figura 12 apresenta a distribuição de iluminâncias na sala com aproveitamento da iluminação natural e complementação pelo sistema artificial com apenas um circuito ligado. Essa simulação foi realizada para o dia 21 de janeiro de 2015, no horário das 13 horas e 15 minutos com a sala sem proteção solar e proporcionou uma iluminância média de 668 lx.

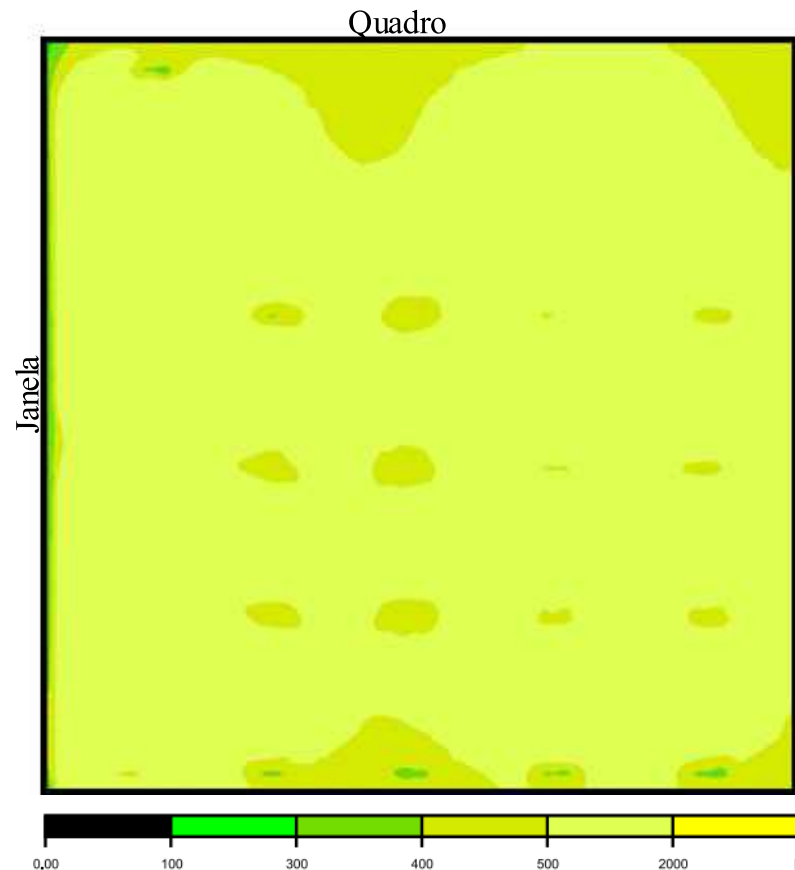


Figura 12 – Distribuição de iluminâncias na sala com luz natural e complementação artificial. Fonte: do autor

O controle da iluminação artificial poderá ser feito durante o dia, quando há disponibilidade da luz do sol. Há aulas no período noturno na universidade, portanto, após as 19h é necessário que todos os circuitos se mantenham ligados.

4.3 Simulação das proteções solares

De forma a verificar o desempenho das proteções solares, foram realizadas simulações da sala, para iluminação natural, nos dias críticos do ano e feita a comparação com o resultado das simulações realizadas na sala sem proteção solar. A Figura 13 apresenta a distribuição de iluminâncias na sala em estudo para as 16h para o solstício de inverno e verão, com a utilização de prateleira de luz.

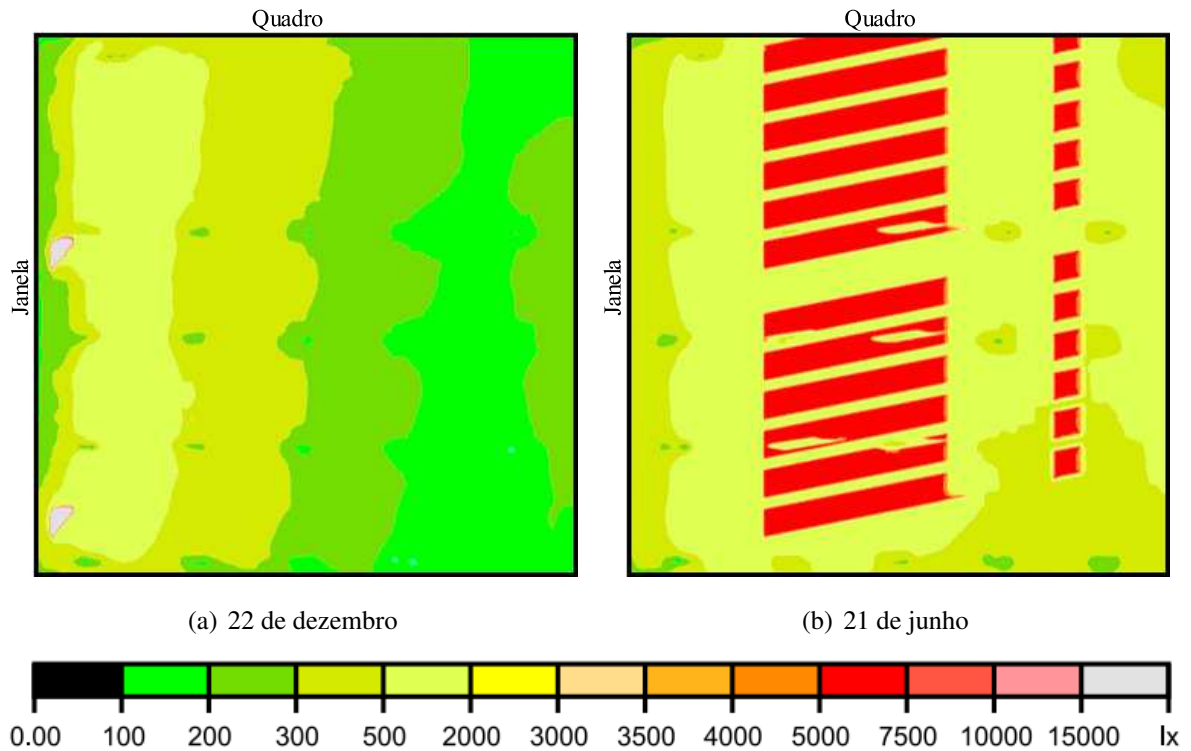


Figura 13 – Distribuição de iluminâncias na sala para as 16h, com prateleira de luz. Fonte: do autor

De acordo com o resultado das simulações, no solstício de verão a prateleira de luz apresentou um melhor resultado quando comparado com o solstício de inverno, no que diz respeito ao controle do ofuscamento na sala. No dia 21 de junho o efeito dela é quase imperceptível. Isso decorre do fato de que, no inverno, a posição do sol com relação às aberturas é mais inclinada, ao contrário do verão. Isso demonstra a importância de se ter um dispositivo de controle da luz natural em que se possa alternar a inclinação, o que não é o caso da prateleira de luz.

Com a implantação das prateleiras de luz, a média de iluminâncias mudou para 432 lx no dia 22 de dezembro e 1808 lx no dia 21 de junho. Foi possível verificar uma redução no valor médio das iluminâncias na sala, principalmente no dia 22 de dezembro. Porém, nesse dia, há uma melhor uniformidade, impedindo, assim, o ofuscamento, o qual ocorre apenas em alguns lugares.

A simulação do brise permite controlar a sua inclinação. Dessa forma, ele apresenta melhores resultados com relação ao controle do ofuscamento na sala. A Figura 14 apresenta a distribuição de iluminâncias da sala para os solstícios de verão e inverno com a implantação do brise. Foi verificado, para o dia 21 de junho no horário das 16h, a necessidade de uma inclinação de 15° para que a iluminância ficasse dentro dos níveis adequados. Simulando o dia 22 de dezembro com o mesmo ângulo de 15° , obteve-se o resultado apresentado na Figura 14(a). Diminuindo a inclinação para 0° , o resultado gerado no dia 22 de dezembro foi o da Figura 14(b). Houve uma melhora significativa na distribuição de iluminâncias da sala com o

ângulo de 0° , o que indica que o brise móvel proporciona melhores condições de iluminação na sala comparado com o fixo.

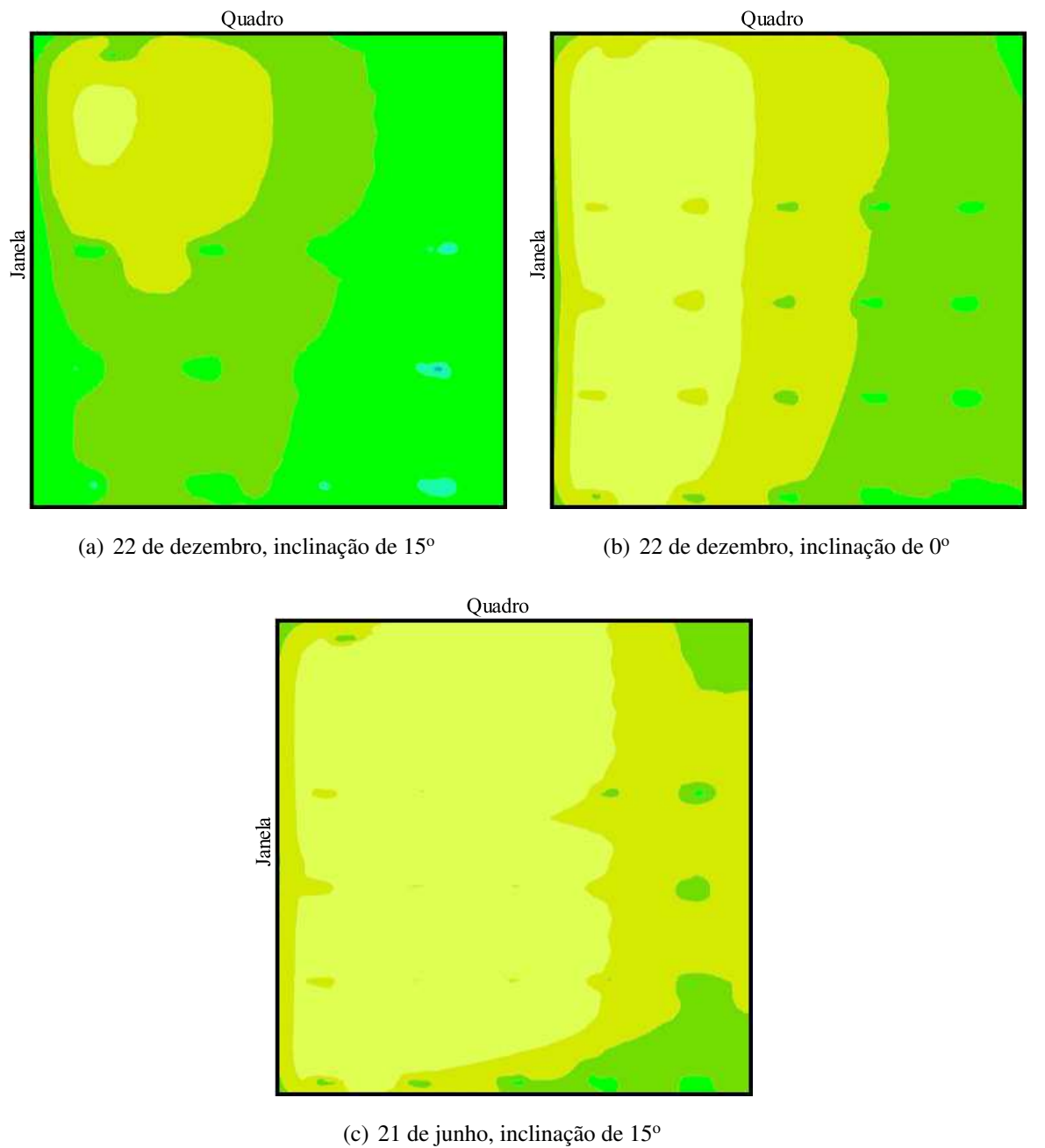
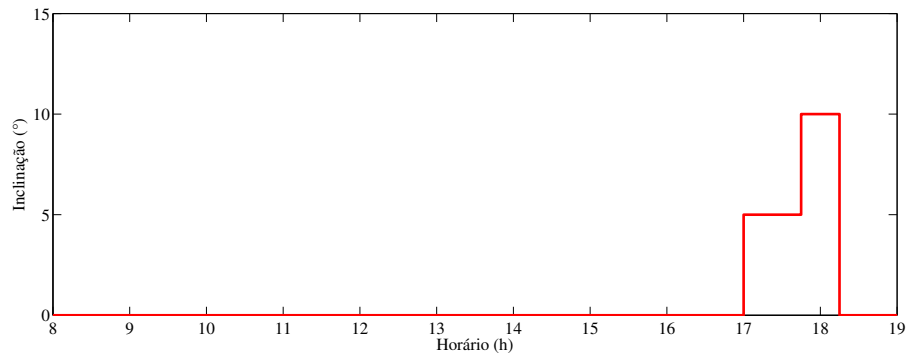


Figura 14 – Distribuição de iluminâncias na sala para as 16h, com brise. Fonte: do autor

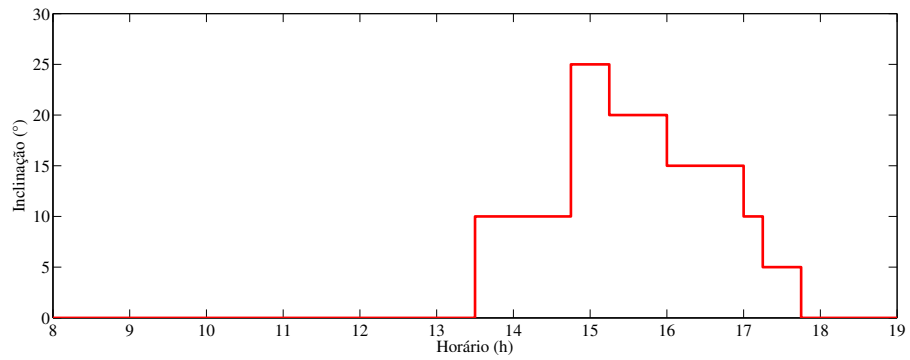
A média de iluminâncias simulada foi de 199 lx para o dia 22 de dezembro com o brise inclinado em 15° , para o mesmo dia, com inclinação de 0° , a média foi de 418 lx e no dia 21 de junho, com inclinação do brise em 15° , a iluminância média foi de 692 lx.

O brise apresentou um melhor desempenho quanto ao controle do ofuscamento e, também, com relação à uniformidade quando comparado com a prateleira de luz. Pela possibilidade de alterar o ângulo, é possível determinar a inclinação ideal para que a iluminância na sala não ultrapasse o limite de 2000 lx. É possível identificar, também, que a iluminância decai a partir de uma distância maior das aberturas, ao contrário da prateleira de luz, que quando atua prevenindo o ofuscamento, causa o decaimento do nível de iluminação nos pontos mais próximos às janelas.

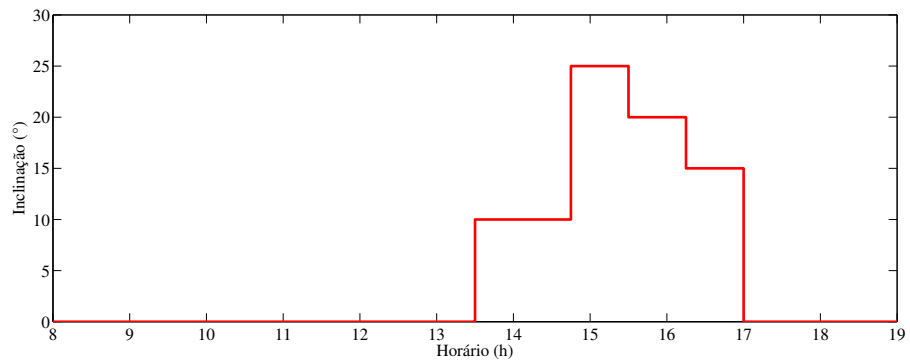
Ao simular a iluminação natural na sala, foi possível obter o ângulo adequado para o brise a cada 15 minutos em cada mês do ano. Com os resultados foram construídos gráficos demonstrando o comportamento da melhor inclinação por horário em cada estação do ano, os quais são apresentados na Figura 15. O ângulo de 0° representa o brise inclinado de forma horizontal. O ângulo pode ser alterado até 90° , o qual indica que o brise está posicionado de forma vertical, ou seja fechado.



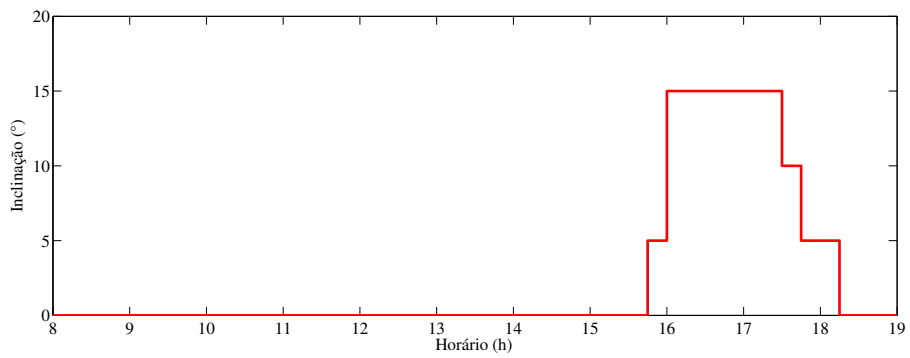
(a) Verão



(b) Outono



(c) Inverno



(d) Primavera

Figura 15 – Inclinação ótima do brise. Fonte: do autor

A partir da identificação desse comportamento é possível verificar que o controle da iluminação natural é necessário principalmente no período da tarde, quando as aberturas são iluminadas diretamente. As estações outono e inverno são as que necessitam de um ângulo maior do brise. Isso porque a trajetória do sol neste local é mais inclinada nesse período, fazendo com que os raios solares atinjam a abertura com um menor ângulo.

4.4 Curvas de carga

Nesta seção serão apresentadas as curvas de carga do sistema de iluminação composto por lâmpadas de LED para cada uma das proteções solares apresentadas. Assim é possível verificar o percentual de economia de energia que cada uma pode proporcionar.

Após a realização das simulações foi verificado que, para o cenário de lâmpadas de LED, o circuito mais próximo à janela pode ser desligado em determinados períodos do dia, durante o ano. Para cada estação do ano, foi obtido um padrão de acionamento das lâmpadas em cada horário para os seguintes cenários: sem proteção solar na sala, com prateleira de luz, utilizando o brise móvel automatizado e o manual.

Para o desenvolvimento dessa análise, é considerado como brise automatizado o que há alteração na inclinação de forma automática durante o dia para que a iluminância não ultrapasse 2000 lx no plano de trabalho. Já o brise manual é o que se mantém com um ângulo fixo durante todo o dia. Esse ângulo só será alterado em cada estação do ano, de forma manual.

O cenário sem proteção solar na sala proporcionou as curvas de carga do sistema de iluminação ilustradas da Figura 16. É possível verificar a economia de energia gerada na sala, comparando esse consumo com a energia utilizada se todos os circuitos fossem mantidos ligados durante o dia.

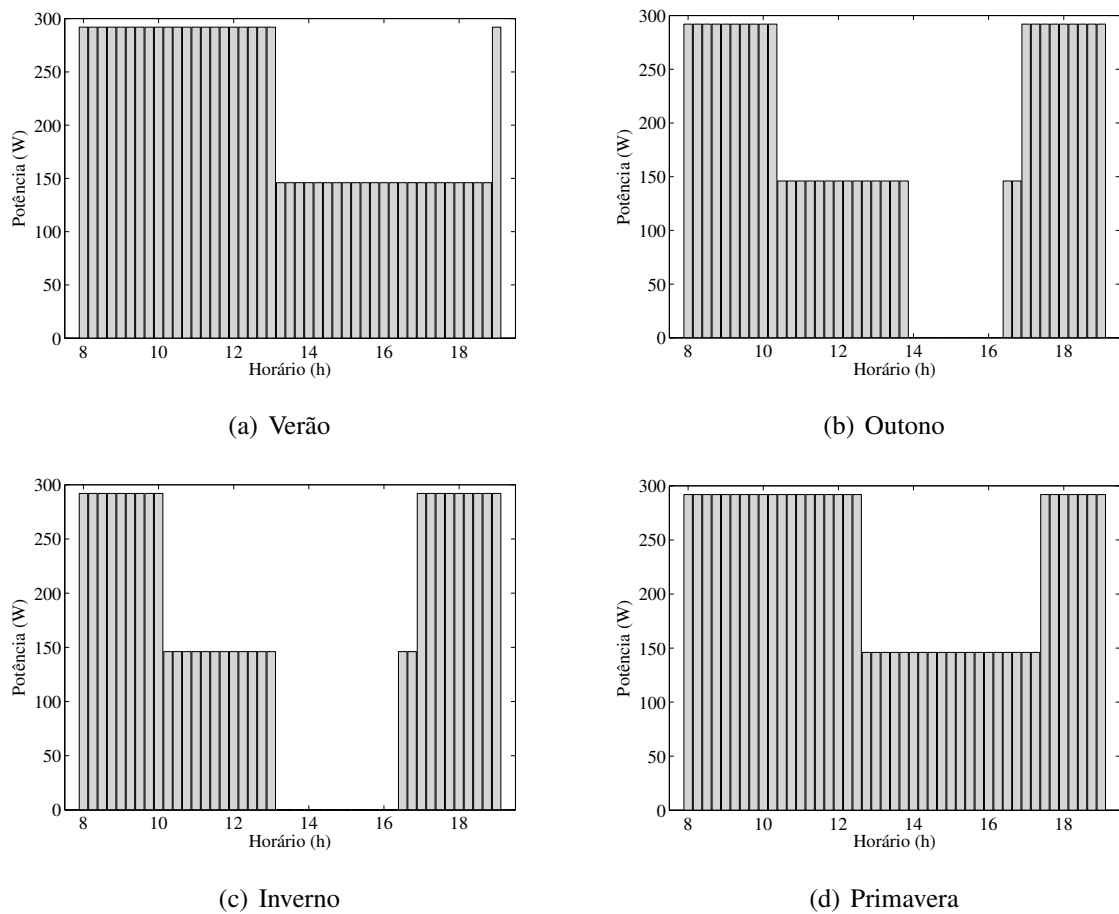


Figura 16 – Curva de carga de iluminação artificial sem a utilização de nenhuma proteção solar. Fonte: do autor

Obteve-se uma economia de energia de 45,45% no inverno, 40,91% no outono, 26,14% no verão e 21,59% na primavera. Verificou-se que no inverno há um melhor aproveitamento da luz natural, devido a trajetória mais inclinada do sol nesta estação no local de estudo. Apesar deste cenário apresentar um grande aproveitamento da iluminação natural, não há proteção contra o ofuscamento na sala. Com a utilização da prateleira de luz, foram construídas as curvas de carga apresentadas na Figura 17.

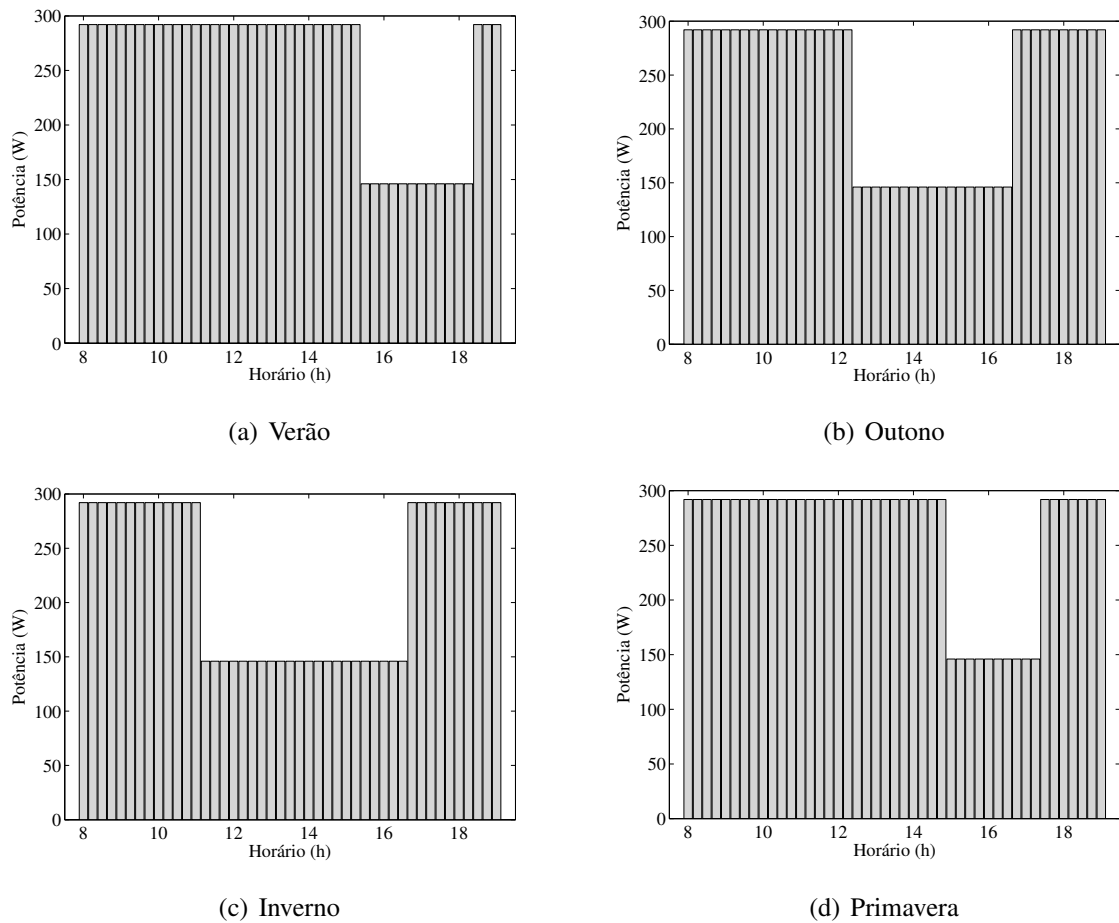


Figura 17 – Curva de carga de iluminação artificial com a utilização de prateleira de luz. Fonte: do autor

De acordo com as curvas de carga construídas, no inverno a economia de energia ao aproveitar a iluminação natural é maior, chegando a até 25,00%, em seguida vem o outono, gerando uma economia de 19,32%, depois vem o verão com 13,64% e a primavera, onde a energia economizada chega a até 11,36%.

Com a implantação do brise automatizado, com ajuste do ângulo de inclinação para a iluminância não ultrapassar o limite de 2000 lx no plano de trabalho, foram construídas as curvas de carga apresentadas na Figura 18.

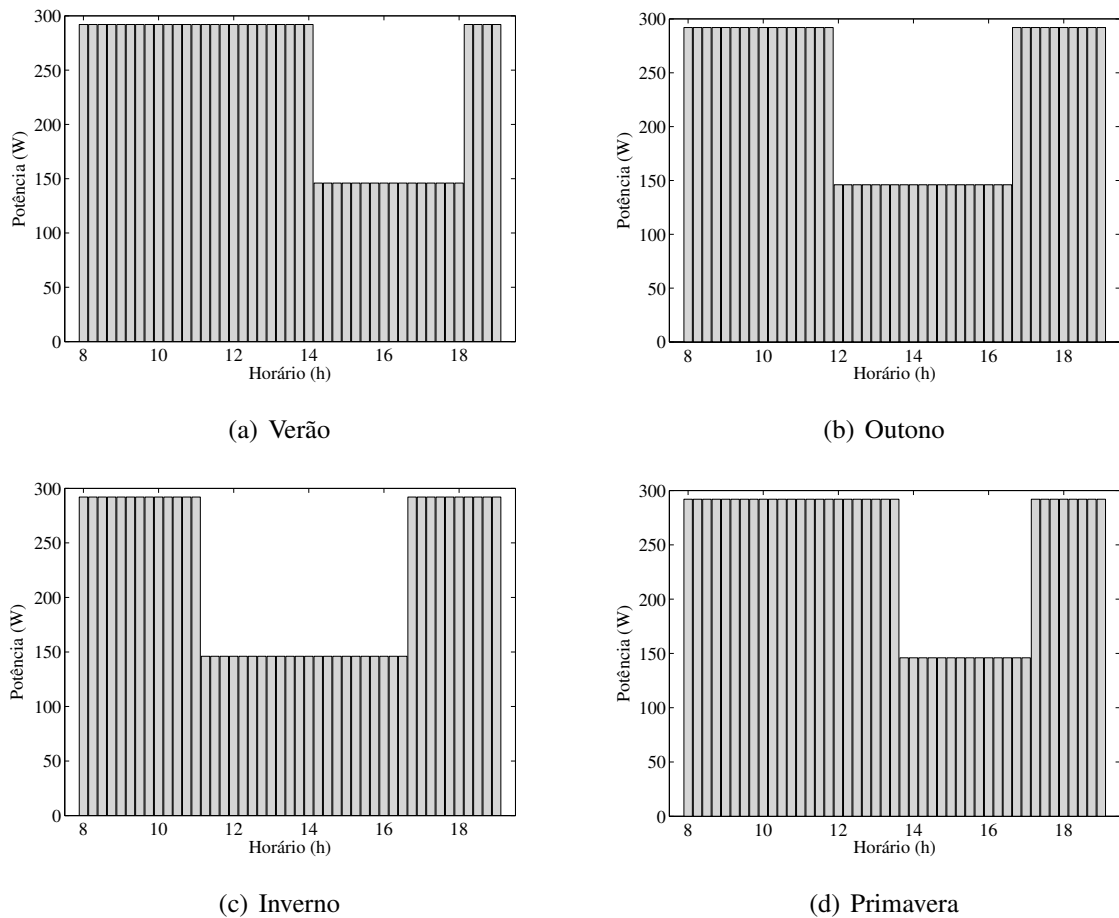


Figura 18 – Curva de carga de iluminação artificial com a utilização de brise automatizado. Fonte: do autor

Conforme as curvas de carga, com a utilização de brise automatizado, a economia gerada é de 25,00% no inverno, 21,59% no outono, 18,18% no verão e 15,91% na primavera. O brise automatizado apresentou maior economia de energia quando comparado com a prateleira de luz no outono, verão e primavera. Já no inverno a economia de energia foi a mesma.

Foi calculada, também, a economia gerada ao deixar um ângulo fixo para o brise em cada estação do ano. Para determinar o ângulo, foi verificado o maior valor necessário para manter a iluminância inferior ao limite de 2000 lx em cada estação. Os valores obtidos para os ângulos foram de 10° no verão, 25° no outono, 25° no inverno e 15° na primavera. A curva de carga para esse cenário está apresentada na Figura 19.

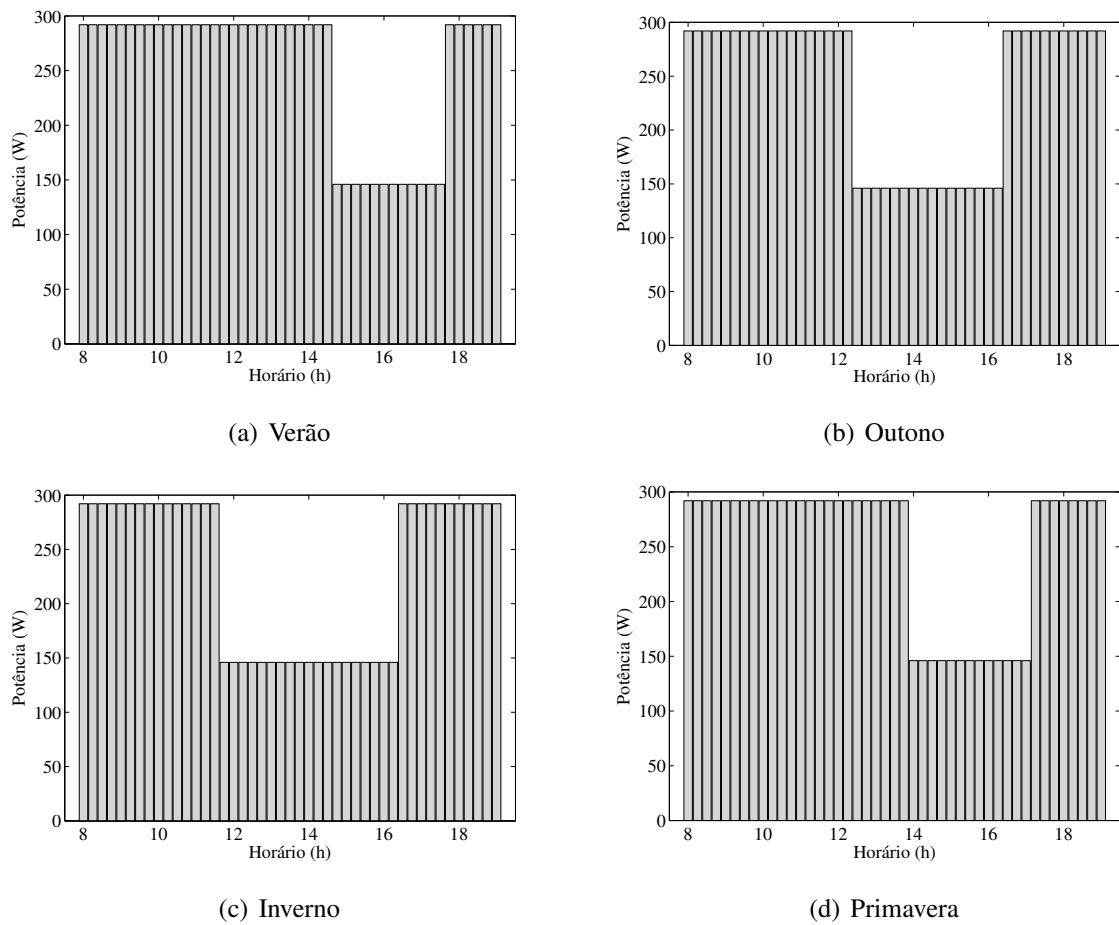


Figura 19 – Curva de carga de iluminação artificial com a utilização de brise manual. Fonte: do autor

Foi obtida uma economia de 21,59% no inverno, 18,18% no outono, 13,64% no verão e 14,77% na primavera. É possível verificar que ao deixar um ângulo fixo em cada estação, há diminuição no aproveitamento da iluminação natural ao ser realizada a comparação com o brise móvel durante o dia.

A Tabela 8 apresenta o resumo dos resultados de economia de energia gerada durante o dia para cada um dos cenários.

Tabela 8 – Economia de energia obtida para cada cenário.

Cenário	Economia de energia			
	Verão	Outono	Inverno	Primavera
Sem proteção solar	26,14%	40,90%	45,45%	21,59%
Prateleira de luz	13,64%	19,32%	25,00%	11,36%
Brise móvel automatizado	18,18%	21,59%	25,00%	15,91%
Brise móvel manual	13,64%	18,18%	21,59%	14,77%

Fonte: do autor

Não foi realizado um cenário utilizando o brise fixo para todo o ano porque há o interesse de avaliar o conforto visual na sala com o máximo aproveitamento da luz natural possível. Se for colocado o maior ângulo necessário no brise para proteção contra o ofuscamento durante todo o ano, em algumas estações a iluminação natural não será disponibilizada na sala o quanto poderia.

4.5 Viabilidade econômica

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos com o estudo da viabilidade econômica do projeto.

Após a obtenção do comportamento do sistema de iluminação artificial nos cenários propostos, foi possível calcular a economia de energia obtida em um ano acadêmico e, dessa forma, verificar a viabilidade econômica das sugestões por meio dos índices apresentados.

A economia de energia no primeiro ano com a utilização da prateleira de luz e das lâmpadas de LED foi de 1267,28 kWh. Ao construir o fluxo de caixa, foi obtida a Figura 20, onde o eixo horizontal representa o período viável do sistema (16 anos) e o eixo vertical representando o fluxo de caixa.

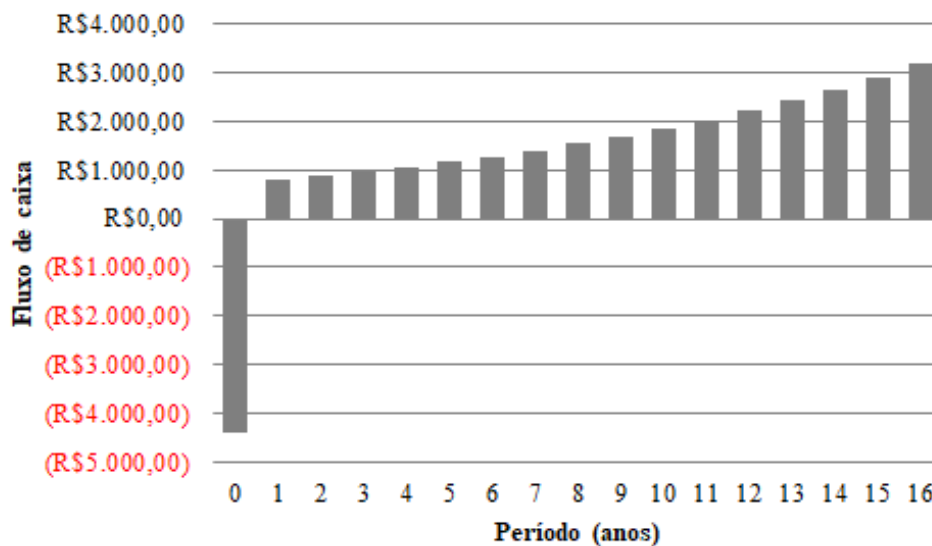


Figura 20 – Fluxo de caixa com a utilização da prateleira de luz. Fonte: do autor

A partir do fluxo de caixa, foi possível calcular os índices de viabilidade econômica. O VPL apresentou o valor de R\$ 5.338,76, o qual é acima de zero, indicando que este cenário é viável. Outro índice que se mostrou favorável foi a TIR, calculada em 25,91%a.a., esse valor é maior do que a TMA considerada (12,15%a.a.). O último índice calculado foi o *payback*, o qual apresentou um resultado de 4,59 anos, período adequado, visto que é menor que a vida

útil do sistema.

Também foi construído o fluxo de caixa com a utilização do brise automatizado e das lâmpadas de LED, onde a economia de energia no ano inicial foi de 1284,73 kWh. A Figura 21 apresenta o resultado obtido.

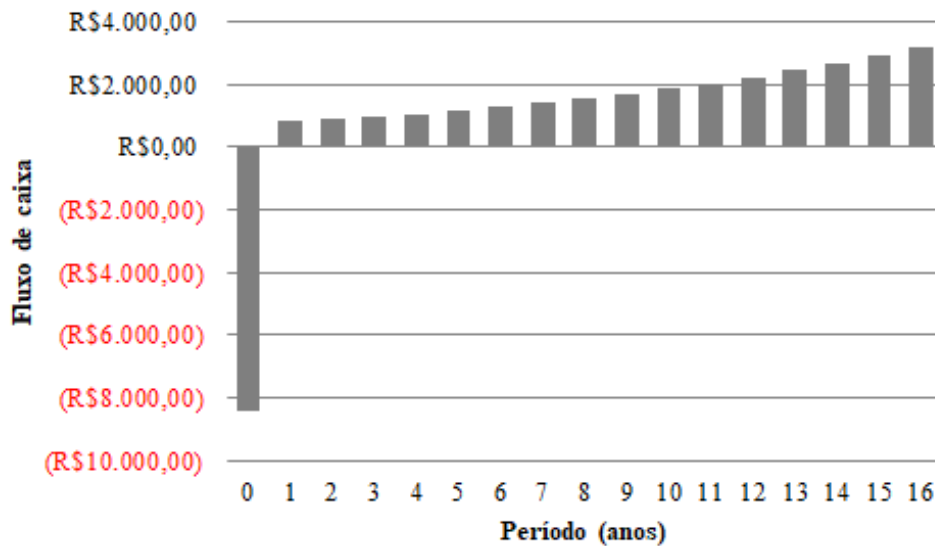


Figura 21 – Fluxo de caixa com a utilização do brise automatizado. Fonte: do autor

Com essa proteção solar, foi obtido VPL de R\$1.434,27, resultando também em viabilidade, já que o valor é acima de zero. A TIR calculada foi de 14,44%a.a., a qual é maior que a TMA e o *payback* calculado foi de 7,50 anos, um período menor que o tempo de viabilidade do sistema.

A Figura 22 apresenta o resultado do fluxo de caixa com a utilização do brise manual com as lâmpadas de LED, em que a economia de energia no primeiro ano foi de 1266,48 kWh.

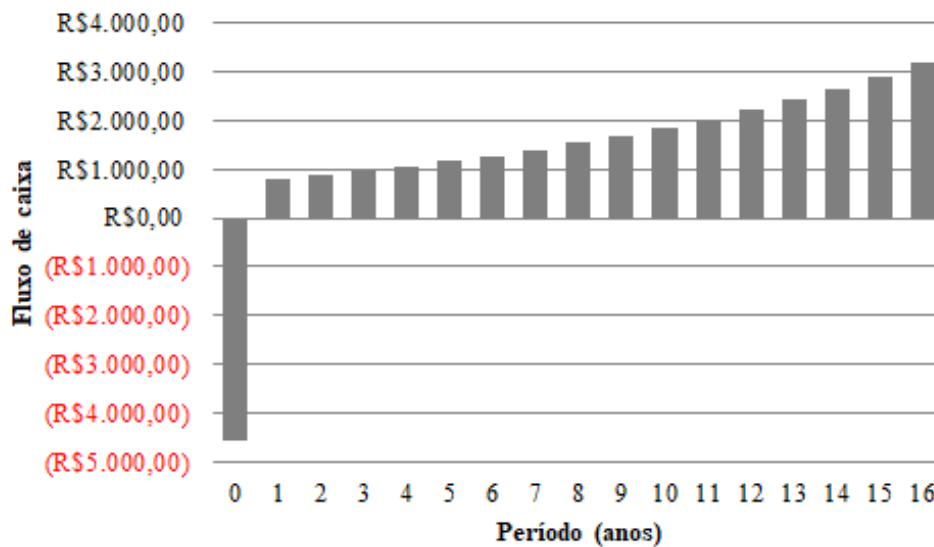


Figura 22 – Fluxo de caixa com a utilização do brise manual. Fonte: do autor

Com o brise manual, foi calculado o VPL de R\$ 5.168,39, indicando viabilidade. A TIR obtida foi de 25,11%, valor acima da TMA, favorável a este cenário. O *payback* conseguido foi de 4,73 anos, período de tempo inferior a vida útil do sistema.

Ao comparar os resultados apresentados para os três cenários, foi observado que o brise automatizado apresentou a pior viabilidade. Isso ocorre devido ao investimento inicial para essa proteção solar ser o mais elevado. O brise manual, entretanto, tem um custo inicial inferior e, dessa forma, apresentou melhores resultados que o anterior. A prateleira de luz se mostrou a mais viável economicamente, com uma pequena diferença do brise manual.

Ao relacionar os resultados da viabilidade econômica com os obtidos no estudo do conforto visual, foi concluído que o brise manual apresenta as melhores condições na sala de aula em questão. Isso ocorre devido ao fato de ele não permitir iluminâncias acima de 2000 lx e, mesmo com a maior utilização da iluminação artificial do que o brise automatizado, os resultados econômicos foram satisfatórios. Já a prateleira de luz, que apresenta os melhores resultados econômicos, não mostrou-se eficaz contra a proteção do ofuscamento na sala durante todo o ano.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou uma análise do sistema de iluminação de umas das salas de aula da UFSC, Centro Araranguá. Foram realizadas propostas para a eficiência desse sistema, como a troca das luminárias por outras mais eficientes e a verificação do aproveitamento da

iluminação natural em conjunto com proteções solares para a obtenção do conforto visual. As simulações para as análises foram realizadas com auxílio do *software* DIALux. Em seguida foi analisado o consumo de energia do sistema de iluminação e identificada qual alternativa de proteção solar obteve melhor desempenho na sala com relação ao controle de ofuscamento e disponibilidade de luz natural.

De forma a eliminar a deficiência encontrada no sistema artificial de iluminação, foi sugerido alterar as luminárias fluorescentes utilizadas atualmente por luminárias de LED. Tendo como base a simulação no *software* DIALux, os resultados mostraram que as luminárias de LED apresentaram melhor desempenho no que diz respeito a economia de energia, porque com a utilização destas, é necessária uma menor potência para atender o mesmo requisito de iluminação.

Foi estudado, também, o aproveitamento da luz solar na sala. Para se obter um bom resultado com a utilização da iluminação natural, foi necessário verificar o desempenho de proteções solares nas aberturas, de modo a evitar o ofuscamento, o qual afeta o desenvolvimento das atividades dos estudantes.

Foram analisados três cenários, um com a implantação da prateleira de luz, o segundo com a utilização do brise com alteração do ângulo de forma automatizada e um terceiro cenário constituído pelo brise com alteração do ângulo de forma manual, em que a mudança do ângulo seria feita apenas em cada estação do ano.

Entre essas sugestões, a que apresentou maior economia de energia, foi a com a utilização do brise automatizado. Entretanto, esse cenário apresentou um investimento inicial elevado, gerando o pior resultado no estudo da viabilidade econômica. A prateleira de luz proporcionou os melhores resultados quanto ao estudo econômico, porém não foi eficaz na proteção contra o ofuscamento durante todo o ano. A utilização do brise manual preveniu a ocorrência do ofuscamento e os seus resultados econômicos foram semelhantes aos da prateleira de luz. Portanto, conclui-se que essa proteção solar é a que ofereceu melhor desempenho na sala estudada. É importante enfatizar que a análise depende da localização da sala. No entanto, a metodologia proposta nesse trabalho pode ser replicada para as demais salas da unidade Jardim das Avenidas da UFSC, Centro Araranguá.

A partir da realização desse trabalho, espera-se que as sugestões possam ser aplicadas na sala de aula, de forma a melhorar a condição visual para o desempenho das atividades da universidade.

ANALYSIS AND EFFICIENT INTEGRATION OF NATURAL AND ARTIFICIAL LIGHTING IN A CLASSROOM

ABSTRACT

It has been a growing concern regarding the energy efficiency of buildings, in which artificial lighting systems represent a considerable amount of electric energy consumption. Therefore, it is important to carry on studies about this topic, which could help to develop more efficient devices and strategies for natural light use. The objective of this work is to evaluate alternatives for lighting efficiency considering a case of study a classroom of the Federal University of Santa Catarina - Araranguá Center. In order to assess the most efficient lamps and also to verify the use of natural lighting associated with solar protections, simulations are carried out using DIALux software. The solar protections help to keep the uniformity of light and control the glare. Two examples are evaluated in this work: light shelf and brise soleil. Finally, the scenario that better performs for the case study in terms of visual comfort and economic viability are pointed out. It is expected that this work could help to develop energy efficiency alternatives that can be applied in the university.

Keywords: Lighting. Brise. Light shelf. Efficiency.

REFERÊNCIAS

- ADAM, R. S. **Princípios do Ecoedifício: Interação Entre Ecologia, Consciência e Edifício.** São Paulo: Aquariana, 2001. 157 p.
- ALVES, F. L. P. L. **Medidas de eficiência energética na iluminação integrando luz natural.** 2008. 89 p. Dissertação (Mestrado) — Curso de Engenharia Eletrotécnica, Universidade do Porto, Porto, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/CIE 8995-1: Iluminação de ambientes de trabalho.** Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- BILÉSIMO, T. L. **Análise e efficientização do consumo de energia em um campus universitário.** 2015. 29 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) — Curso de Engenharia de Energia, Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2015.
- BITTENCOURT, L. **Uso das cartas solares: diretrizes para arquitetos.** Maceió: EDUFAL, 2004. 109 p.
- BOGO, A. J. **Método para avaliação da admissão de luz natural através de aberturas com elementos de controle solar.** 2007. 308 p. Tese (Doutorado) — Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

CAYE, A. **Eficientização de projetos luminotécnicos em ambientes de escola pública**. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) — Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

CHRISTAKOU, E. D. **A simulação computacional da luz natural aplicada ao projeto de arquitetura**. 2004. 147 p. Dissertação (Mestrado) — Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

DIAL GmbH. **DIALux evo**. Versão 6.1. Lüdenscheid, 2016.

DIDONÉ, E. L. **A influência da luz natural na avaliação da eficiência energética de edifícios contemporâneos de escritórios em Florianópolis/SC**. 2009. 179 p. Dissertação (Mestrado) — Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

DORIGO, A. L.; SUGA, M.; KRÜGER, E. L. Avaliação do desempenho luminoso de edificações escolares conforme sua orientação solar. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11., 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ENTAC, 2006. p. 304–313.

FURUYAMA, C. M. S. **Avaliação dos indicadores de iluminação artificial**: Estudo de caso: Edifícios comerciais e escola. 2013. 200 p. Dissertação (Mestrado) — Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

HUNTERDOUGLAS. **Aeroscreen Plano**. São Paulo, 2015.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. Rio de Janeiro: Eletrobras/Procel, 2014. 366 p.

LOPES, A. C. S. **Avaliação de Duas Propostas de Sistema de Iluminação Artificial Suplementar ao Sistema de Iluminação Natural Existente em Sala de Aula Padrão**. 2006. 163 p. Dissertação (Mestrado) — Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

MACÊDO, C. C. **Análise do Desempenho Térmico e Luminoso de Sistemas de Iluminação Natural que Utilizam a Luz Direta do Sol**. 2002. 160 p. Dissertação (Mestrado) — Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

MAIOLI, R. N.; ALVAREZ, C. E. Análise da utilização de prateleiras de luz em Vitória-ES (Brasil). **Hábitat Sustentable**, Concepción, v. 3, n. 1, p. 37–46, jun. 2013.

MAMEDE FILHO, J. **Instalações Elétricas Industriais**. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

MARAGNO, G. V. **Eficiência e forma do brise-soleil na arquitetura de Campo Grande - MS**. 2000. 219 p. Dissertação (Mestrado) — Curso de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

MARTINS, T. L. O. G. **Dispositivos de proteção solar e eficiência energética em edifícios de escritório: uma avaliação para a cidade de Maceió/AL**. 2007. 166 p. Dissertação (Mestrado) — Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2007.

- MEDEIROS, R. C. B. **Avaliação do desempenho luminoso de protetores solares verticais na iluminação natural em ambiente de internação hospitalar**. 2015. 136 p. Dissertação (Mestrado) — Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2015.
- MINGARDI. **Atuador linear elétrico Euro 1**. Bologna, 2017.
- MORAES, L. N. **Estudo comparativo de sistemas de iluminação artificial com diferentes luminárias considerando a disponibilidade de luz natural**. 2012. 197 p. Dissertação (Mestrado) — Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.
- NABIL, A.; MARDALJEVIC, J. Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors. **Energy And Buildings**, Leicester, v. 38, n. 7, p. 905–913, jul. 2006.
- NAKABAYASHI, R. K. **Microgeração Fotovoltaica no Brasil: Condições Atuais e Perspectivas Futuras**. 2014. 107 p. Dissertação (Mestrado) — Curso de Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.
- NISSOLA, L. J.; PEREIRA, F. O. R. Metodologia para verificação de ocorrência de ofuscamento por luz natural em ambientes de trabalho com terminais de vídeo. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11., 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ENTAC, 2006. p. 671–680.
- REFAX. **Brise Metálico Retrátil Asa de Avião**. Bragança Paulista, 2017.
- ROSIM, C. A. **Comportamento de prateleira de luz em modelo físico sob céu real na cidade de campinas, SP**. 2008. 176 p. Dissertação (Mestrado) — Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.
- SALATA, F. et al. An analysis of measured and simulated daylight illuminance and lighting savings in a daylit corridor. **Applied Energy**, Amsterdã, p. 250–266, fev. 2016.
- SANTOS, L. S. **Requisitos de iluminação natural nos sistemas de avaliação de edifícios e impactos energéticos em edificações comerciais no Brasil**. 2012. 120 p. Dissertação (Mestrado) — Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2012.
- SCHVARTZ, M. **Efeito da dimensão da área para iluminação zenital sobre o desempenho térmico e lumínico de galpão para armazenamento**. 2004. 84 p. Dissertação (Mestrado) — Curso de Tecnologia de Construção de Edifícios, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2004.
- SILVA, N. R.; BILÉSIMO, T. L.; SCHARLAU, C. C. Análise e eficientização do sistema de iluminação em uma sala de aula. In: Simpósio de Integração Científica e Tecnológica do Sul Catarinense, 5., 2016, Araranguá. **Anais...** Araranguá: SICT-Sul, 2016. p. 607–612.
- SOUZA, M. B. **Potencialidade de aproveitamento da luz natural através da utilização de sistemas automáticos de controle para economia de energia elétrica**. 2003. 234 p. Tese (Doutorado) — Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

SOUZA, R. V. G. **Iluminação natural em edificações: Cálculo de iluminâncias internas - desenvolvimento de ferramenta simplificada.** 1997. 176 p. Dissertação (Mestrado) — Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela oportunidade de realizar o curso de Engenharia de Energia.

Aos meus familiares, principalmente ao meus pais Valter e Raquel e minha irmã Watuzi, que sempre me apoiaram e renunciaram tanto para que eu estivesse aqui.

Às minhas amigas, em especial Carol, Adrieny, Bruna, Tâmilis e Julia, que me ajudaram e sobretudo me aguentaram durante este período.

À Associação Júnior de Engenharia de Energia – ENEjr, por emprestar o aparelho luxímetro para as medições.

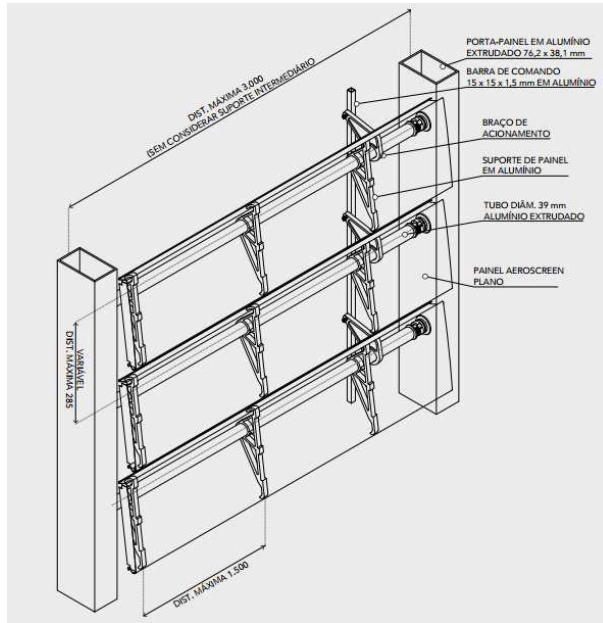
Ao professor e orientador César Cataldo Scharlau, pela disposição e o imenso auxílio no desenvolvimento desse trabalho.

À Universidade Federal de Santa Catarina pelo acesso ao material necessário.

ANEXO A - INFORMAÇÕES TÉCNICAS DOS BRISES SELECIONADOS

O Brise Aeroscreen possui um sistema que permite que a sua utilização seja feita de forma fixa, com ângulo pré-definido conforme necessidades de proteção solar, ou pode ser instalado como um sistema móvel. Quando usado na posição horizontal precisa ser motorizado, já para aplicações na posição vertical pode ser manual ou motorizado (HunterDouglas, 2015).

A Figura 23 apresenta o sistema móvel do brise e atuador linear elétrico Euro 1 e a Figura 24 apresenta os componentes constituintes do brise. Todas as medidas estão em mm.



(a) Sistema móvel do brise Aeroscreen Plano



(b) Atuador utilizado para acionamento

Figura 23 – Brise automatizado. Fonte: adaptado de HunterDouglas (2015) e Mingardi (2017)

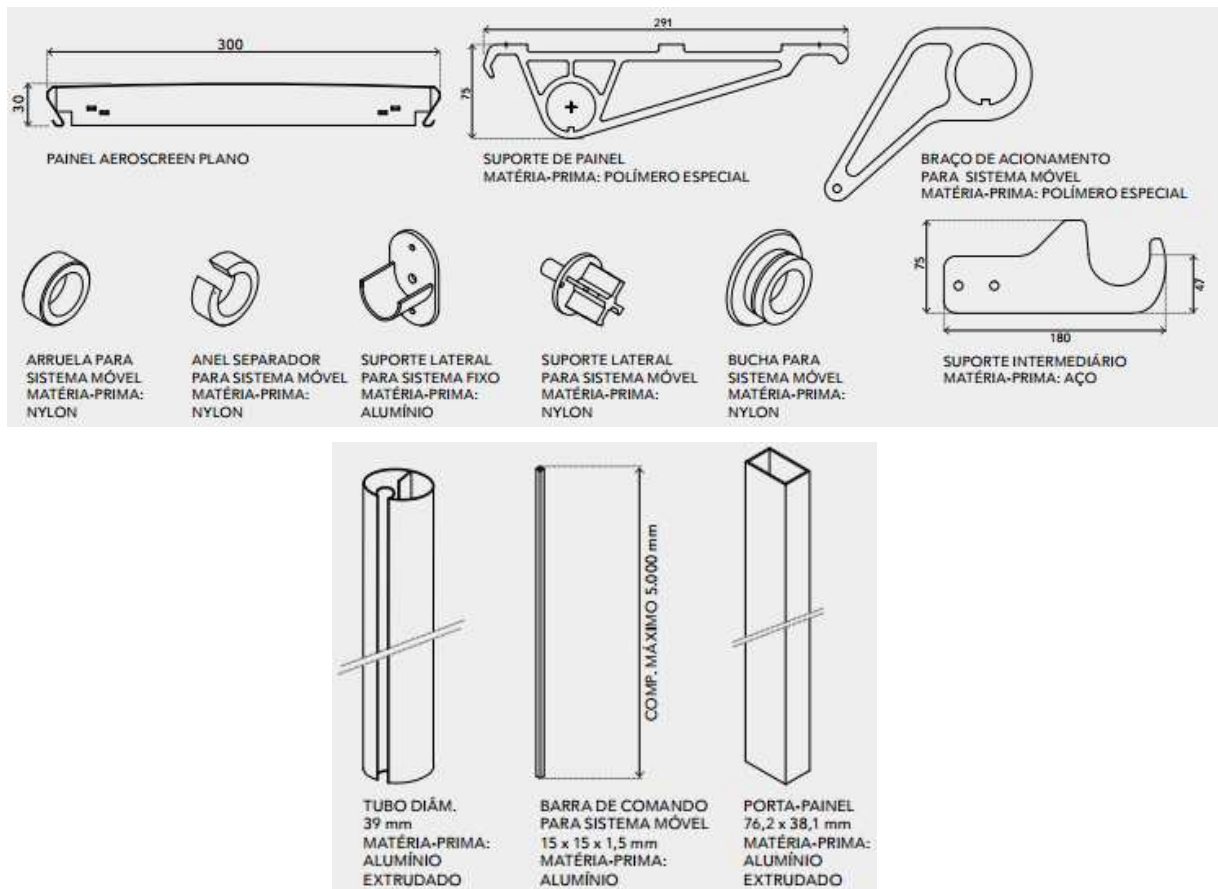


Figura 24 – Componentes do sistema móvel do brise Aeroscreen Plano. Fonte: adaptado de HunterDouglas (2015)

O Brise Metálico Retrátil Asa de Avião da empresa Refax é composto por painéis tipo Asa de Avião que podem ser instalados de forma vertical ou horizontal. A Figura 25 apresenta uma imagem do brise e a forma de montagem horizontal do mesmo (Refax, 2017).

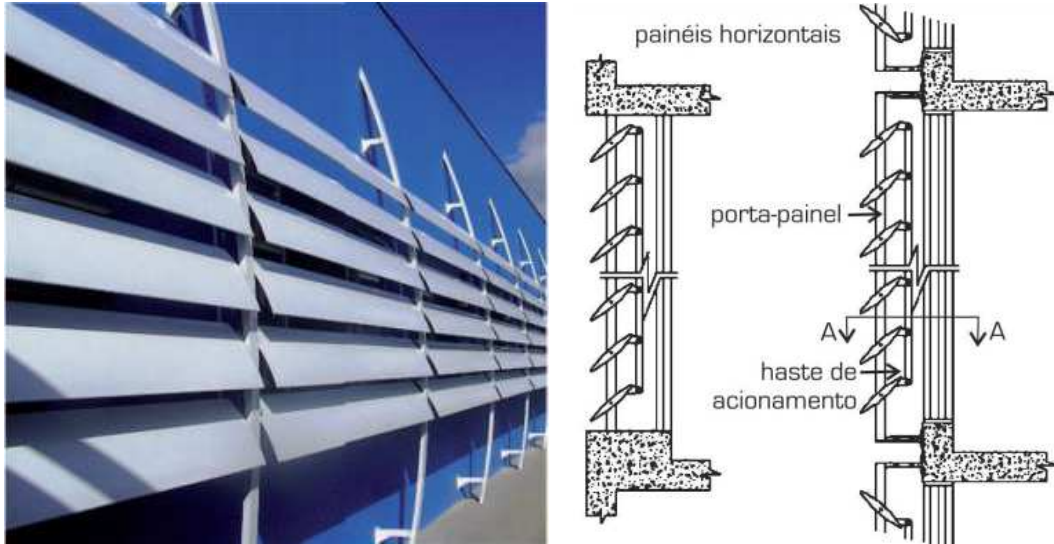


Figura 25 – Brise Metálico Retrátil Asa de Avião. Fonte: adaptado de Refax (2017)