

# AVALIAÇÃO DO IMPACTO NO DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES CLIMATIZADAS COM O USO DE SOMBREAMENTO INTERNO.

**Javier Díaz Valdivia**

[dv.javier@gmail.com](mailto:dv.javier@gmail.com)

**Resumo:** O trabalho em questão tem como objetivo analisar o impacto proporcionado pela utilização de sombreamento nas fachadas de um edifício comercial, tal sombreamento é uma cortina interna, que é acionada quando a radiação solar que atinge a superfície externa do vidro ultrapassar um valor pré-estabelecido. Primeiramente foi analisado como diferentes valores para acionar a cortina afetam o consumo do sistema de climatização, depois foi analisado, para os mesmos parâmetros utilizados anteriormente, como se podia dimerizar a iluminação artificial do edifício através da entrada de luz natural. Com estas análises se obteve o ponto ótimo de acionamento das cortinas, proporcionando assim a melhor redução no consumo energético do edifício. Por último se observou o comportamento do consumo do edifício para diferentes cidades do país.

**Palavra-Chave:** Eficiência energética, sombreamento, dimerização da iluminação.

## 1. Introdução

O consumo energético de edifícios vem sendo alvo de inúmeros estudos, que visam reduzir a energia gasta por estes, essas construções com melhor aproveitamento da energia ficaram conhecido como "edifícios verdes", pois apresentam um menor impacto ambiental. Como o custo da energia elétrica é responsável por uma parcela considerável dos gastos dos edifícios, é importante a sua redução.

Um dos principais motivos do gasto energético é proveniente do consumo do sistema de climatização, que tem que suprimir a carga térmica do edifício, por isso busca-se sempre reduzir as cargas térmicas, que em parte são produzidas no interior do edifício e em parte transferidas do meio externo para dentro do edifício.

Existem inúmeras formas de reduzir a carga térmica de um edifício, neste trabalho se procurará reduzi-la por meio da redução do ganho de calor, proveniente da área envidraçada do edifício. Fazendo uso de sombreamentos se reduzirá a radiação solar que entra pelas janelas, tanto a radiação direta como a difusa, diminuindo o ganho de calor proporcionado pelas janelas, conforme estudado por Enshem, Jinhua(2005).

## 2. Detalhamento do caso base

O caso base é o modelo da edificação com valores a serem definidos, que servirá de comparação para as demais simulações, este modelo tem como base o projeto de uma construção de um prédio na cidade de São Paulo, que utilizará os parâmetros das normas da ASHRAE STANDARD 90.1-2004 e da ABNT NBR 16401.

Para os parâmetros do caso base da edificação serão assumidos os valores de ocupação descritos na tabela 1 e 2.

Tabela 1. Parâmetros internos da edificação.

Ocupação	
Pessoas	9,3 m <sup>2</sup> /pessoa
Equipamentos	16,2 W/m <sup>2</sup>
Iluminação	12 W/m <sup>2</sup>

Tabela 2. Parâmetros do sistema de climatização.

Sistema de climatização	
Tipo do sistema	Split
COP	4,15
Temperatura interna	24°C

A parte opaca da estrutura que está em constante troca de calor com o meio externo é composta de três camadas, sendo a camada externa de granito, no meio há uma placa de concreto, e do lado interno da parede o revestimento é feito de gesso. A área envidraçada do andar é constituída de um vidro único com 0,28 de fator solar, 5,7 de coeficiente de troca de calor e 10 mm de espessura que representa 45% da área externa.

A geometria estudada terá uma zona térmica próxima às fachadas, na qual se estudará a influência da iluminação natural que penetra no ambiente pela área envidraçada. Esta zona térmica possui dois sensores que calcularão a quantidade de lux à altura de uma mesa de trabalho (0,9 metros).

Para definir qual será o tamanho da zona térmica próxima às fachadas foi analisada a distribuição da luminância dentro do edifício, conforme estudado por Aghemo(2008). A partir destes

resultados verificou-se que para distâncias maiores a 3m a luminância apresentava pouca variação, por isso optou-se por tomar este valor para construção da zonas térmicas próximas as fachadas, onde será dimerizada a iluminação artificial.

### 3. Simulações do sombreamento

A simulação tem como objetivo verificar o impacto provocado pela implantação de um sistema de acionamento das persianas. Este acionamento propicia o fechamento das persianas quando a transmissão de calor pelas janelas ultrapassa um valor pré-determinado. Como o tempo que as persianas ficam fechadas afeta diretamente a entrada de calor pela área envidraçada, será feita uma análise para verificar como a variação do valor de controle de acionamento do fechamento das cortinas, afeta o consumo do sistema de climatização.

Serão analisados cinco valores diferentes para o controle das persianas, o primeiro será a situação em que não existe acionamento, que é o caso base, que mantém as persianas abertas o tempo todo. Esta situação representa a máxima transmissão de calor, sendo assim a condição de máximo consumo do sistema de climatização. Para as demais situações, as persianas serão acionadas quando a incidência solar na parte externa do vidro ultrapassar o valor definido para o controle. Para o estudo em questão serão analisados os valores de 50, 100, 150 e 200 W/m<sup>2</sup>.

O ganho obtido com a utilização do sombreamento nas janelas pode ser observado na figura 1, na qual está a porcentagem reduzida do consumo do sistema de climatização para todos os meses do ano.

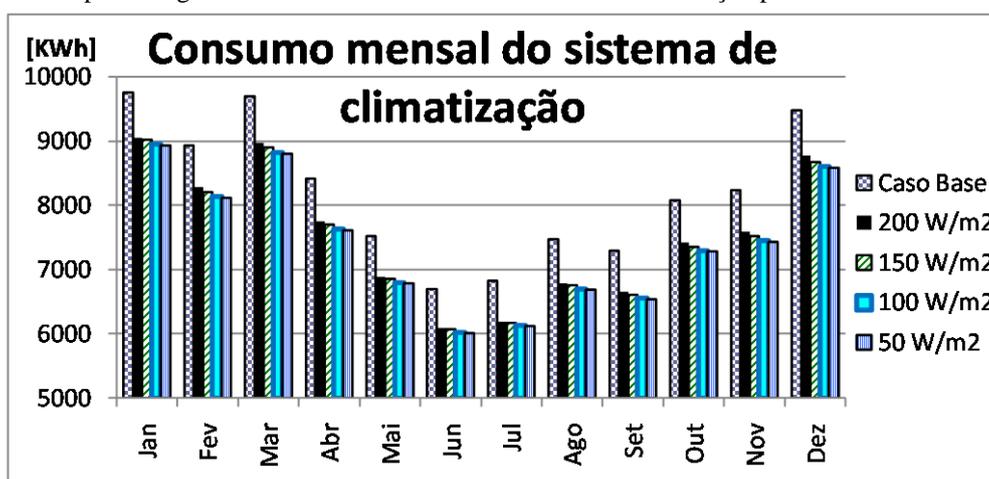


Figura 1. Consumo mensal do sistema climatização.

A redução no consumo da energia elétrica é de aproximadamente de 7 a 10,6% do consumo do sistema de climatização, e de 3,0 a 3,5% na redução do consumo total do edifício, também se verifica que quanto maior for o valor do “setpoint” de acionamento das cortinas, menor será o benefício proporcionado por este, já que permitirá a entrada de maior radiação na edificação.

Pode-se observar que no inverno a redução provocada no sistema de climatização é maior do que no verão, no entanto, deve se lembrar que no inverno o consumo é menor, ou seja, mesmo proporcionando uma porcentagem maior de redução a redução absoluta no sistema de climatização é inferior ao obtido nos meses mais quentes do ano.

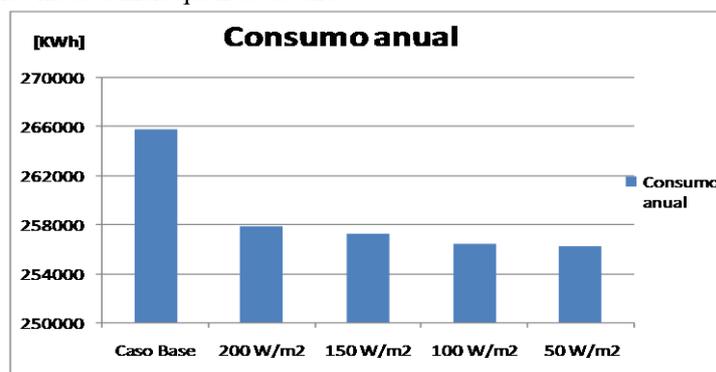


Figura 2. Redução total no consumo anual do andar tipo.

Para o caso anual a redução obtida no consumo para o “setpoint” de acionamento igual a 200, 150, 100 e 50 W/m<sup>2</sup> foi respectivamente de 8,1%, 9,5%, 10,4% e 10,7% para o consumo do sistema de climatização, e de 3,0%, 3,3%, 3,6% e 3,7% para a redução do consumo total do edifício.

#### 4. Simulações do sombreamento com dimerização da iluminação.

Serão simuladas três opções de dimerização da iluminação artificial, dos quais se buscará saber qual a melhor opção a ser utilizada.

Por motivos de salubridade em ambientes de trabalho em edifícios comerciais deve ser mantida uma luminância de 500 lux no ambiente de trabalho. Dessa forma, define-se este valor para o controle da dimerização, ou seja, a iluminação artificial terá a função de complementar à iluminação natural até que os 500lux sejam atingidos. Quando a iluminação natural for superar os 500 lux a iluminação artificial estará no seu menor consumo.

A distância das fachadas em que o sistema de dimerização da iluminação é utilizado, varia entre edifícios. Neste estudo, será considerada uma distância das fachadas da atuação do sistema de dimerização de 3,0 metros.

##### 4.1 Primeira opção de dimerização da iluminação.

A primeira opção irá dimerizar a iluminação linearmente até o mínimo de 30% do seu consumo elétrico, mantendo 20% da sua capacidade de iluminação. Essa dimerização será utilizada para a área definida por uma distância de 3,0 m das fachadas.

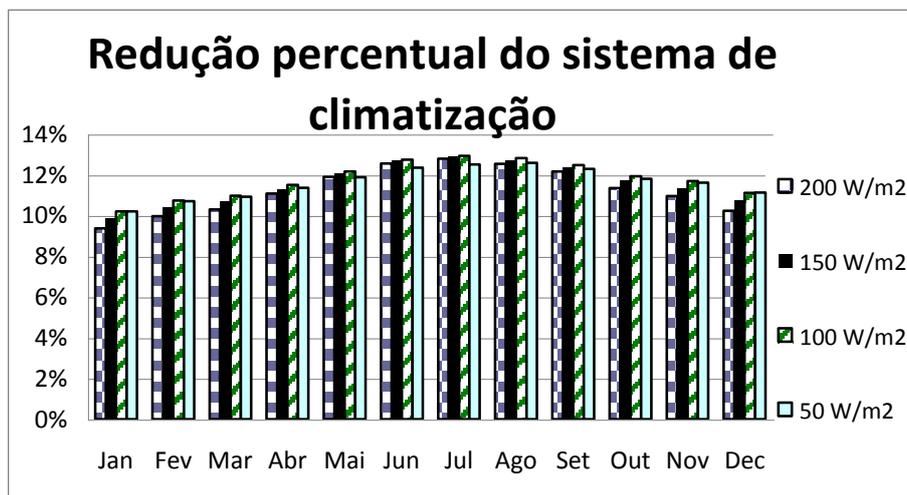


Figura 3. Redução percentual do sistema de climatização para a primeira opção de dimerização.

Analisando os resultados apresentados na figura 3, se verifica que a distribuição mensal ao longo do ano do consumo do sistema de climatização é semelhante ao observado sem a dimerização luminosa. No entanto, se observa um aumento na redução do consumo do sistema de climatização, que é proporcionada pela diminuição da radiação proveniente da iluminação artificial, o que diminui a carga térmica interna. Isso gera reduções no consumo do sistema de climatização entre 9% a 13%.

Observa-se que para o “setpoint” de 150 e 200 W/m<sup>2</sup> há uma piora nos resultados quando se aumenta o valor de controle das cortinas, como deveria ocorrer, no entanto, para o “setpoint” de 50 e 100 ocorre uma alteração no comportamento esperado. Nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro o comportamento é como esperado, ou seja, a redução obtida pelo “setpoint” de 50W/m<sup>2</sup> é superior ao “setpoint” de 100W/m<sup>2</sup>, mas para o restante do ano essa situação se inverte. Esse comportamento inesperado nos meses de março a novembro, que são os meses de menor consumo do sistema de climatização, é explicado porque a redução proporcionada pela redução do calor emitido pelo sistema de iluminação artificial é maior que a redução do calor que atravessa as janelas.

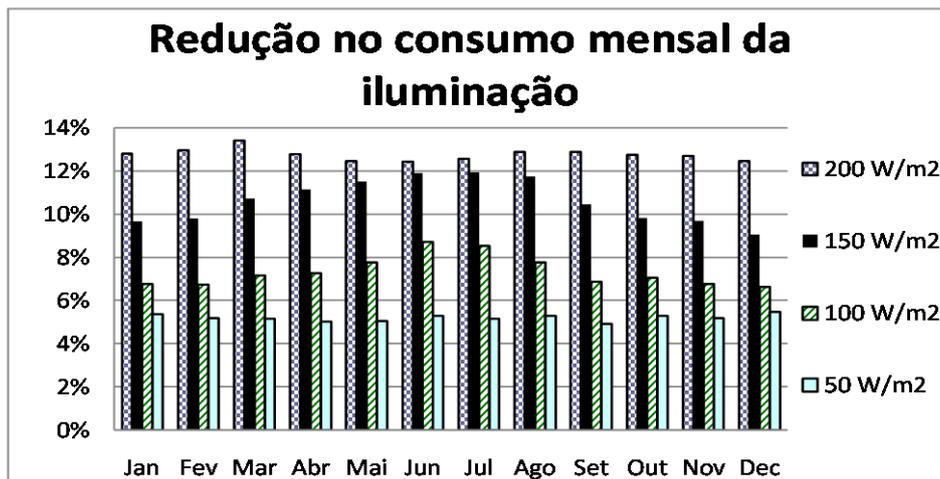


Figura 4. Redução no consumo da iluminação para a primeira opção de dimerização.

Quanto à iluminação (figura 4), se observa que quanto maior for o valor de controle do acionamento das cortinas menor é o consumo da iluminação, contrariamente ao que acontece com o consumo do sistema de climatização. A redução no consumo energético da iluminação artificial se deve a que quanto mais tempo a persiana permanecer levantada maior será à entrada da luz natural, ou seja, para maiores valores do “setpoint” de acionamento das cortinas mais tempo a cortinas ficará aberta o que diminui o consumo em iluminação artificial.

Observa-se que para os “setpoint” de 50, 100, 150 W/m<sup>2</sup> a redução percentual da iluminação artificial aumenta nos períodos de inverno. Esse fato é provocado porque no inverno a radiação solar é menos intensa, o que faz com que as cortinas permaneçam abertas por um período maior, o que aumenta o período de incidência da luz natural no andar tipo. Para o caso do “setpoint” de 200 W/m<sup>2</sup> a redução se torna aproximadamente constante em todos os meses.

A redução no consumo da iluminação artificial varia entre 4,8% e 13,5%, valores inferiores a redução do sistema de climatização. No entanto, a redução da iluminação artificial apresenta maior amplitude que a do sistema de climatização, ou seja, a variação em relação ao caso base é maior para o sistema de climatização, mas a variação entre os diferentes “setpoint” é maior para o sistema de iluminação artificial.

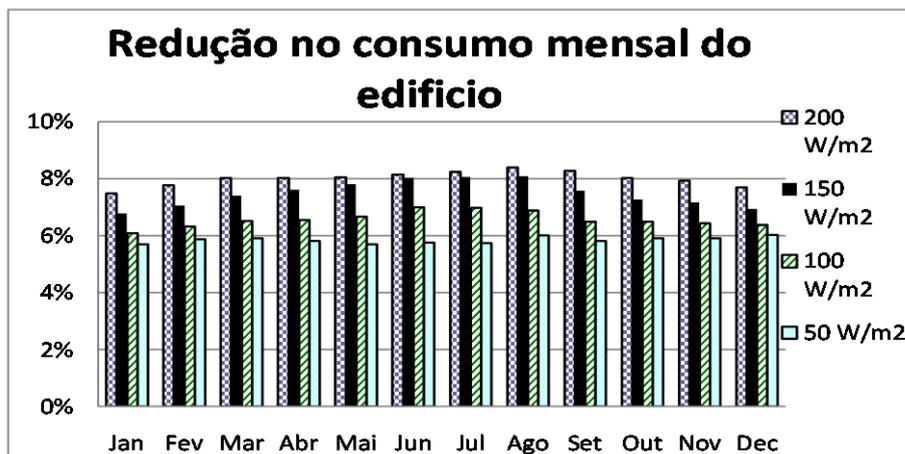


Figura 5. Redução mensal na edificação para a primeira opção de dimerização.

Observando a redução total, se verifica que a redução no consumo diminui quando se reduz os valores de controle do acionamento das cortinas. O motivo disso foi mostrado anteriormente, a variação da redução proporcionada na iluminação artificial é maior que a variação da redução provocada no sistema de climatização, dessa forma à medida que os valores de controle diminuem a redução no consumo também diminui, provocando uma redução entre 5,7% e 8,4% no consumo total do andar tipo.

Percebe-se que para o caso com dimerização da iluminação, não se percebe mais uma diferença no consumo total do andar tipo entre o inverno e o verão, isso se deve ao fato da redução no consumo do sistema de climatização ser maior no verão do que no inverno, mas no caso da redução no consumo da iluminação ocorre o inverso, a redução do consumo é maior no inverno do que no verão. Essa diferença

no comportamento dos sistemas estudado faz com que a redução no consumo do andar tipo, se mantenha relativamente contínuo ao longo do ano todo.

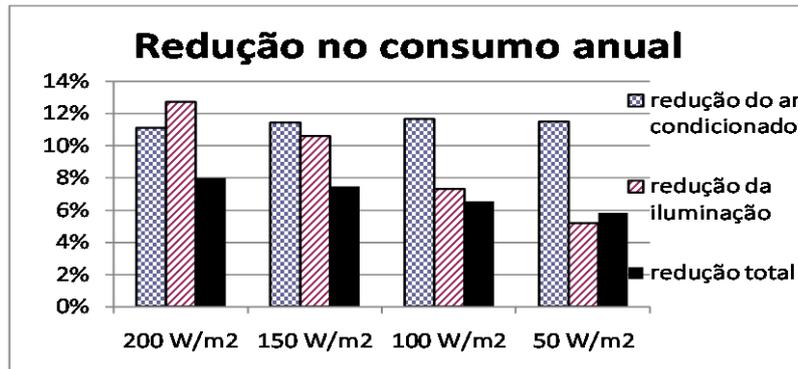


Figura 6. Redução anual para a primeira opção de dimerização.

A redução anual do andar tipo é de 8,0%, 7,5%, 6,6% e 5,9% respectivamente da esquerda para direita na figura 10.

#### 4.2 Segunda opção de dimerização da iluminação.

A segunda opção da dimerização faz a dimerização por etapas (step), e no caso em questão serão utilizadas três etapas. Se a luminância no ambiente estiver entre 0 e 166,7 lux não haverá dimerização da iluminação, ou seja, funcionará com a capacidade máxima da iluminação, já quando a luminância estiver entre 166,7 e 333,3 lux será utilizado dois terço da capacidade do sistema de iluminação, quando a luminância atingir valores entre 333,3 e 500 lux o sistema de iluminação operará em um terço de sua capacidade, e quando a luminância ultrapassar o valor de 500 lux a iluminação será desligada.

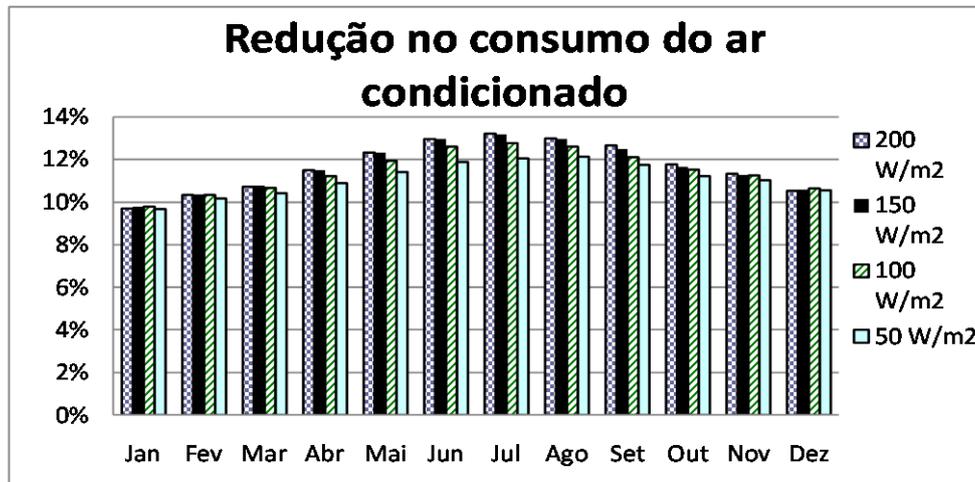


Figura 7. Redução no consumo mensal do sistema de climatização para a segunda opção de dimerização.

A redução do sistema de climatização é semelhante ao que aconteceu com a redução do sistema de climatização da primeira opção de dimerização, sendo esta redução também superior ao controle das cortinas sem dimerização da iluminação pelas razões apresentadas anteriormente.

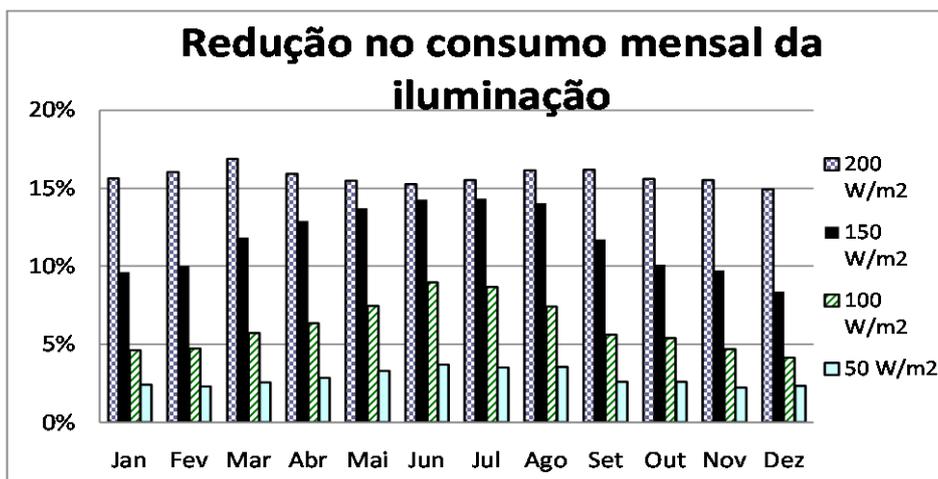


Figura 8. Redução no consumo mensal da iluminação para a segunda opção de dimerização.

Com relação à iluminação, percebe-se que o comportamento é semelhante ao apresentado na primeira opção de dimerização, no entanto se observa que a redução obtida para os controles das cortinas em 200 e 150 W/m<sup>2</sup> aumentou, o que pode ser explicado pelo fato de neste caso a iluminação pode ser desligada se a luminância proporcionada pela luz natural ultrapassar os 500 lux, o que torna o consumo mínimo mais baixo do que na opção anterior.

No entanto para o caso do controle das cortinas em 100 W/m<sup>2</sup> não são observadas diferenças entre as duas opções analisadas, já para o controle em 50 W/m<sup>2</sup> observa-se que a redução proporcionada com a segunda opção de dimerização é inferior a obtida com a primeira opção de dimerização. Este fato se deve a que como as cortinas são fechadas rapidamente a luz natural não supera os 500 lux por muito tempo, então o sistema opera a maior parte do tempo em alguma etapa intermediária, não atingindo o desligamento total da iluminação artificial, o que mantém um consumo de iluminação maior do que se fosse um controle linear. Estas variações fazem a redução da iluminação variar entre 2,2% e 16,2%.

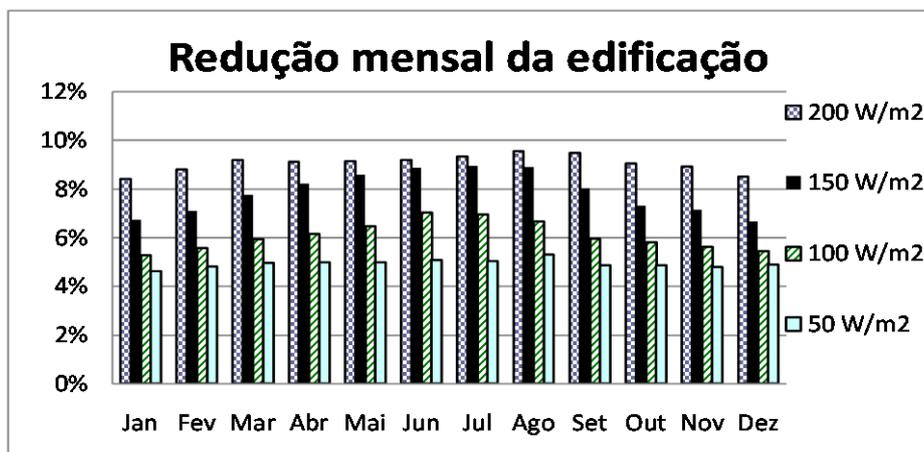


Figura 9. Redução no consumo mensal do edifício para a segunda opção de dimerização.

Devido ao fato do sistema de climatização não ter sofrido mudanças consideráveis, a redução total do andar tipo apresenta as mesmas mudanças apresentadas no estudo da iluminação. Com essas mudanças há uma variação entre 4,8% e 9,7% do consumo total do andar tipo.

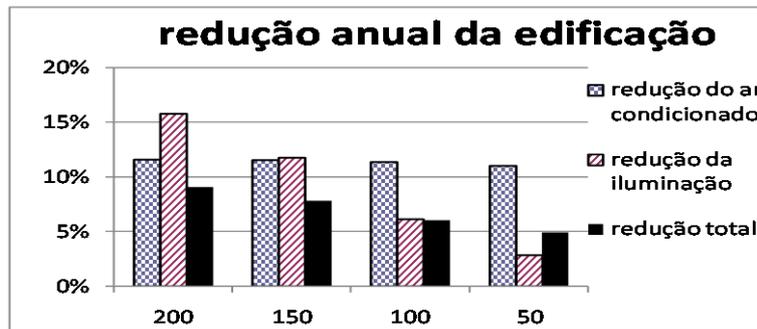


Figura 10. Redução anual para a segunda opção de dimerização.

Na figura 10 se pode observar que a redução total proporcionada pelos “setpoint” 200 W/m<sup>2</sup>, 150 W/m<sup>2</sup>, 100 W/m<sup>2</sup> e 50 W/m<sup>2</sup> é respectivamente 9,1%, 7,8%, 6,1% e 5% do consumo total da edificação.

### 4.3 Terceira opção de dimerização da iluminação.

A terceira opção de dimerização faz a dimerização da iluminação artificial linearmente até o desligamento total desta, ou seja, a terceira opção de dimerização se comporta semelhante à primeira opção de dimerização só que apresenta o ponto mínimo com sendo a origem, sendo assim o ponto mínimo faz o desligamento total da iluminação artificial, tendo uma potência de consumo e uma iluminação nula quando a luminância dentro do edifício ultrapassa os 500 lux.

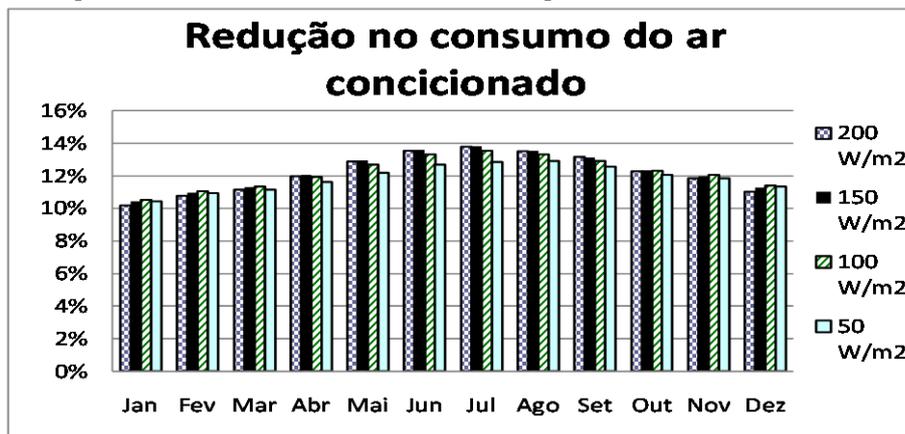


Figura 11. Redução no consumo mensal do sistema de climatização para a terceira opção de dimerização.

A redução do sistema de climatização é semelhante ao que acontece com a redução do sistema de climatização na primeira e segunda opção de dimerização, no entanto esta é um pouco superior e apresenta variações entre 10,0% e 14% do consumo do sistema de climatização.

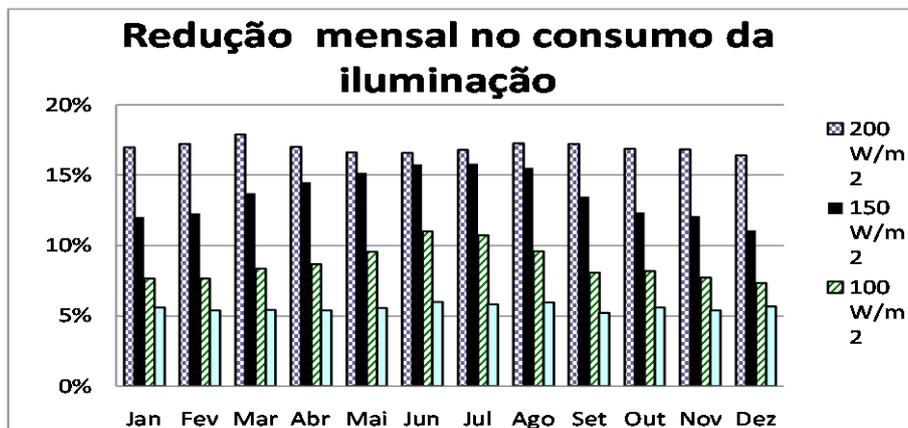


Figura 12. Redução no consumo mensal da iluminação para a terceira opção de dimerização.

Neste caso, a redução da iluminação artificial apresentou melhores resultados do que as outras duas opções de dimerização para os quatro distintos tipos de controle de acionamento das cortinas, o que demonstra que a dimerização linear é melhor do que utilizar a dimerização por etapas. Percebe-se que houve melhora de rendimento também para o “sepoint” de 50W/m<sup>2</sup>, isso demonstra que de fato a piora deste parâmetro de controle no segundo tipo de dimerização, se deve ao fato a que a iluminação trabalha em alguma das etapas intermediárias, não no desligamento total da iluminação artificial, o que mantém o consumo elevado quando a cortina é fechada muito rapidamente.

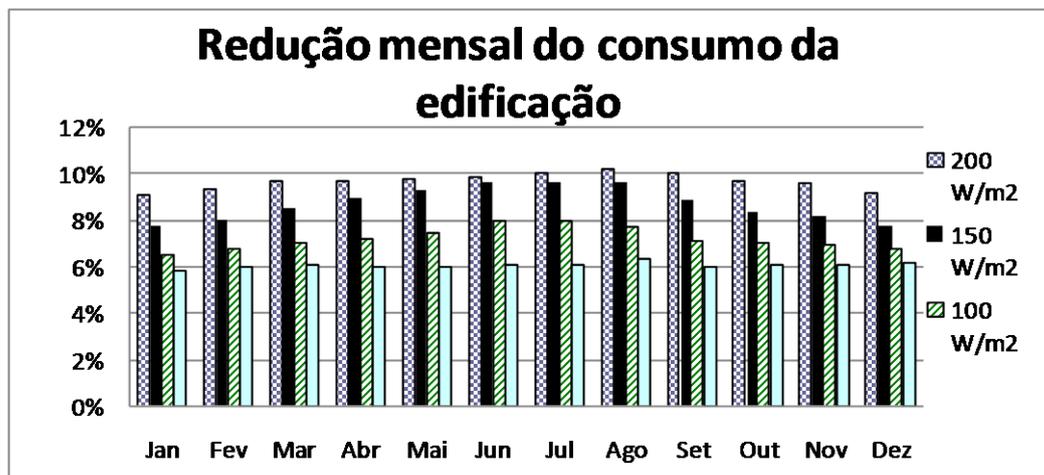


Figura 13. Redução no consumo mensal da edificação para a terceira opção de dimerização.

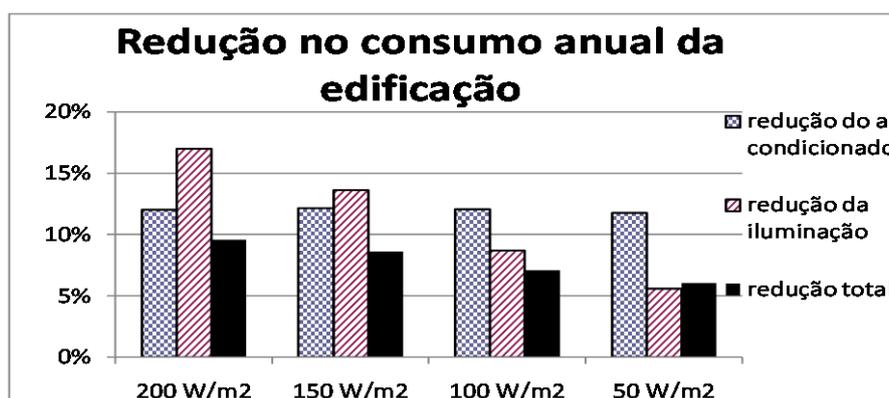


Figura 14. Redução anual para a terceira opção de dimerização.

Na figura 14 se observa a redução anual para a terceira opção de dimerização da iluminação artificial, nela se percebe uma melhor eficiência, que proporciona uma redução de 9,6%, 8,7%, 7,1% e 6,1% respectivamente da direita do gráfico para a esquerda deste.

### 1. Ponto de operação

Ao se analisar como cada parâmetro estudado interfere no consumo de energia da edificação, percebe-se que ao acionar as cortinas se reduz a entrada de radiação solar, diminuindo o consumo do sistema de climatização da edificação, no entanto também se reduz a parcela de iluminação natural que entre no ambiente, aumentando o consumo da iluminação artificial. Portanto quando acionamos as cortinas reduzimos o consumo do sistema de refrigeração, mas deixamos de economizar na iluminação artificial.

Levando-se em consideração que há um conflito de ganhos ao se acionar a cortina, se buscará encontrar neste tópico o ponto de equilíbrio entre o consumo do sistema de refrigeração e o consumo com iluminação, para tanto se simulará a edificação para vários valores do controle de acionamento entre 50 W/m<sup>2</sup> e 900 W/m<sup>2</sup>, que conforme definido na Figura 6 é a partir dos 900 W/m<sup>2</sup> que o acionamento das cortinas deixa de apresentar resultados, portanto não interfere mais no consumo energético da edificação.

Analisando-se a curva do ponto ótimo para o controle de acionamento das cortinas se observa que este se encontra entre 250 e 350 W/m<sup>2</sup>, como pode ser visto na figura 15.

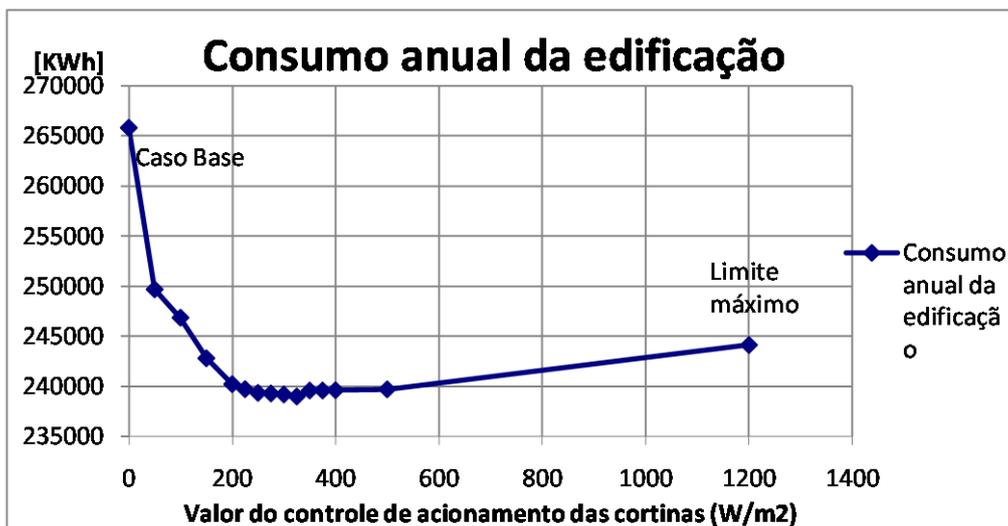


Figura15. Consumo energético anual para a terceira opção de dimerização.

Os valores comparativos para os três tipos de opção de dimerização se encontram na tabela 3.

Tabela 3. Porcentagem de redução energética no consumo total da edificação no ponto ótimo.

Tipo de redução na iluminação artificial	Porcentagem máxima de redução energética.
Primeira opção	8,1 %
Segunda opção	9,7 %
Terceira opção	10,1%

## 2. Comparação em diferentes cidades

Foram realizadas duas simulações em duas cidades para observar-se como o clima interfere na eficiência do controle de acionamento das cortinas, conforme estudado por Enshem,Zixuam(2005) e por Data(2001). As duas cidades escolhidas foram Recife, no nordeste brasileiro, e Santa Maria no estado do Rio Grande do Sul, as simulações foram feitas para a edificação sombreada e para a terceira opção de dimerização da iluminação artificial, pois foi esta a opção que forneceu a maior redução de consumo total, como mostra a tabela 3.

O objetivo é observar como o sistema é afetado por um clima mais quente, que é o caso de Recife em Pernambuco, e como este sistema é afetado por um clima mais frio, que seria o caso de Santa Maria no Rio Grande do Sul.

A comparação para as três cidades pode ser observada na tabela 4.

Tabela 4.Comparação entre diferentes cidades.

Cidade	Valor do controle	Redução
São Paulo	325	10,1%
Santa Maria	350	10,3%
Recife	400	8,6%

A redução percentual obtida em Recife é inferior à obtida em São Paulo, no entanto os valores numéricos são superiores. Isso se deve a que uma parcela maior de radiação é refletida devida a maior intensidade de radiação solar nesta cidade, mas como a cidade também é mais quente há também um aumento do calor transferido ao ambiente climatizado por condução, que não é alterado pela utilização do sombreamento. Portanto para cidades quentes há um aumento tanto de radiação com de condução, que afeta a eficiência do sombreamento na edificação.

A redução em Santa Maria é levemente superior à obtida em São Paulo, essa leve melhora nos resultado se deve ao fato de que nas cidades de maior latitude a radiação é menor, o que proporciona um consumo do sistema de refrigeração levemente inferior ao consumido em São Paulo, mas a melhora se deve ao fato de que como a radiação é menor há um período maior de entrada da iluminação natural que penetra no ambiente, o que dimeriza a iluminação artificial, que possui a mesma potência de projeto para ambas as simulações.

## 5. Conclusões

Analisando os resultados obtidos nas simulações, percebe-se que a utilização do sombreamento, proporciona uma redução no consumo do andar tipo na ordem de 3,5%, já quando é incrementado a dimerização da iluminação artificial, esta redução aumenta para aproximadamente 7,5%, podendo atingir até 10% do consumo total. Isso demonstra que a utilização conjunta do sistema de sombreamento com o sistema de dimerização da iluminação artificial proporciona melhores resultados.

Percebe-se que a utilização do sistema de acionamento das cortinas proporciona dois tipos de benefícios, que variam inversamente em função da intensidade do controle de acionamento das cortinas. O primeiro benefício é o sombreamento, que reduz o consumo do sistema de climatização quanto maior for o tempo que as cortinas permanecerem fechadas. O segundo benefício é a utilização da iluminação natural que penetra no ambiente através dos vidros, que reduz o consumo da iluminação artificial quanto menor for o tempo que as cortinas permanecerem fechadas.

Observando as opções de dimerização, fica evidente que a melhor opção de dimerização da iluminação artificial é fazer a dimerização linearmente até o desligamento total do sistema, desde que a luz natural proporcione a luminância mínima necessária.

Também se conclui que a melhor opção de controle das cortinas é utilizar uma “setpoint” entre 300 W/m<sup>2</sup> e 400 W/m<sup>2</sup>, dependendo da localização do edifício, pois cidades muito mais quentes apresentam uma maior entrada de luz natural do que cidades mais frias, que se localizam em maiores latitudes.

## 6. Referências

- [1]Aghemo,C.,Pellegrino,A.,LoVerso,V.R.M. the approach to daylighting by scale models and sun and sky simulators: A case study for different shading systems,2008 : 917-927
- [2]Datta, Gouri. effect of fixed horizontal louver shading devices on thermal performance of building by TRNSYS simulation,2001 : 497-507.
- [3]Enshem, L.,Jinhua,C Are the annual relative variation rates of energy consumption approximate in different cities with the samen shading coefficient,2005 : 507-515
- [4]Enshem,L.,Zixuam,Z. Hourly classified identifications: the annual relative variation rates (RVRs) are approximate in defferent cities for the same building with the same shading coefficient,2005 : 529-536.
- [5]ABNT NBR 16401-2008, “Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários”.
- [6]ASHRAE STANDARD 90.1-2004, “Energy Standard for Building Except Low-Rise Residential Building”.

## 7. Direitos Autorais

### **AVALIAÇÃO DO IMPACTO NO DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES CLIMATIZADAS ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE SOMBREAMENTO EM SUA FACHADAS.**

**Javier Díaz Valdivia**  
[dv.javier@gmail.com](mailto:dv.javier@gmail.com)

**Abstract:** The work search analyze the impact provided by the use of shading on the facades of a commercial building, such shading is an indoor curtain, which is triggered when the solar radiation that reaches the outer surface of the glass exceeds a predetermined value. First will be examined how different values of control the curtain affect the consumption of the HVAC system, then will be analyzed for the same parameters used previously, as if he could reduce the consumption of artificial lighting of the building through the entry of natural light. With this analysis was obtained the optimum control the curtains, thus providing the best reduction in energy consumption of the building. Finally will be observed behavior of consumption of the building to different cities.

**Keywords:** Energy Efficiency, shading, dimmable lighting