

Eixo Temático ET-09-009 - Energia

## **OTIMIZAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS E ARQUITETÔNICAS PARA A CONCEPÇÃO DE EDIFICAÇÕES SUSTENTÁVEIS COM AUTOSUFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

Vitor Eustáquio Andrade Silva, Lineker Max Goulart Coelho

Universidade Federal de Viçosa, *Campus* de Rio Paranaíba, MG.

### **RESUMO**

O estudo em questão consistiu em elaborar um projeto de uma estação de pesquisa autossustentável energeticamente e que garanta o conforto térmico dos usuários. Para isso primeiramente fez-se uma otimização da estrutura física no que tange a suas características geométricas e os materiais construtivos, visando minimizar os consumos de energia para aquecimento e refrigeração do edifício. Ressalta-se que para isso buscou-se uma arquitetura com forma a mais compacta possível visando reduzir a área superficial de modo a evitar perdas de calor para o ambiente externo. Por outro lado visou-se também otimizar a área de recepção de energia solar buscando para isso uma forma geométrica adequada associada a uma orientação do edifício favorável a recepção da radiação solar. Em seguida buscou-se otimizar as características de inércia térmica do edifício e de isolamento das paredes e das janelas. Os cálculos e análises térmicas do edifício foram feitos por meio de simulação computacional. Além disso, foi feita uma análise de cenários de ventilação natural e forçada e de suas repercussões sobre a demanda energética do edifício. Por fim dimensionou-se um sistema de aproveitamento da energia solar por processo combinado envolvendo aquecimento de água e geração de energia elétrica por aproveitamento de energia solar. Os resultados térmicos obtidos apontaram para uma demanda por energia para aquecimento total anual de 164 kWh, ou seja, menos de 1 kWh/m<sup>2</sup> valor bem abaixo do valor de edifícios convencionais de mesmo uso e localização, evidenciando assim que a metodologia de concepção adotada foi bastante eficiente na redução da demanda por energia térmica. Para atender as demandas de aquecimento do edifício, aquecimento de água e consumo de energia elétrica foram necessários 16 m<sup>2</sup> de painéis de aquecimento solar e 40 m<sup>2</sup> de painéis solares fotovoltaicos, valores compatíveis com a área da cobertura da edificação.

**Palavras-chave:** Eficiência energética; Edificação sustentável; Autossuficiência energética.

### **INTRODUÇÃO**

De acordo com Lambert (2010) as edificações são responsáveis pelo consumo de mais de 45% da energia elétrica no Brasil. Esta realidade não se limita ao nosso país sendo que valores semelhantes são observados em outros países tais como a França e Estados Unidos em que o consumo de energia por edificações corresponde a 44% e 41%, respectivamente, da demanda energética total do país (USEIA, 2009; MEDDE, 2015). Sendo assim visando um desenvolvimento sustentável, a elaboração de procedimentos que contribuam para reduzir a demanda energética das edificações torna-

se crucial sendo uma estratégia que está inserida no conceito de edificação sustentável. Segundo ADAM (2001) este conceito compreende um conjunto de estratégias de utilização do solo, projeto arquitetônico e construção em si que reduzem o impacto ambiental e visam a um menor consumo de energia, à proteção dos ecossistemas e mais saúde para os ocupantes. Dessa forma o estudo de arranjos arquitetônicos, materiais construtivos e o aproveitamento de fontes alternativas de energia torna-se um instrumento fundamental para a concepção de edificações energeticamente eficientes e inclusive autossuficientes do ponto de vista energético. Sendo assim, o estudo em questão visa apresentar os procedimentos utilizados durante um estudo de concepção de uma edificação energeticamente autossuficiente e que garanta o conforto térmico dos usuários.

## **OBJETIVO**

O objetivo deste trabalho é apresentar os procedimentos, técnicas e alternativas tecnológicas utilizadas para desenvolver um projeto de um edifício sustentável autossuficiente energeticamente.

## **METODOLOGIA**

### **DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

O local de estudo para a implantação da edificação se encontra próximo a Chambéry, uma cidade localizada nos Alpes Franceses. O local encontra-se a 850 m de altitude nas coordenadas: Longitude 5° 57' 57" E e Latitude 45° 35' 33" N. Chambéry possui clima de montanha caracterizado por invernos frios e com baixa amplitude térmica e verão ameno ou quente durante o dia e temperaturas frescas durante a noite. Ressalta-se que nas áreas com este tipo de clima a estação quente é mais longa do que em regiões de clima temperado, abrangendo mais de dois terços do ano. O número de horas de insolação médio da área em estudo é de cerca de 1950 horas e a taxa de insolação média é de 1420 kWh/m<sup>2</sup>/ano.

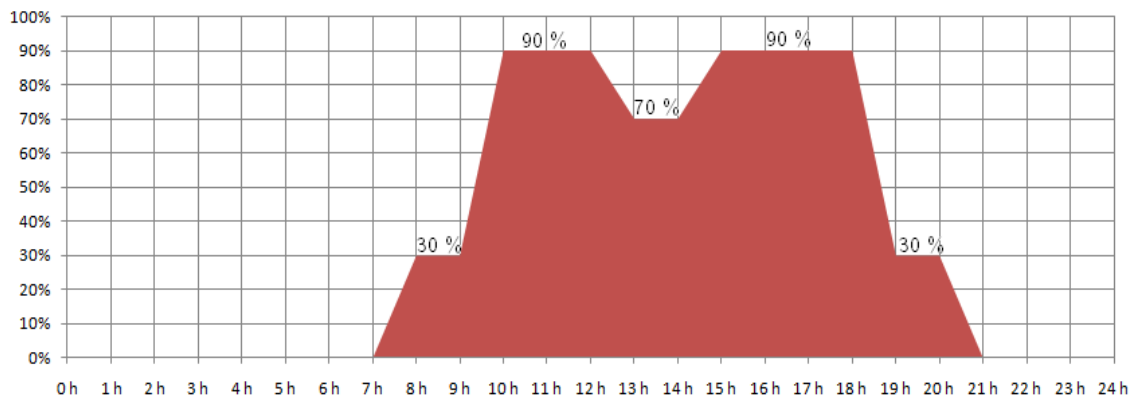
### **DESCRIÇÃO DA EDIFICAÇÃO EM ESTUDO**

O edifício possui 220 m<sup>2</sup>, e consiste em um centro de pesquisa, sendo rodeado por um ambiente de vegetação natural. O edifício foi concebido para ser ocupado por uma equipe de 5 pesquisadores e possui aparelhos de medida e de tratamento e dados bem como equipamentos eletroeletrônicos e eletrodomésticos. O edifício possui basicamente 3 áreas distintas:

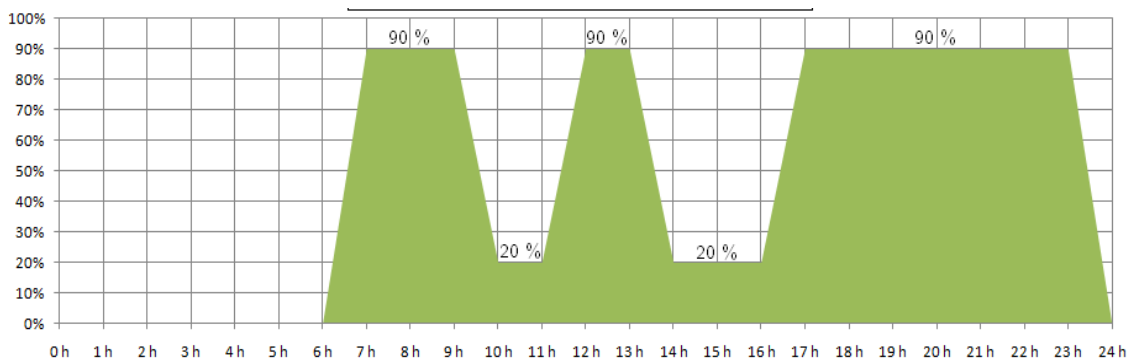
- Um laboratório com cerca de 110 m<sup>2</sup>;
- Um espaço de convivência com aproximadamente 50 m<sup>2</sup>;
- Um espaço privado (quarto e banheiros) que abrange cerca de 60m<sup>2</sup>.

### **CENÁRIOS DE OCUPAÇÃO E POTÊNCIA DISSIPADA POR EQUIPAMENTOS**

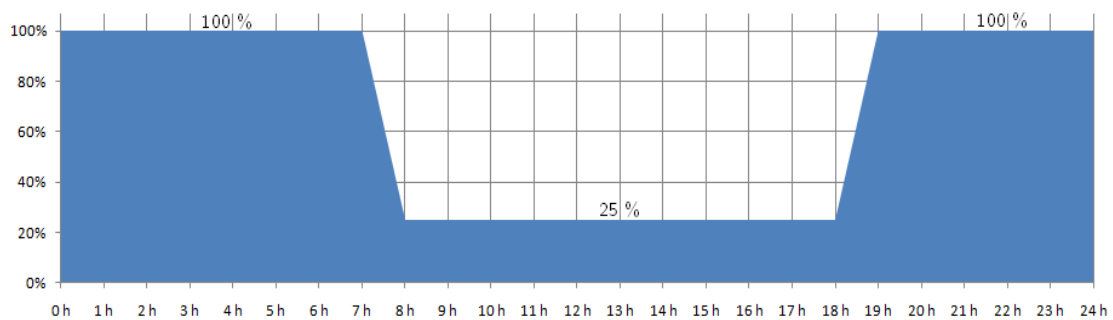
As hipóteses em termos de cenários de ocupação das diferentes áreas do edifício são apresentadas nas Figuras 1 a 3. Esses valores impactam nos cálculos e simulações térmicas e de demanda energética do edifício, tendo em vista que resultam em consumo de energia elétrica e geração de calor por utilização de equipamentos.



**Figura 1.** Cenário de ocupação para o laboratório.

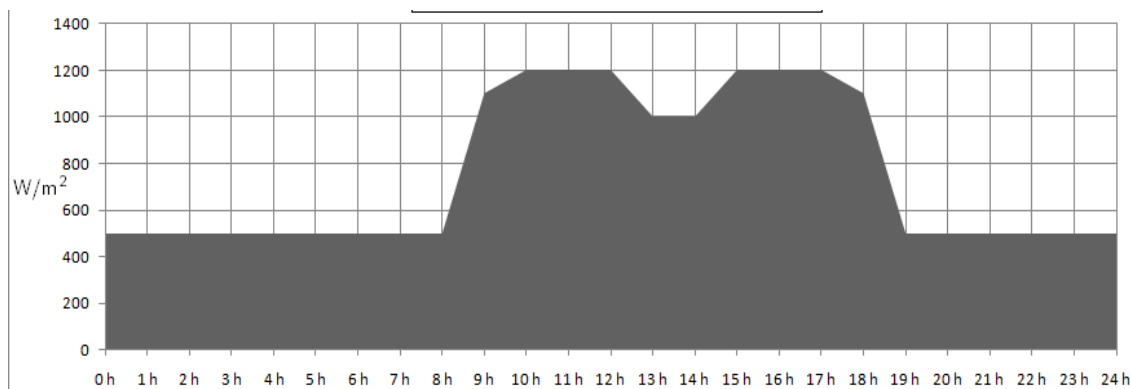


**Figura 2.** Cenário de ocupação para a área de convivência.



**Figura 3.** Cenário de ocupação para o espaço privado.

Para o quarto considerou-se uma potência dissipada por equipamentos constante de  $60 \text{ W/m}^2$ , enquanto que para a área de convivência o valor adotado foi de  $240 \text{ W/m}^2$ . A Figura 4 apresenta os valores adotados para o laboratório.



**Figura 4.** Potência dissipada por equipamentos no laboratório.

### **ANÁLISE DO COMPORTAMENTO E CONFORTO TÉRMICO DA EDIFICAÇÃO**

O comportamento térmico da edificação foi avaliado por meio de simulação computacional utilizando o software Pleiades. Foi adotado como temperatura de conforto o valor de 19 °C de 7 h a 21 h e 15 °C durante a noite e uma temperatura máxima aceitável de 28 °C. A taxa de desconforto que foi utilizada neste estudo consiste na porcentagem de dias do ano em que a temperatura interior do edifício ultrapassou a temperatura máxima aceitável.

**Critérios de concepção arquitetônica do edifício.** O consumo de energia depende da forma geométrica e da orientação do edifício. Ambas as características influenciam diretamente na arquitetura deste. Então, a definição da forma e orientação do edifício buscou minimizar as perdas térmicas sobre as superfícies e maximizar os aportes de energia solar. Assim a arquitetura e orientação do edifício foram analisadas visando garantir o conforto dos usuários e a reduzir a demanda por aquecimento e/ou refrigeração forçada.

**Isolamento da edificação.** De modo a limitar as pontes térmicas optou-se por um sistema de isolamento externo ao edifício. O material avaliado para a composição do isolamento foi a lã de rocha tendo em vista suas boas características isolantes. Este material foi utilizado tanto para o isolamento das paredes quanto da cobertura. A espessura ótima foi determinada por meio de simulação térmica em que se variou a espessura do isolamento.

**Inércia térmica da edificação.** A inércia térmica do edifício foi avaliada de modo a permitir maximizar o aproveitamento da radiação solar durante o inverno por meio da estocagem de calor. Além disso, a inércia térmica também serve para aproveitar a refrigeração noturna natural durante o verão. Sendo assim a inércia térmica do edifício foi otimizada buscando-se variar a espessura da laje de concreto do contra piso do nível térreo.

**Aberturas e sombreamento.** Para limitar as perdas térmicas dos fechamentos verticais do edifício é necessário compatibilizar as características térmicas das áreas

envidraçadas com as do sistema de isolamento das paredes. Para isso vários sistemas de janelas foram avaliados.

Visando a garantir o conforto térmico durante o verão buscou-se alternativas para proteger os vidros das janelas de radiação solar direta, principalmente na fachada sul que possui uma grande área envidraçada. Para isso estudou-se a utilização de quebra-sóis (brises) horizontais. Além disso, as janelas foram equipadas com venezianas externas de resistência térmica de 1 W/K. Ressalta-se que cenários de abertura e fechamento das venezianas foram avaliados de modo a se determinar as melhores configurações para inverno e verão.

Os cenários de abertura e fechamento das venezianas escolhidos para cada estação do ano foram: janelas fechadas à noite e abertas durante o dia no período invernal e 50% de janelas com venezianas fechadas durante o dia no verão.

**Ventilação.** A ventilação influencia três parâmetros importantes para o conforto térmico de edificações: qualidade do ar, perdas térmicas por convecção e sensação de calor, os quais dependem ainda das condições climáticas de cada período do ano. Sendo assim, foram avaliados cenários de ventilação para o inverno e verão. Durante o inverno foi proposto um sistema de ventilação do tipo duplo fluxo com uma eficiência de recuperação de calor de 80%. O sistema duplo fluxo consiste em aproveitar a energia do ar interno que está saindo da edificação para aquecer o ar externo que está entrando no edifício, reduzindo assim a quantidade de energia necessária para aquecimento.

Para evitar temperaturas elevadas na edificação durante o verão, propõe-se uma ventilação noturna extra, que visa aproveitar o fato de Chambery possuir noites com temperaturas amenas durante o verão com valores máximos de 18° C.

#### **DEMANDA DE ÁGUA QUENTE**

A demanda de água quente foi estimada considerando 40 L de água por pessoa por dia a uma temperatura de 50 ° C.

#### **DEMANDA POR ENERGIA ELÉTRICA**

A demanda por energia elétrica considerando iluminação, equipamentos foi determinada considerando estudo preliminar apresentado em Eyraud *et al.* (2010). A demanda necessária por sistema de ventilação forçada foi determinada com base nos resultados do presente estudo.

#### **DEMANDA DE ENERGIA SOLAR**

Visando a uma autossuficiência energética da edificação, a energia solar será utilizada como fonte de eletricidade por meio de painéis fotovoltaicos e também para aquecimento da água, utilizando painéis de aquecimento solar. O número de horas de insolação média anual da área em estudo é de 1950 horas e a taxa de insolação média é de 1420 kWh/m<sup>2</sup>/ano.

### **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **COMPORTAMENTO E CONFORTO TÉRMICO**

Os resultados térmicos obtidos apontaram para uma demanda por energia para aquecimento total anual de 164 kWh, ou seja, menos de 1 kWh/m<sup>2</sup>. Ressalta-se os ganhos obtidos com a metodologia de otimização tendo em vista que edifícios

convencionais voltados para o mesmo uso na mesma região possuem demandas anuais de energia térmica da ordem de 100 a 160 kWh/m<sup>2</sup> (ENERGY PLUS, 2013), evidenciando assim que a metodologia de concepção foi bastante eficiente na redução da demanda por energia térmica.

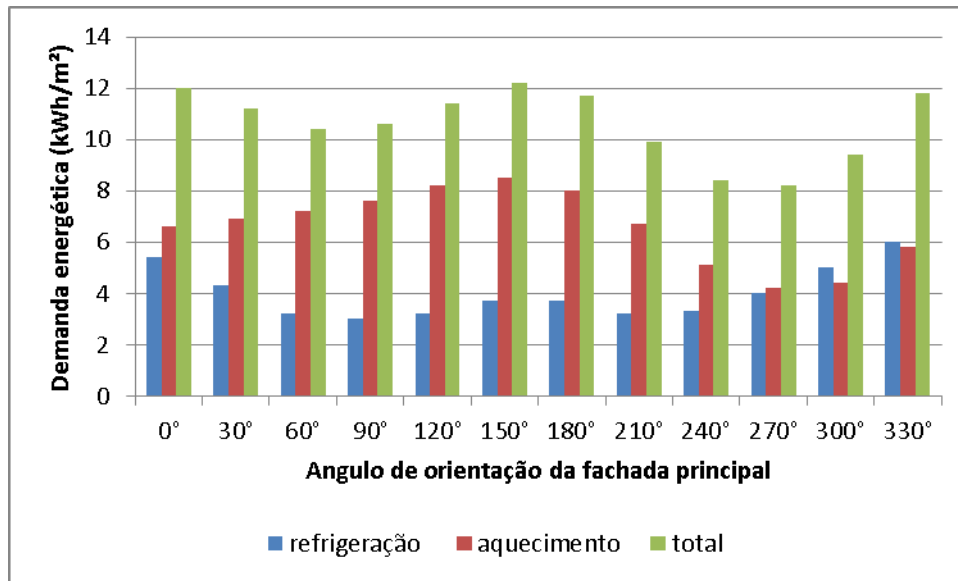
Quanto ao conforto térmico os resultados das simulações térmicas apontaram taxas de desconforto em apenas 1% dos dias do ano, garantindo assim excelentes condições ambientais para os usuários da edificação.

**Concepção arquitetônica do edifício.** Para minimizar as perdas térmicas sobre as superfícies e maximizar os aportes de energia solar buscou-se uma geometria compacta que atendesse ambas as características. A geometria que minimiza a área superficial é a forma circular, porém para minimizar a fachada norte, que recebe menor insolação e maximizar a fachada sul, que recebe a maior insolação, adotou-se um formato de quarto de círculo com a parte circular orientada para o sul. O edifício possui dois pavimentos, sendo que o laboratório situa-se no segundo andar e a área de convivência e privativa situam-se no térreo. A Figura 5 apresenta uma visão geral da geometria definida para o edifício.



**Figura 5.** Perspectiva da edificação em estudo.

O gráfico apresentado na Figura 6 enfatiza que de fato a orientação com fachada principal voltada para o sul é a que resulta nas menores demandas energéticas para aquecimento. Ressalta-se que nesta figura o ângulo 0° corresponde ao edifício com a fachada principal voltada para o leste, de modo que o valor mínimo se encontra para um ângulo de 270°C, ou seja, direção sul.

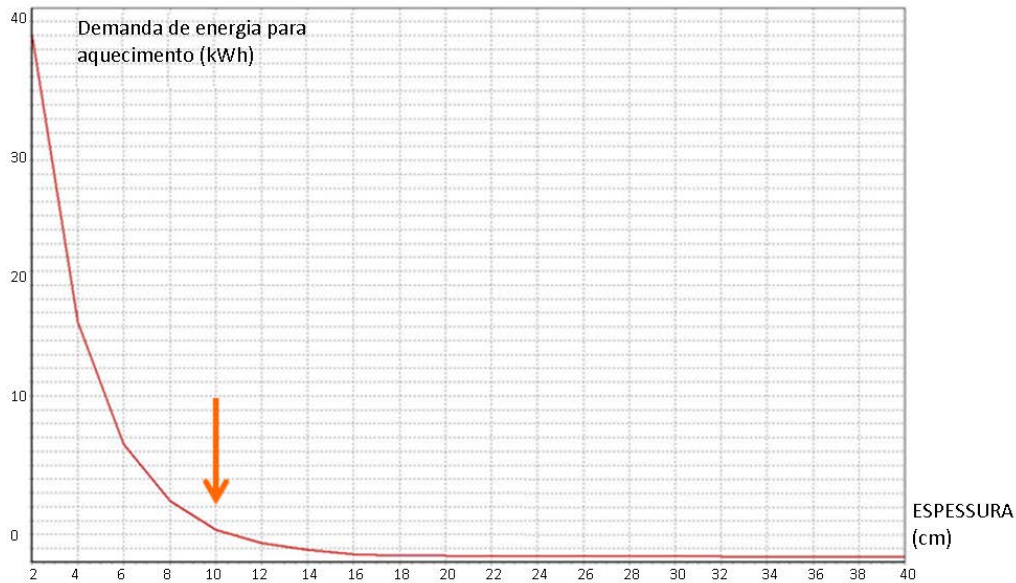


**Figura 6.** Demanda energética para aquecimento e refrigeração da edificação para diferentes orientações da fachada.

**Isolamento da edificação.** Os resultados obtidos, conforme mostrado nas Figuras 7 e 8, apontam para uma espessura de isolante ótima de 16 cm para as paredes e de 10 cm para a cobertura. Estes valores foram selecionados tendo em vista que para valores superiores a estes a redução da demanda por energia para aquecimento é insignificante.



**Figura 7.** Efeito da espessura do isolante sobre a capacidade de isolamento das paredes.

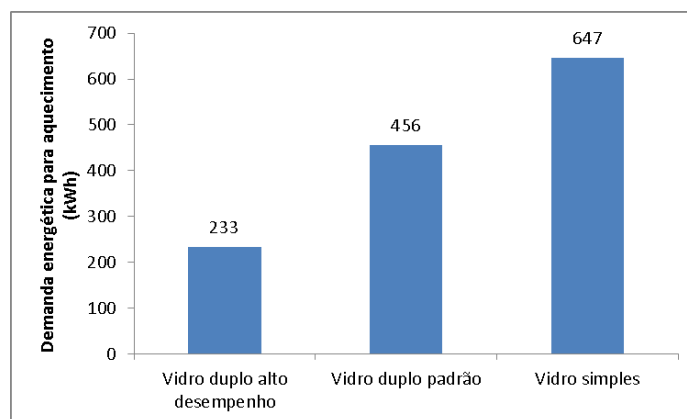


**Figura 8.** Efeito da espessura do isolante sobre a capacidade de isolamento da cobertura.

Ressalta-se que aumentando a espessura do isolante obtêm-se taxas de desconforto maiores. Isso era esperado tendo em vista que o aumento de espessura resulta numa menor perda de calor para o exterior o que durante o período de verão pode resultar em temperaturas elevadas da edificação. Entretanto, o conforto térmico neste período será garantido por meio da ventilação, inércia térmica e limitação de incidência direta da radiação solar, conforme será apresentado.

**Inércia térmica da edificação.** Com relação à inércia térmica selecionou-se uma espessura de 30 cm de concreto para o contra piso.

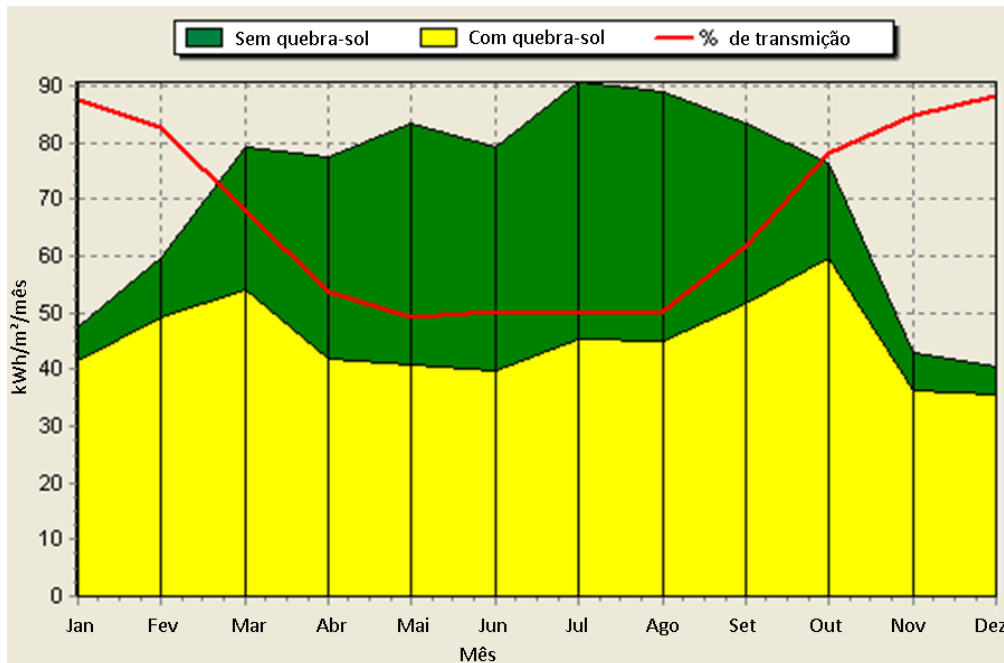
**Aberturas e sombreamento.** Comparando-se os sistemas de janelas, conforme mostrado na Figura 9, nota-se um bom desempenho do sistema de janelas com esquadrias de PVC e vidro duplo de alto desempenho, sendo, portanto a opção escolhida.



**Figura 9.** Desempenho de isolamento para diferentes tipos de configurações de janelas.

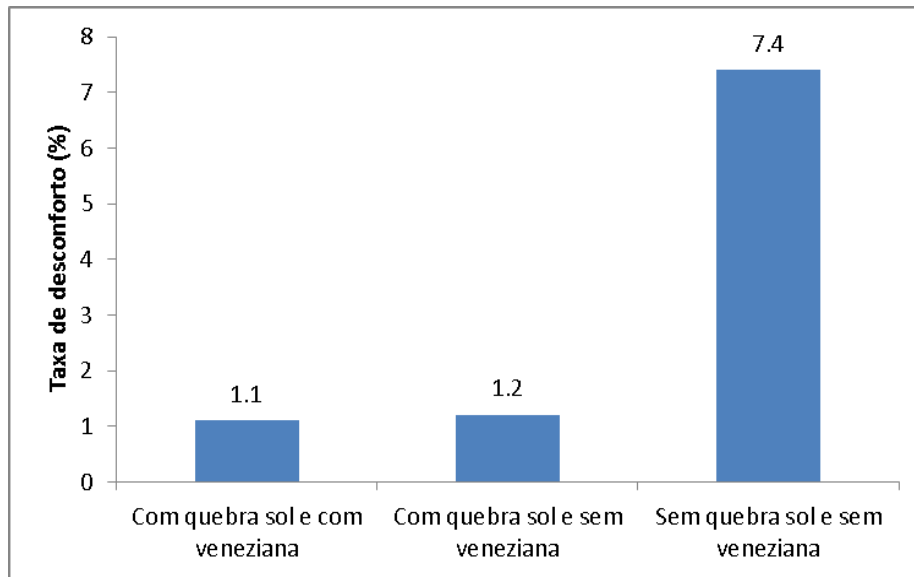


Quanto à utilização de quebra-sóis, os resultados apresentados na Figura 10 mostram que a utilização de quebra-sóis (brises) horizontais sobre a fachada envidraçada resultou em um ligeiro aumento na demanda por aquecimento, devido a menor radiação solar recebida, porém isto também resultou em uma diminuição considerável da taxa de desconforto, conforme mostrado na Figura 11, justificando sua utilização. Com estas configurações conseguiu-se limitar a demanda por aquecimento e melhorar o conforto térmico durante o verão.



**Figura 10.** Quantidade de insolação recebida por m<sup>2</sup> considerando a presença ou ausência de quebra-sóis.

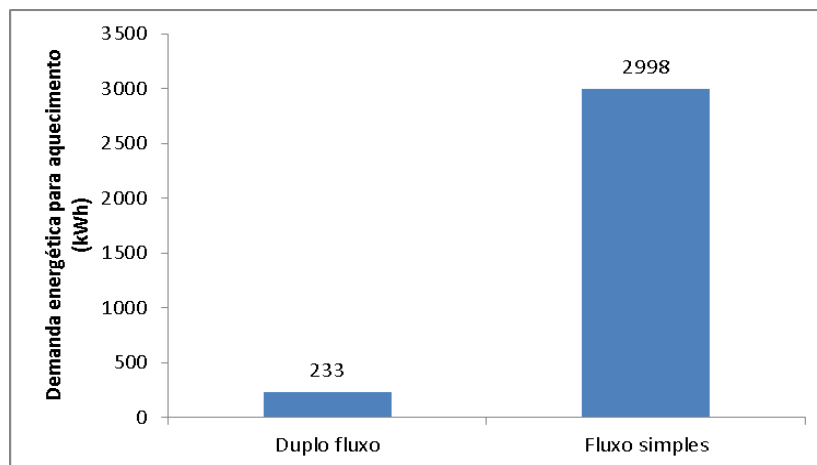
É importante ressaltar que as venezianas não tiveram muito impacto sobre o conforto da edificação conforme se observa na Figura 11. Isso porque os quebra-sóis (brises) projetados sobre as janelas da fachada sul já exercem papel semelhante ao das venezianas evitando que as janelas recebam radiação solar direta no verão.



**Figura 11.** Efeito do quebra sol e da veneziana sobre a taxa de desconforto.

## VENTILAÇÃO

**Padrão de ventilação no inverno.** A vantagem deste tipo de sistema sobre um sistema de ventilação convencional é mostrada na Figura 12, em que nota-se as demandas de aquecimento com e sem o sistema duplo fluxo.



**Figura 12.** Comparação entre eficiência de ventilação para diferentes sistemas.

**Padrão de ventilação no verão.** Utilizando o software Contam verificou-se a viabilidade técnica de utilização de ventilação natural por meio da simples abertura das janelas. Para isso considerou-se um cenário de ventilação para o período mais quente do ano em que as temperaturas internas chegam a 28° C e a 18° C no exterior a noite. Os resultados apontaram um fluxo de ar por ventilação natural de 3000 m<sup>3</sup> /h garantindo um bom nível de desaquecimento do ambiente por ventilação natural noturna.

### DEMANDA DE ENERGIA PARA AQUECIMENTO

A demanda de energia obtida para aquecimento do ambiente anterior foi de apenas 164 kWh/ano. Já a demanda de energia para a água quente necessária à higiene dos usuários é de 3204 kWh/an. Sendo assim, a demanda anual de aquecimento é de 3366 kWh/an. O aquecimento de água será fornecido via sistema de painéis solares enquanto que o aquecimento da edificação será realizado via aquecedor elétrico, com eletricidade fornecida por painéis fotovoltaicos.

### DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA

A demanda de energia elétrica para cada fim é apresentada na Tabela 1. A demanda para aquecimento do ambiente interior foi obtida a partir de demanda térmica anual de 164 kWh/ano, considerando uma eficiência de 90% dos aquecedores elétricos.

**Tabela 1.** Demanda por energia elétrica para a edificação em estudo.

<b>Tipo de consumo</b>	<b>Demanda por eletricidade (kWh/ano)</b>
Ventilação	40
Aquecimento interior	182
Equipamentos	3650
Iluminação	1850
Total	5722

### DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ENERGIA SOLAR

**Painéis fotovoltaicos.** Foram necessários 40 m<sup>2</sup> de painéis fotovoltaicos para atender a demanda em energia elétrica. A Tabela 2 apresenta os valores de demanda e produção de energia elétrica por mês. Nota-se que o valor anual produzido é superior ao requerido, estando, portanto adequado às necessidades do edifício.

Ressalta-se que em função das possibilidades de ligação do sistema na rede pública de eletricidade, pode-se alimentar a rede com a energia gerada excedente ao consumo nos períodos de verão enquanto que no inverno o sistema será alimentado pela rede de pública de eletricidade quando a geração de eletricidade dos painéis for menor do que a demanda.

Assim, conforme a Tabela 2, o balanço final é positivo havendo mais energia gerada pela edificação do que consumida, evidenciando a autossuficiência em termos de eletricidade. Caso a ligação com a rede pública não pudesse ser efetuada isso implicaria na instalação de um sistema de baterias e provavelmente em uma maior área de captação solar requerida o que dependeria da capacidade de armazenamento dos sistemas de baterias instalado.

**Tabela 2.** Dimensionamento do sistema de geração de energia elétrica por painéis fotovoltaicos: Resultados para 40m<sup>2</sup> de área de painéis.

Mês	Radiação solar média mensal (Wh/m <sup>2</sup> /dia)	Demanda de eletricidade (kWh/mês)	Eletricidade produzida (kWh/mês)
Jan	1832	476,8	253
Fev	2407	476,8	300
Mar	4125	476,8	569
Abr	4667	476,8	623
Mai	4966	476,8	684
Jun	5623	476,8	750
Jul	6045	476,8	833
Ago	5742	476,8	791
Set	4630	476,8	618
Out	3130	476,8	431
Nov	1888	476,8	252
Dez	1506	476,8	208
Total	46561	5722	6312

**Painéis de aquecimento solar.** Considerando os dados solarimétricos da região em estudo, obtém-se uma área de 16 m<sup>2</sup> de painéis de aquecimento solar.

A Tabela 3 mostra os valores de demanda e produção mensal de energia para aquecimento de água em que nota-se que a capacidade de aquecimento foi superior à demanda necessária para todos os períodos do ano.

**Tabela 3.** Dimensionamento do sistema de aquecimento de água por energia solar: Resultados para 16m<sup>2</sup> de área de painéis.

Mês	Radiação solar média mensal (Wh/m <sup>2</sup> /dia)	Capacidade de geração de energia solar (kWh/dia)	Capacidade de geração de energia solar (kWh/mês)	Demanda energética (kWh/mês)	Volume (L)
Jan	1832	12,2	378,6	305	200
Fev	2407	16,0	449,3	269	200
Mar	4125	27,5	852,5	285	200
Abr	4667	31,1	933,4	267	200
Mai	4966	33,1	1026,3	258	200
Jun	5623	37,5	1124,6	238	200
Jul	6045	40,3	1249,3	240	200
Ago	5742	38,3	1186,7	239	200
Set	4630	30,9	926,0	248	200
Out	3130	20,9	646,9	270	200
Nov	1888	12,6	377,6	283	200
Dez	1506	10,0	311,2	302	200

## CONCLUSÃO

A simulação térmica da edificação permitiu verificar que a melhor orientação para o edifício é apontar sua fachada arredondada de vidro na direção sul de modo a maximizar os aportes térmicos devido à insolação, reduzindo assim a demanda por energia para aquecimento do edifício. O conforto dos usuários da edificação também foi garantido, obtendo-se taxas de desconforto de apenas 1% em todos os ambientes da edificação.

Os resultados térmicos obtidos apontaram para uma demanda por energia para aquecimento total anual de 164 kWh, ou seja, menos de 1 kWh/m<sup>2</sup> valor bem abaixo do valor de edifícios convencionais de mesmo uso e localização que se situam entre 100 e 160 kWh/m<sup>2</sup> (ENERGY PLUS, 2013), evidenciando assim que a metodologia de concepção utilizada foi bastante eficiente na redução da demanda por energia térmica.

Para atender as demandas de aquecimento do edifício, aquecimento de água e consumo de energia elétrica foram utilizados 16 m<sup>2</sup> de painéis de aquecimento solar e 40 m<sup>2</sup> de painéis solares fotovoltaicos. Sendo assim, o estudo em questão atendeu seus objetivos demonstrando, investigando e selecionando as alternativas tecnológicas e metodológicas necessárias para concepção de uma edificação autossuficiente do ponto de vista energético.

Além disso, visando o aperfeiçoamento da edificação quanto a sua sustentabilidade recomendam-se estudos futuros para avaliação de alternativas para minimizar sua demanda por recursos hídricos por meio do aproveitamento de água de chuva e reuso de água cinza.

## REFERÊNCIAS

ADAM, R. S. **Princípios do ecoedifício**: interação entre ecologia, consciência e edifício. São Paulo: Aquariana, 2001.

ENERGIE PLUS. La consommation d'électricité et de combustible des bureau, 2013. Disponível em: <<http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=11501>>. Acesso em: 15 out. 2015.

EYRAUD, N.; COELHO, L. M. G.; MAHMOOD, O. Conception d'une station météo à énergie positive. Chambéry, ENPC, Paris, 2010..

LAMBERT, R.; GHISI, E.; PEREIRA, C. D.; BATISTA, J. O. Casa Eficiente: Consumo e Geração de Energia. Florianópolis: UFSC, 2010. v. 2.

MEDDE - Ministère de L'Environnement, Développement Durable et de L'Energie. La consommation énergétique des bâtiments et de la construction. 2015. Disponível em: <<http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/lessentiel/ar/326/1097/consommation-energetique-batiments-construction.html>>. Acesso em: 01 nov. 2015.

USEIA - United States Energy Institute of Administration. Residential Energy Consumption Survey - 2009. Disponível em: <[http://www.eia.gov/consumption/residential/data/2009/#sf?src=<ConsumptionResidentialEnergyConsumptionSurvey\(RECS\)-b1](http://www.eia.gov/consumption/residential/data/2009/#sf?src=<ConsumptionResidentialEnergyConsumptionSurvey(RECS)-b1)>. Acesso em: 05 set. 2015.