



# SOLAR

Em direcção à energia zero **Towards zero energy**

Em direcção à energia zero **Towards zero energy**

SOLAR XXI







Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I. P.



O Projecto do Edifício Solar XXI tem características muito especiais, pois na sua génese esteve sempre subjacente a intenção de se construir um edifício de serviços do próprio Laboratório, destinado à demonstração de actividades relacionadas com a eficiência energética e as energias renováveis e que fosse simultaneamente um edifício de investigação nessas mesmas áreas.

Trata-se de um edifício de demonstração em que os conceitos de tecnologias renováveis foram integrados ainda na fase de concepção e que constitui um exemplo de um edifício “energeticamente eficiente”, de baixo consumo energético, e com um conjunto de sistemas solares passivos e activos integrados na sua arquitectura de forma a motivar os arquitectos projectistas para a aplicabilidade e mais-valia destes conceitos. Foi adoptado, um conjunto de medidas construtivas de grande impacto nas condições de conforto térmico no interior do edifício: isolamento térmico integralmente aplicado pelo exterior, vãos envidraçados orientados a Sul devidamente protegidos da radiação solar, propiciando assim, intensos ganhos solares no Inverno e sombreamento no Verão.

A introdução de medidas passivas de arrefecimento com um sistema de tubos enterrados aliado a estratégias de ventilação natural constitui outro eixo inovador. O seu “*ex-libris*” está, no entanto, na utilização e inclusão dos módulos fotovoltaicos na fachada principal a Sul, na medida em que, para além da energia eléctrica, recupera-se, para aquecimento do edifício no Inverno, o calor produzido pelos módulos fotovoltaicos.

O Edifício foi inaugurado em 2006 e, desde então, os propósitos iniciais têm sido concretizados; procedendo-se à sua monitorização e à análise de resultados, e que esta publicação procura agora traduzir a importância dos mesmos. O trabalho de investigação tem vindo a decorrer nas áreas associadas, sendo de salientar que cerca de 80% dos seus consumos energéticos são de origem renovável pelo que, face aos seus resultados, o Edifício Solar XXI poderá enquadrar-se num contexto do futuro, ou seja, edifícios de balanço de consumo zero (“NZEB, Net Zero Energy Buildings”).

*Helder Gonçalves*

Coordenador do Projecto  
Project Coordinator

Solar Building XXI has very special characteristics because, since its conception, there was always the underlying intention of constructing a service building for the Laboratory with demonstration activities related to energy efficiency and renewable energy, and as an adequate building used for research in these areas.

This is a demonstration building where renewable technology concepts have been incorporated at the design stage to make it the example of an “energy-efficient” building, with low energy consumption, a set of solar passive and active systems were integrated into the architecture in order to motivate its designers for the applicability and value of these concepts. It adopted a set of constructive measures of great impact on thermal comfort inside the building like insulation fully implemented from outside, glazing oriented to the south adequately protected from the sun, thereby providing, intense solar gains in winter and shading in summer.

The introduction of passive cooling with a buried pipe system together with natural ventilation strategies is another innovative feature. However, its most remarkable characteristic is the use and inclusion of photovoltaic modules on the main façade to the south, to the extent that, in addition to electricity, the heat produced by these photovoltaic modules is recovered for heating the building in winter.

The building was opened in 2006 and, ever since, the original purpose has been achieved. With the building's monitoring and having performed the analysis of results, this publication is now seeking to translate their relevance. The research work is still being performed, but allowed so far to emphasize that about 80% of its energy consumption is from renewable sources, therefore, Solar Building XXI will fit in the context of the future, that is, of buildings that have a net zero energy consumption (“NZEB, Net Zero Energy Buildings”).

O Edifício Solar XXI tem vindo a cumprir a sua missão demonstrativa e pedagógica através de um percurso de divulgação bastante interessante, focalizado no desempenho dos sistemas passivos e activos de eficiência energética: o seu funcionamento e os seus resultados.

Não podemos esquecer que o Edifício Solar XXI é, antes de mais, um ambicioso projecto de investigação que se materializa num projecto de arquitectura, facto por si só inédito.

Nesta simbiose delicada entre investigação e arquitectura, o principal desafio resultou da necessidade de atingir uma síntese formal onde o carácter demonstrativo não se tornasse perturbador, dificultando o cruzamento equilibrado entre a arquitectura e os diferentes sistemas.

Por outro lado, os resultados obtidos no Solar XXI não teriam sido possíveis se o projecto de arquitectura se isolasse em especulações formais autónomas, esquecendo o propósito fundamental que sempre foi a tentativa de atingir uma qualidade demonstrativa na integração desses sistemas, tal como um desempenho optimizado dos mesmos.

A metodologia de projecto desenvolveu, assim, uma estratégia de integração onde os sistemas foram assumidos, desde a fase inicial, como elementos compositivos potencialmente geradores do desenho final e não como perturbações adicionadas ao longo do processo.

O projecto procura a máxima continuidade de detalhe entre os diferentes elementos, tanto ao nível dos materiais como no seu dimensionamento, obtendo-se um desenho baseado no conceito de modularidade e repetição. Trata-se de um desenho quase "invisível", onde o edifício resulta como um todo indissociável, serenamente pousado no sítio.

É a partir da métrica da fachada fotovoltaica que se gera toda a geometria interna de espaços e alinhamentos, funcionando assim como instrumento privilegiado na definição da lógica formal e espacial de todo o edifício. A entrada principal é posicionada de modo a valorizar o contacto visual com esta fachada, o que enfatiza o seu carácter emblemático.

Concluindo, acreditamos que o edifício Solar XXI poderá funcionar como exemplo de metodologia de projecto aplicável em casos semelhantes, abrindo um campo aliciante de investigação formal e espacial de que resultarão, no futuro, novas sínteses de eficiência energética na relação entre arquitectura e sistemas.

*Pedro Cabrito e Isabel Diniz*

Arquitectos  
*Architects*

Solar Building XXI has been fulfilling its mission through pedagogy and demonstration in a very interesting way of dissemination, focused on the performance of passive systems and active energy efficiency - its operation and results.

One cannot forget that the Solar Building XXI is first and foremost, an ambitious research project that materializes in architectural design, which in itself unprecedented.

In this delicate symbiosis between research and architecture, the main challenge resulted from the necessity of achieving a formal synthesis where the demonstrative character did not become disturbing, hindering the balanced crossover between architecture and the various systems.

Moreover, the results obtained in Solar Building XXI would not have been possible if the architectural design isolated itself in autonomous formal speculations, forgetting the fundamental purpose which has always been the attempt to achieve a quality demo in integrating these systems, such as their optimum performance.

The methodology of the project, therefore, developed an integration strategy where systems have been made since the initial phase, as compositional elements which could potentially engender the final design and not as perturbations added throughout the process.

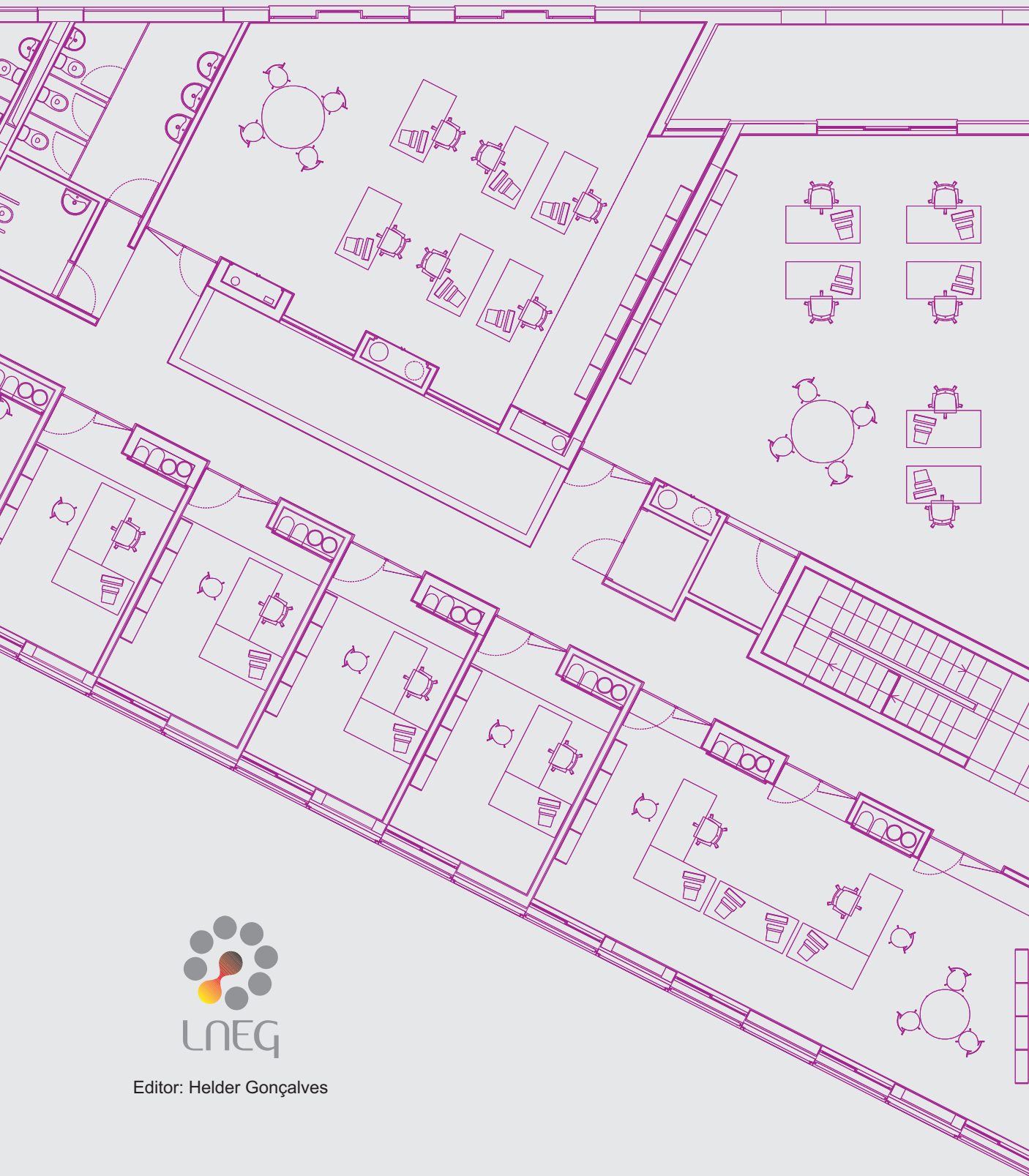
The project seeks the maximum continuity of detail between the different elements, both material and in its dimensioning, resulting in a design based on the concept of modularity and repetition. This is a quasi "invisible" design, where the building is an inseparable whole, perched serenely on the site.

All the internal geometry of spaces and alignments is generated from the metric of photovoltaic façade and thus act as a privileged instrument in the definition of formal logic and space around the building. The main entrance is positioned so as to enhance the visual contact with this façade, emphasizing its symbolic nature.

In conclusion, we believe that Solar Building XXI can function as an example of project methodology applicable in similar cases, opening an exciting field of formal and spatial research, which will result in the future new syntheses of energy efficiency in the relationship between architecture and systems.

# SOLAR XXI

*Em direcção à energia zero / Towards zero energy*



Editor: Helder Gonçalves

**Autor e Coordenador do Projecto de Investigação**

*Author and Coordinator of the Research Project*

Helder Gonçalves

**Projecto Geral de Arquitectura**

*Architecture Project*

Pedro Cabrito e Isabel Diniz, Arquitectos

**Coordenação de Engenharia**

*Engineering Coordination*

Luis Alves Pereira

**Construção**

*Construction*

Obrecol SA

**Fiscalização**

*Supervision*

Souza Medeiros Lda

**Projecto de Estabilidade**

*Stability Project*

Gapres SA

**Projecto de Instalações Eléctricas**

*Electrical Installations Project*

Lomarisco Lda

**Projecto de Climatização**

*Climatization Project*

Manuel Mendes Nogueira

**Projecto de Águas e Esgotos**

*Water and Sewage Project*

Aquadomus Lda

**Equipa do LNEG**

*LNEG Team*

**Estudos de Modelação**

*Modeling Research*

Helder Gonçalves

Susana Camelo

Cristina Horta

João Mariz Graça

Laura Aelenei

Marta Oliveira Panão

**Sistema Fotovoltaico**

*Photovoltaic System*

António Joyce

Carlos Rodrigues

**Experimentação**

*Experimentation*

Álvaro Ramalho

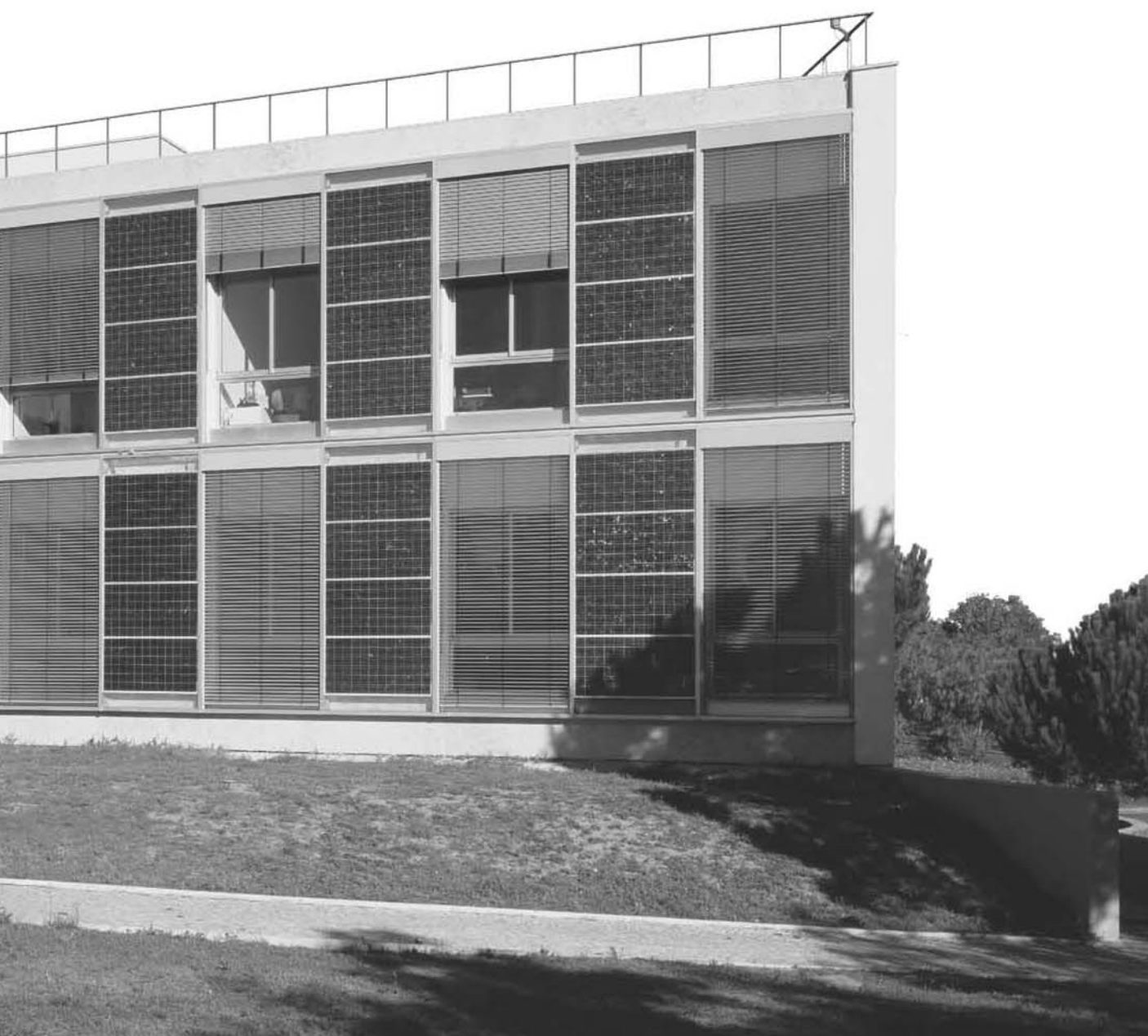
António Rocha e Silva





# SOLAR XXI

*Em direcção à energia zero / Towards zero energy*





07

## **Introduction**

Concept  
Photovoltaic system  
Characterization of Lisbon climate  
Thermal characterization of envelope

15

## **Heating strategies**

Passive heating  
Heat recovery

19

## **Cooling strategies**

Windows shading  
Ground passive cooling  
Natural ventilation

25

## **Natural lighting**

27

## **Building monitoring**

Winter  
Summer  
Average air temperatures  
Air stratification at central well  
Buried pipes  
Heat recovery in photovoltaic modules  
Indoor air quality

41

## **Energy production**

Photovoltaic power stations

47

## **Building modeling and simulation**

Dynamic simulation  
Simulation assumptions  
Calibration of the numerical model  
Energy index

52

## **References**

53

## **Awards**

# ÍNDICE

## CONTENTS

07

### **Introdução**

- Conceito
- Sistema fotovoltaico
- Caracterização do clima de Lisboa
- Caracterização térmica da envolvente

15

### **Estratégias de aquecimento**

- Aquecimento passivo
- Recuperação de calor

19

### **Estratégias de arrefecimento**

- Sombreamento dos vãos
- Arrefecimento passivo pelo solo
- Ventilação natural

25

### **Iluminação natural**

27

### **Monitorização do edifício**

- Inverno
- Verão
- Temperaturas médias do ar
- Estratificação de ar no poço central
- Tubos enterrados
- Recuperação de calor nos módulos fotovoltaicos
- Qualidade do ar interior

41

### **Produção de energia**

- Centrais fotovoltaicas

47

### **Modelação e simulação do edifício**

- Simulação dinâmica
- Pressupostos da simulação
- Calibração do modelo numérico
- Índice energético

52

### **Referências**

53

### **Prémios**





# INTRODUÇÃO

## INTRODUCTION

### *Conceito / Concept*

O objectivo principal do projecto do Edifício Solar XXI consistiu em conceber um edifício de serviços com um baixo consumo de energia, integrando tecnologias renováveis (solar térmico e fotovoltaico) e sistemas passivos para aquecimento e arrefecimento ambiente. Procurou-se que as estratégias e os sistemas, ao serem previstos e integrados desde o início, fossem geradores do conceito formal do próprio edifício.

O edifício foi assim construído de forma a potenciar o uso de energias renováveis, com a integração das seguintes estratégias:

- Optimização térmica da envolvente;
- Aumento da área de captação de ganhos solares - fachada solar a Sul, como um sistema de ganho directo para aquecimento;
- Dispositivos de sombreamento exteriores nos vãos orientados a Sul;
- Fachada fotovoltaica, para aproveitamento eléctrico (100 m<sup>2</sup> e 12 kWp);
- Recuperação de calor por convecção natural na fachada fotovoltaica para aquecimento ambiente;
- Colectores solares para aquecimento ambiente;
- Sistema de arrefecimento passivo por tubos enterrados;
- Iluminação natural.

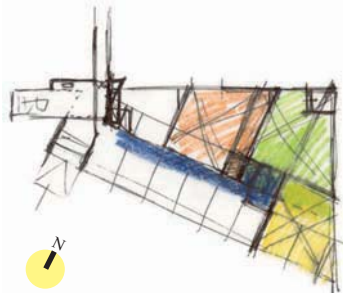
The main objective of the project for Solar XXI building was to design a service building with low energy consumption, integrating renewable technologies (solar thermal and photovoltaic) and passive systems for heating and cooling. The strategies and systems were planned and integrated from the beginning of its conception and sought to be drivers in the formal concept of the building itself.

The building was constructed to maximize the use of renewable energy, integrating the following strategies:

- Optimization of thermal envelope;
- Increase the area of solar heat gains - south solar façade, as a direct gain system for heating;
- External shading devices in the south oriented windows;
- Photovoltaic façade for electric use (100 m<sup>2</sup> and 12 kWp);
- Heat recovery by natural convection in the photovoltaic façade for indoor environmental heating;
- Solar collectors for heating;
- Natural ventilation;
- Passive cooling system using buried pipes;
- Natural lighting.



(1) Fotografia aérea, localização do edifício no Campus do LNEG. Aerial photo, location of the building in the Campus of LNEG.



O edifício pretende ser um exemplo para novos projectos e evidenciar que o aproveitamento consciente da energia solar é compatível com o rigor formal de um edifício de arquitectura contemporânea.

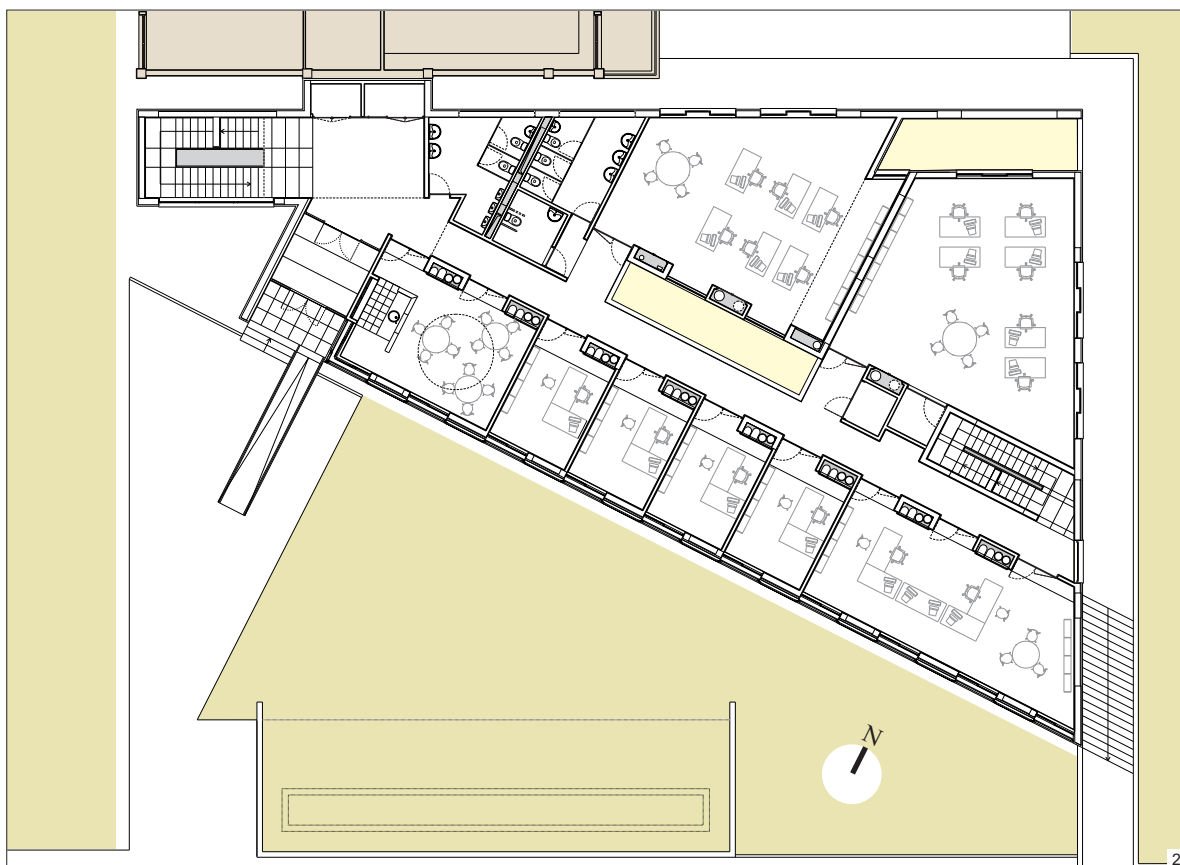
Em termos da distribuição dos espaços interiores, as salas com ocupação permanente encontram-se orientadas a Sul, de forma a tirar partido da insolação directa e assim promover os ganhos de calor solares no Inverno. As zonas localizadas a Norte do edifício destinam-se a espaços laboratoriais e a salas para grupos de trabalho com ocupação de carácter mais ocasional.

Na zona central do edifício encontra-se um espaço de circulação e distribuição, servido por uma ampla clarabóia que ilumina zenitalmente os três pisos, funcionando igualmente para ventilação pois os vãos ao nível da clarabóia podem ser abertos para esse efeito.

This building is intended to be an example for new projects and show that consciously use of solar energy is compatible with the formal rigor of contemporary architecture building.

In terms of distribution of interior spaces, office rooms with permanent occupation are oriented to the south in order to take advantage of direct sunlight and thus promote solar heat gains in winter. The areas located to the north of the building are aimed at laboratory spaces and rooms for occasional working groups.

An area of circulation and distribution is found in the center of the building, served by a large skylight that zenithally illuminates the three floors, and also functions for ventilation because windows at the skylight level can be opened for that purpose.



(2) Planta do piso térreo. Ground floor plant.



3



4

(3) Fachada Sul. **South façade.** (4) Fachada Nascente. **East façade.**



## Sistema fotovoltaico / Photovoltaic system

A integração de sistemas fotovoltaicos no Edifício Solar XXI foi uma intenção de primeira hora, quando do projecto do edifício. Sendo um edifício de demonstração e de estudo na área das Energias Renováveis, desejou-se que o “solar fotovoltaico” a par do “solar térmico” (activo e passivo) fosse parte integrante e fundamental neste edifício.

Vários desafios envolveram esta opção, por um lado a intenção de produzir parte da energia eléctrica consumida no edifício a partir de energia solar e, por outro, a integração arquitectónica dos módulos fotovoltaicos de uma forma esteticamente agradável. Neste processo, uma das questões fundamentais consistiu em definir a sua localização no edifício, fachada versus cobertura, ou a sua inclinação de forma a potenciar a captação solar e assim aumentar a produção de energia eléctrica do edifício. Foi também avançada a ideia de recuperar o calor gerado nos módulos fotovoltaicos, utilizando-o para aquecimento do edifício.

Projectou-se pois, um sistema fotovoltaico integrado na fachada a Sul do edifício, com cerca de 100 m<sup>2</sup> de módulos fotovoltaicos de silício multicristalino, totalizando cerca de 12 kWp para fornecimento directo de energia eléctrica ao edifício.

A integração destes módulos foi feita de forma a propiciar o aproveitamento térmico do calor gerado pelos módulos fotovoltaicos no período de Inverno. É de referir o facto da cavidade vertical criada entre os módulos fotovoltaicos e a envolvente vertical do edifício, quando ventilada, poder ainda contribuir, para além das vantagens apresentadas ao nível de conforto interior, para o aumento da eficiência dos módulos fotovoltaicos promovendo o arrefecimento convectivo dos módulos pela parte posterior.

No parque de estacionamento do edifício foi implementado um outro sistema fotovoltaico de 6 kWp que também fornece energia eléctrica ao Edifício Solar XXI.

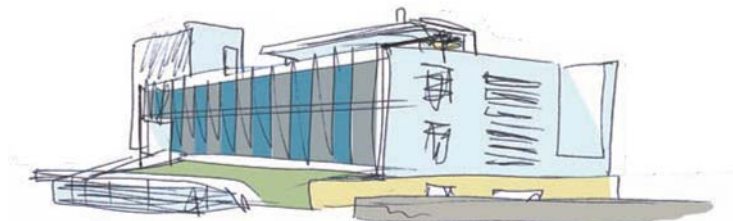
The integration of photovoltaic systems in Solar XXI was a first-hour intention when designing the building. Being a demonstration building and a case-study in the field of Renewable Energies, "solar photovoltaic" alongside with "solar thermal" (active and passive) were an integral and fundamental part of its design.

Several challenges surrounded this option. First, the intention of producing some of the electricity consumed in the building from solar energy and, secondly, the architectural integration of photovoltaic modules in an aesthetically pleasing way. In this case, one of the key issues was to define their location in the building façade versus covering, or the inclination to maximize the orientation and thus increase the electric power generation in the building. The idea of recovering the heat generated in the photovoltaic modules is also advanced, further using it to heat the building.

A photovoltaic system was designed to be integrated into the south façade of the building with about 100 m<sup>2</sup> of multicrystalline silicon modules, totaling about 12 kWp of direct supply of electricity to the building.

The integration of these photovoltaic modules was done to facilitate the use of their generated thermal heat in winter. It should be noted that a vertical cavity created between the photovoltaic modules and the vertical envelope of the building, when ventilated, can also contribute to increase the efficiency of photovoltaic modules by promoting convective cooling of modules from the back, in addition to the advantages for indoor comfort.

In the parking lot near the building another 6 kWp photovoltaic system has been implemented, also supplying electricity to Solar XXI building.



## Caracterização do clima de Lisboa / *Characterization of Lisbon Climate*

Lisboa tem um clima temperado sendo que, durante o Inverno (período de aquecimento igual a 5,3 meses), apresenta um número médio de graus-dias de aquecimento de 1190 °C.dias ( $T_b=20$  °C).

Lisbon has a temperate climate and, during winter (heating period equal to 5.3 months), it has an average number of heating degree days (HDD) of 1190 °C.days ( $T_b = 20$  °C).

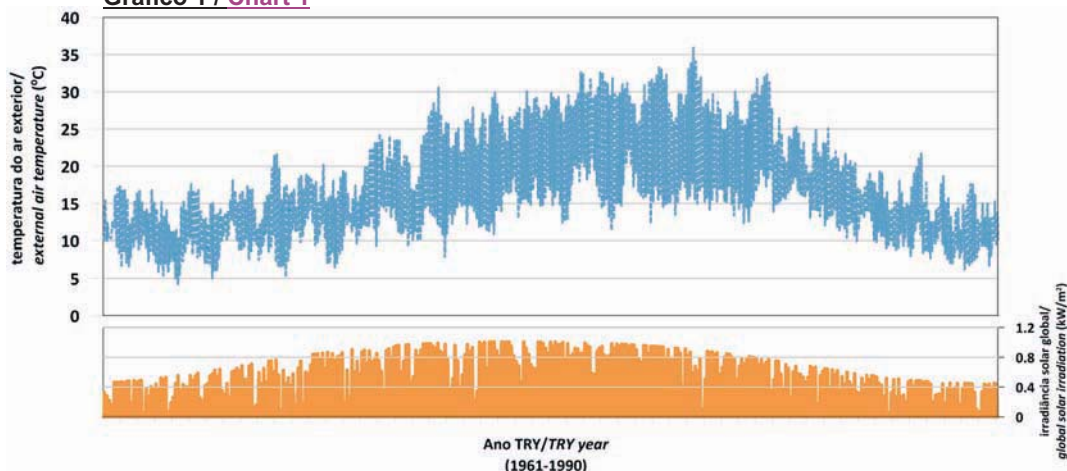
O recurso solar disponível foi caracterizado, para um ano meteorológico de referência (TRY) recorrendo a séries horárias gerados de dados climatológicos da irradiância global e da temperatura ambiente.

The solar resources available were characterized for a reference meteorological year (TRY) using hourly series of climatic data generated by solar irradiance and global temperature.

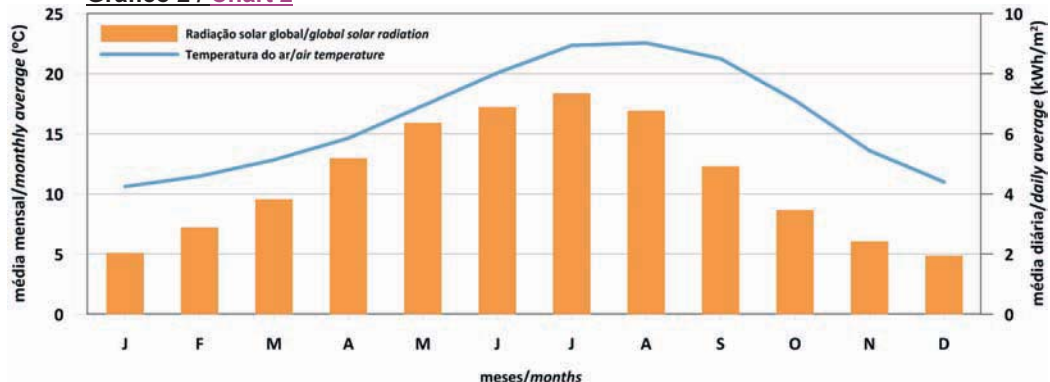
Os valores máximos da irradiância global ocorrem nos meses de Junho e Julho, o que coincide com o solstício de Verão, enquanto que os valores máximos da temperatura ambiente observam-se, em geral, no mês de Agosto.

The maximum values of global solar irradiance occur in June and July, which coincides with the summer solstice, while the maximum ambient temperature can be observed generally in August.

**Gráfico 1 / Chart 1**



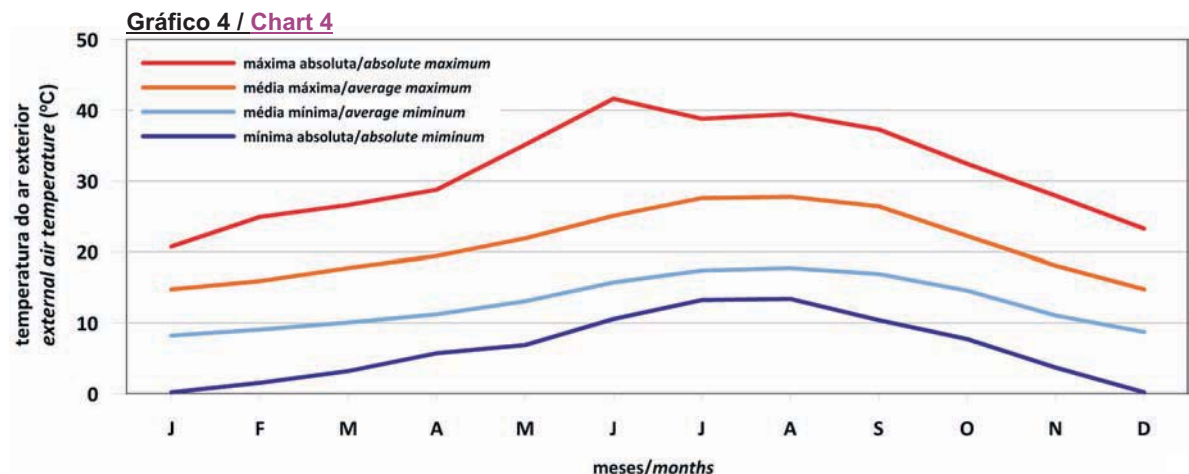
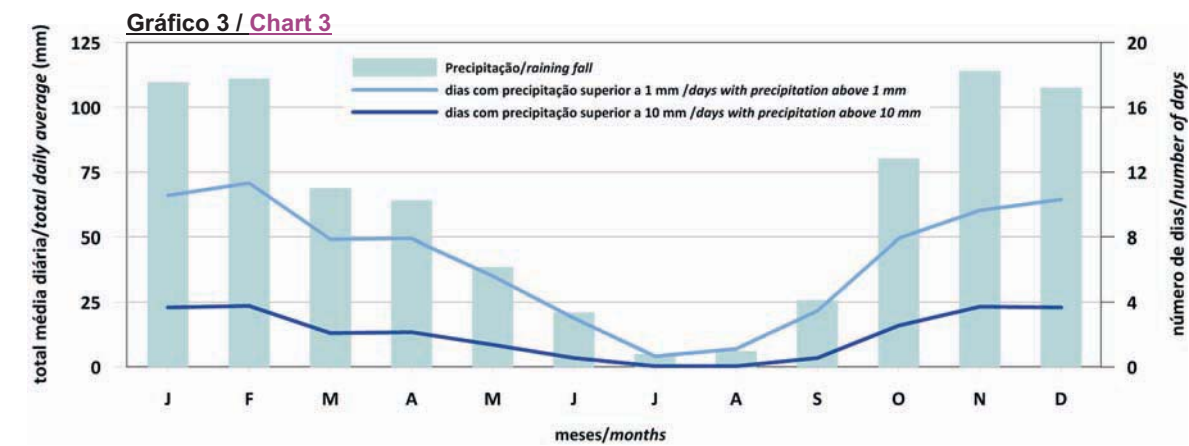
**Gráfico 2 / Chart 2**



(Gráfico 1) Valores horários da temperatura do ar exterior e irradiância solar global para um ano meteorológico típico. (Chart 1) Hourly values of outside air temperature and global solar irradiance for a typical meteorological year. (Gráfico 2) Valores médios mensais da temperatura do ar exterior e valores médios diários da radiação solar global nos meses de Janeiro a Dezembro. (Chart 2) Monthly mean values of the outside air temperature and average daily solar radiation in the months of January to December.

Nas figuras procura-se caracterizar os valores médios mensais em termos de intensidade média e número de dias com de precipitação, intensidade e direcção do vento, e número médio de horas de sol.

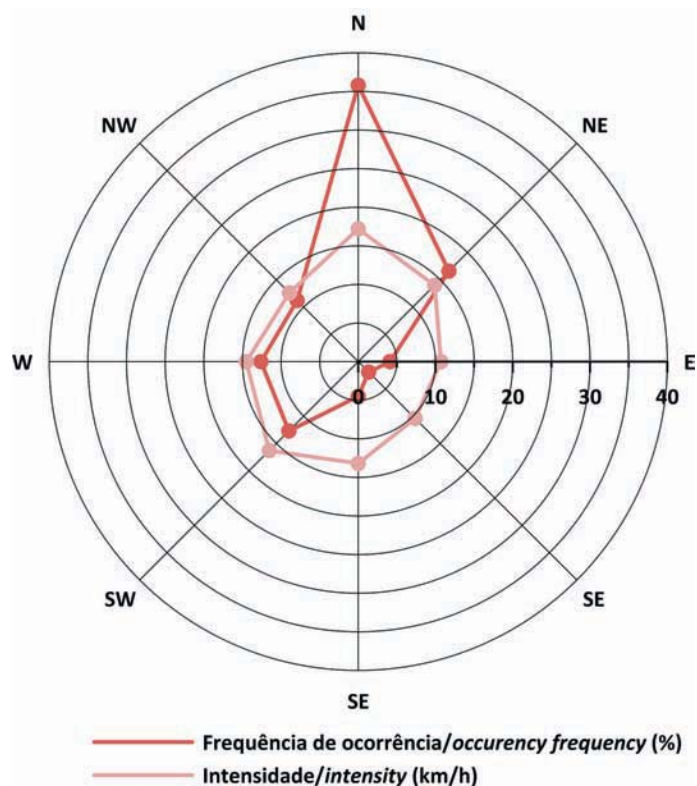
The values characterizing the mean monthly average precipitation in intensity and number of days, intensity and wind direction, and average number of sunshine hours are depicted in the figures.



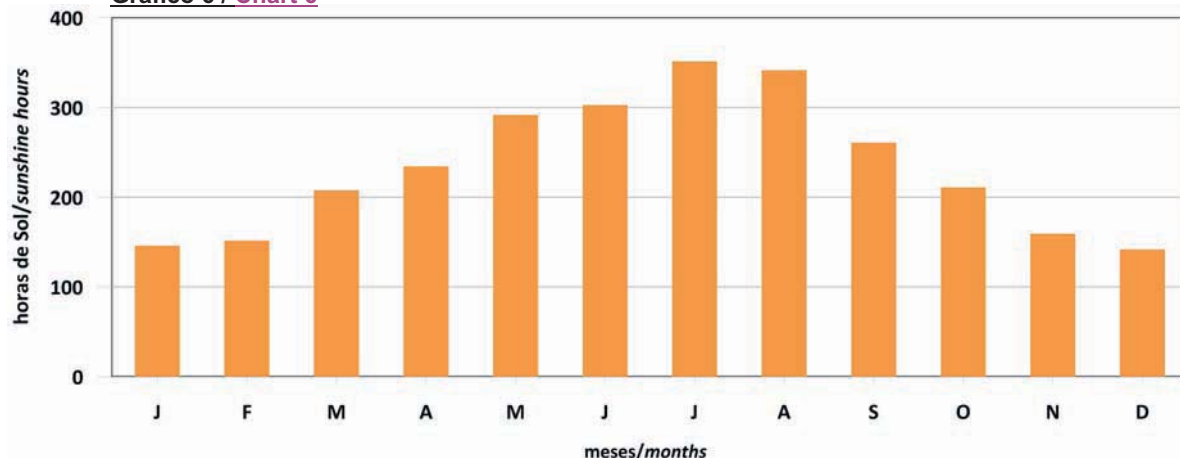
(Gráfico 3) Valor médio diário de precipitação e números de dias com precipitação nos meses de Janeiro a Dezembro. (Chart 3) Average daily rainfall and number of days with precipitation between January and December. (Gráfico 4) Valores mensais das temperaturas do ar exterior para os meses de Janeiro a Dezembro. (Chart 4) Averages of the outside air temperatures for the months of January to December.



**Gráfico 5 / Chart 5**



**Gráfico 6 / Chart 6**



(Gráfico 5) Intensidade e frequência de ocorrência do vento por orientação. (Chart 5) Wind intensity and frequency occurrence for each wind direction. (Gráfico 6) Número médio de horas de sol nos meses de Janeiro a Dezembro. (Chart 6) Average number of sunshine hours in the months of January to December.

## Caracterização térmica da envolvente / *Thermal characterization of envelope*

Em termos dos elementos opacos da envolvente optou-se por paredes simples de alvenaria de tijolo de 22 cm de espessura, isoladas pelo exterior com 6 cm de poliestireno expandido, o que corresponde a um coeficiente de transmissão térmica,  $U = 0,45 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

A laje de cobertura é maciça, isolada pelo exterior com uma espessura total de 10 cm de isolamento térmico (5 cm de poliestireno expandido + 5 cm de poliestireno extrudido) com um coeficiente transmissão térmica,  $U = 0,26 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

O pavimento em contacto com o solo é igualmente isolado com 10 cm de poliestireno expandido, já a solução do isolamento térmico aplicado pelo exterior permite corrigir as pontes térmicas planas conduzindo a valores de coeficiente de transmissão térmica de  $U = 0,55 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

A adopção de diferentes níveis de espessura de isolamento térmico (paredes, coberturas e pavimentos) minimiza as perdas térmicas do edifício durante o período de Inverno. O isolamento ao ser colocado pelo exterior aumenta a sua "eficiência" uma vez que, no período de Inverno, a "massa inercial" é mantida no interior do edifício conservando-o "mais quente" e, no Verão, constitui uma primeira barreira ao calor exterior.

Os vãos são constituídos por vidro duplo incolor com caixilho de alumínio de correr com  $U = 4,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , protegidos, na fachada principal orientada a Sul, por estores exteriores de lâminas reguláveis, o que conduz a factores solares de Verão de  $g_{\perp} = 0,09$ .

In terms of the opaque elements of the envelope, we chose single wall of masonry in bricks 22 cm thick, isolated from the outside with 6 cm of expanded polystyrene, which corresponds to a heat transfer coefficient of  $U = 0.45 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

The roof slab is massive, isolated from the outside with a total thickness of 10 cm of insulation (5 cm expanded polystyrene + 5 cm extruded polystyrene) with a heat transfer coefficient of  $U = 0.26 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

The floor in contact with the soil is also isolated with 10 cm of expanded polystyrene. The solution for the thermal insulation applied externally allows correcting the thermal bridges leading to values of heat transfer coefficient of  $U = 0.55 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

The adoption of different thicknesses for thermal insulation (walls, roofs and floors) minimizes heat losses from the building during the winter period. The insulation placed on the outside increases its "efficiency" since, in the winter period, the "inertial mass" is maintained inside the building retaining the "its heat", and, in summer, constituting a first barrier to external heat.

The windows are made of transparent double glazing with aluminum scrolling frame and a heat transfer coefficient of  $U = 4.5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , protected in the main façade facing south by external blinds with adjustable blades, leading to summer solar heat gain coefficient of  $g_{\perp} = 0.09$ .



(6) Envolvente, fases de construção. *Envelope, construction stages.* (7) Cobertura, colocação do revestimento exterior. *Roof, placing the outer coat.*

# ESTRATÉGIAS DE AQUECIMENTO

## HEATING STRATEGIES

Um edifício que respondesse positivamente às solicitações climáticas de Lisboa de modo a que as condições de conforto térmico no seu interior fossem satisfeitas durante todo o ano determinou, desde logo, a adopção de dois princípios básicos:

1. Optimizar a qualidade térmica da envolvente;
2. Potenciar a captação de ganhos solares.

O Edifício Solar XXI foi assim concebido numa lógica integradora de várias estratégias determinantes no seu comportamento térmico.

**Optimizar a qualidade térmica da envolvente**, através da adopção de isolamento térmico adequado das paredes, coberturas e pavimentos. O isolamento térmico diminui as perdas térmicas do edifício no período de Inverno. Ao ter sido sempre aplicado pelo exterior corrige as pontes térmicas mantendo a “massa inercial” do edifício no seu interior contribuindo assim para a amortização das variações exteriores da temperatura.

**Potenciar a captação de ganhos solares no Inverno.** A fachada Sul, com amplos vãos envidraçados que interagem directamente com os gabinetes de ocupação diurna permanente, consistiu a estratégia dominante no projecto do edifício, a qual determinou a sua implantação, dimensionamento e orientação das áreas de vãos envidraçados. Assim, o edifício apresenta uma fachada orientada exactamente a Sul, que constitui o principal elemento de captação de ganhos solares - sistema de ganho directo para aquecimento - sendo que as restantes fachadas apresentam áreas de vãos mais pequenas.

A building which responded positively to Lisbon climatic requirements, so that the thermal comfort conditions inside it is annually met, determined, from the first moment, the adoption of two basic principles:

1. Optimizing the envelope's thermal quality;
2. Increasing solar heat gains.

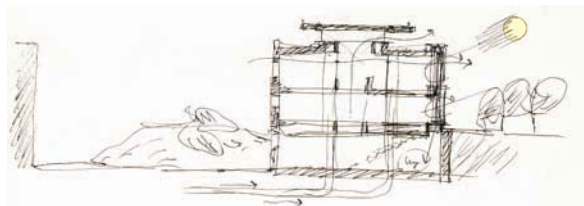
Solar XXI building was designed as an approach which integrates several strategies determinant for its thermal behavior.

**Optimize the thermal quality of the envelope**, by adopting appropriate thermal insulation of walls, roofs and floors. The thermal insulation reduces heat losses from the building during the winter, and its external application allows correcting thermal bridges, holding the inner building "inertial mass", thus contributing to the amortization of external temperature variations.

**Increase the solar heat gains in winter.** The south façade, with large windows that interact directly with office rooms with daytime permanent occupation, consisted in the dominant strategy for building design, which determined the location, size and orientation of glazing areas. Thus, the building features a façade oriented exactly to the south, which is the main component of solar heat gains - direct gain system for heating - while the remaining façade areas have smaller windows.



(8) Fachada Sul . South façade.



## Recuperação de calor / *Heat recovery*

**Recuperação de calor na face interior dos módulos fotovoltaicos.** A fachada Sul foi projectada com a integração de um sistema solar fotovoltaico com cerca de 100 m<sup>2</sup>, em harmonia com os vãos envidraçados, permitindo satisfazer parte da energia eléctrica necessária para operar o edifício. Este sistema foi ainda projectado para aproveitar o calor gerado na face interior dos módulos fotovoltaicos no período de Inverno e, assim, contribuir para o aquecimento do ar ambiente dos gabinetes e espaços contíguos.

Nos meses de meia estação o sistema poderá funcionar como um sistema de pré-aquecimento do ar novo, no qual se admite o ar do exterior por intermédio do registo exterior inferior, o qual depois de aquecido na conduta é insuflado directamente no interior da sala, por convecção natural através do registo localizado na parte superior interior.

**O sistema solar com colectores** colocados na cobertura do edifício e um sistema de armazenamento na cave, constitui o sistema auxiliar de aquecimento, assistido por uma caldeira a gás natural. Este sistema providencia total conforto térmico durante os períodos mais rigorosos do Inverno e, em particular, nas zonas a Norte do edifício. As temperaturas do ar no interior do edifício acompanham as flutuações das condições exteriores de radiação, o que se deve à elevada área de captação solar na fachada Sul.

**Heat recovery on the inside face of photovoltaic modules.** The southern façade was designed with the integration of a solar photovoltaic system of about 100 m<sup>2</sup>, in line with windows, allowing to meet the electricity demands needed to operate the building. This system was also designed to harness the heat generated inside of photovoltaic modules for winter heating demands, contributing to warm the air of offices and contiguous spaces.

In the mid-season months, the system can function as a fresh air pre-heating system in which air is admitted from outside through the outer lower entrance, which heats thereafter in the pipe before being inflated directly inside the room by natural convection through the entrance located in the upper interior part.

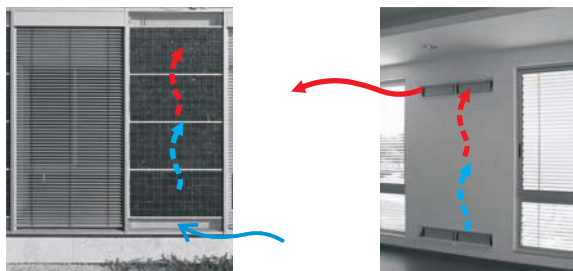
**The solar collector system** placed on the roof of the building, and a storage system in the basement, constitutes the auxiliary heating system assisted by a natural gas boiler. This system provides thermal comfort during the most rigorous winter and, particularly in the northern areas of the building. Air temperatures inside the building follow the changing conditions of external radiation, which is due to the high capturing area of sunlight on the south façade.



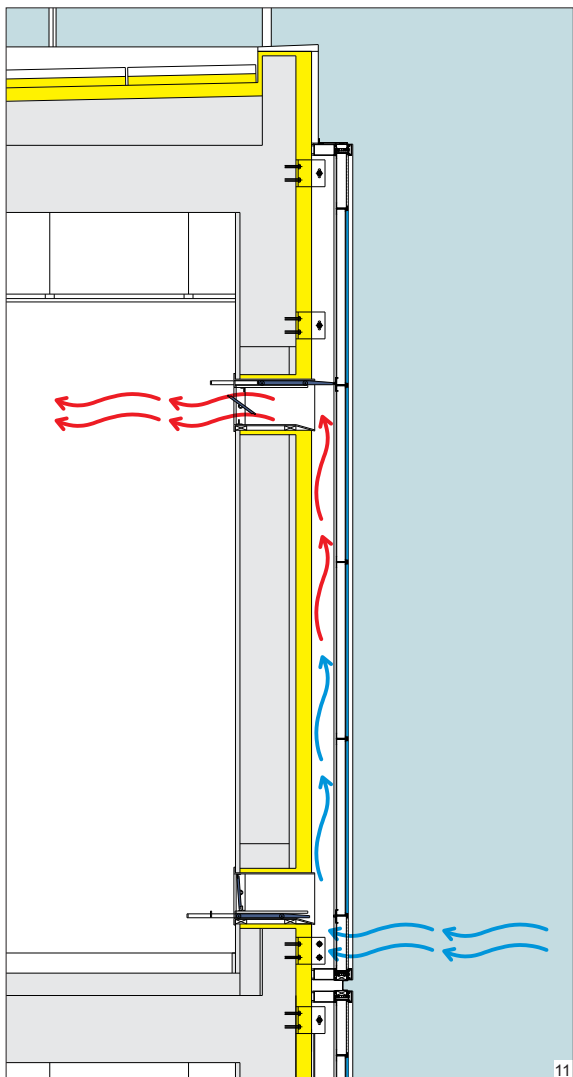
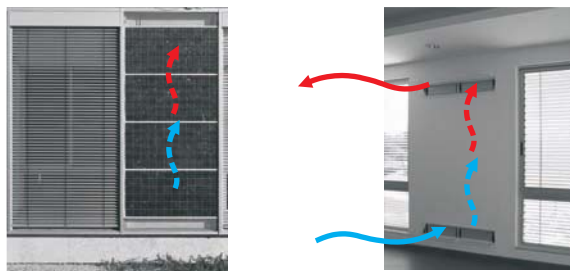
(9) Sistema da Fachada Sul. *System at the south façade.* (10) Aspecto interior do sistema . *Inside look of the system.*



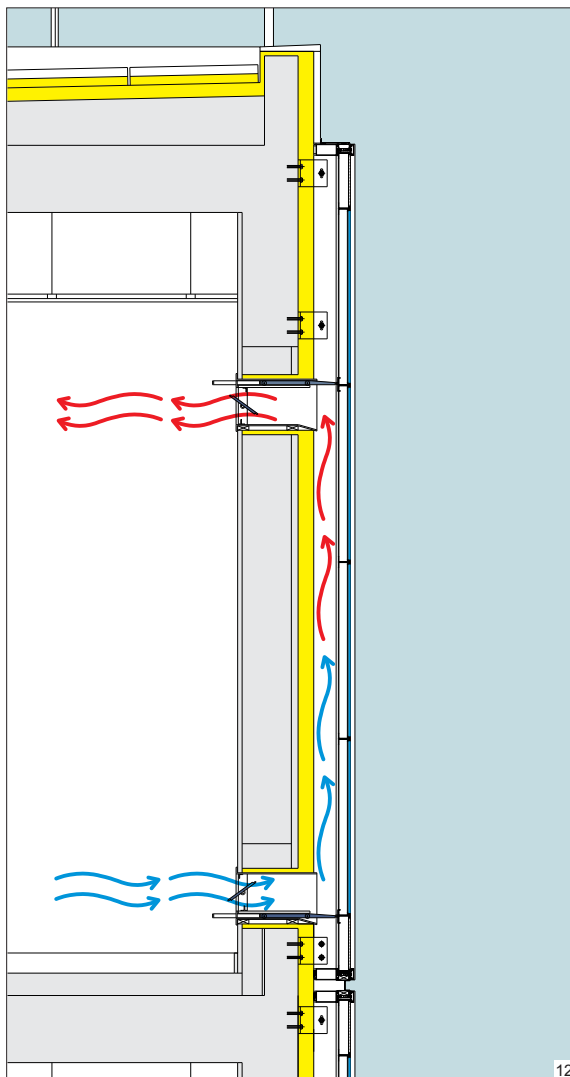
Primavera / *Spring*



Inverno / *Winter*



11



12

(11) Esquema de funcionamento do sistema fotovoltaico com aproveitamento térmico na Primavera . Operating scheme of photovoltaic system with thermal recovery in the spring. (12) Esquema de funcionamento do sistema fotovoltaico com aproveitamento térmico no Inverno . Operating scheme of photovoltaic system with thermal recovery in winter.





# ESTRATÉGIAS DE ARREFECIMENTO

## COOLING STRATEGIES

### *Sombreamento dos vãos / Windows shading*

O período de Verão em Lisboa é caracterizado por uma elevada intensidade da radiação solar o que, quando associado a elevados valores da temperatura do ar exterior, pode dar origem a situações de sobreaquecimento nos edifícios.

O Edifício Solar XXI utiliza um conjunto de medidas e estratégias que, no seu conjunto, constituem o “sistema de arrefecimento natural do edifício” no período de Verão. Estas estratégias, conjugam o efeito da obstrução aos ganhos solares - quer na envolvente opaca, onde o isolamento pelo exterior tem um papel importante, quer nos vãos envidraçados através dos estores exteriores reguláveis.

**Dispositivos de sombreamento exteriores na fachada Sul.** Os amplos vãos são protegidos com estores de lâminas exteriores reguláveis pelo utilizador. Estes estores são elementos fundamentais na estratégia energética do edifício permitindo ao utilizador, por serem reguláveis e orientáveis, adequar a entrada de radiação solar e de luz no o seu espaço de trabalho. Ao serem aplicados pelo exterior, constituem uma medida fundamental para o período de Verão, uma vez que minimizam a incidência solar directa nos vãos e, portanto, do aquecimento do ar no interior do edifício.

The summer period in Lisbon is characterized by a high intensity of solar radiation which, coupled with high values of the outside air temperature, can lead to the building's overheating.

Solar XXI building uses a set of measures and strategies that, taken together constitute the "system of natural cooling of the building" during the summer. These strategies combine the effect of obstructing solar gains, whether on the opaque envelope, where the external insulation has an important role, or in windows through external adjustable blinds.

**External shading devices on the south façade.** The large windows are protected with external blade blinds adjustable by the user. These blinds are key elements in the building's energy strategy and, since they are adjustable and oriented, allow the user to adjust the entry of solar radiation and sunlight in his working space. When applied externally, blinds become a key measure for the summer period, since they minimize the incidence of direct sunlight through the windows and thus the air heating inside the building.



(13) Fachada Sul durante a obra. *South façade during construction.*

## Arrefecimento passivo pelo solo / *Ground passive cooling*

**Sistema de arrefecimento passivo por tubos enterrados.** O arrefecimento é proporcionado pela entrada de ar no edifício através de tubos enterrados recorrendo ao importante potencial de frio do solo (fonte fria) para arrefecer o ar exterior que será insuflado no interior do edifício. Para tal, foram colocados 32 tubos de manilhas de cimento - com um diâmetro de 30 cm e enterrados a 4,6 m de profundidade - que constituem o "permutador de calor" para a "transferência de calor" do ar com a fonte fria (terra) e assim arrefecer o ar que irá ser insuflado no edifício por convecção natural ou forçada utilizando pequenos ventiladores. De referir que a escolha de manilhas baseia-se no facto de essas serem de um material de grande condutibilidade térmica o que potencia as "trocas" de calor. A entrada de ar é feita a partir de um poço de alimentação construído a cerca de 15 m de distância do edifício.

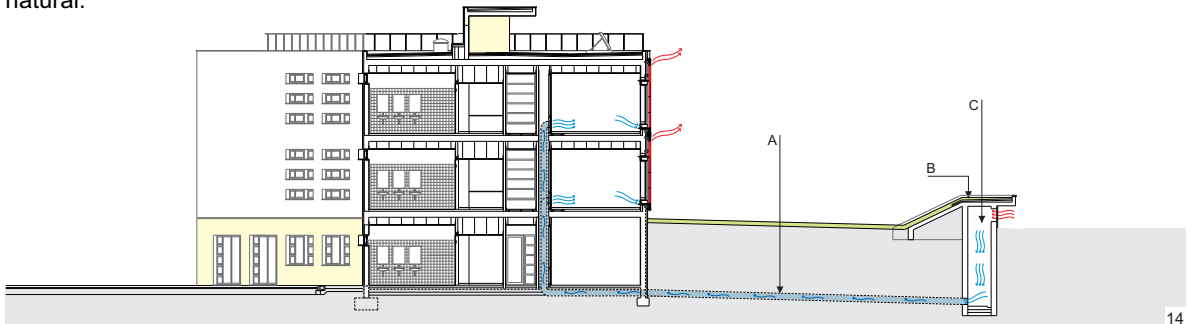
Estes tubos acedem ao edifício pelo piso semi-enterrado, em tubagem plástica (PVC), uma vez que nesta fase já não há necessidade de promover as trocas de calor, ascendendo pelas coretes centrais do edifício (tubagem metálica), sendo a distribuição do ar efectuada directamente e individualmente nas salas dos pisos térreo e superior, e em que cada sala recebe dois tubos, que o utilizador pode controlar em termos de abertura/fecho. A gestão funcional do sistema depende do comportamento global do edifício em termos térmicos bem como do comportamento dos utilizadores.

O sistema funciona com maior eficiência, se for promovida a insuflação de ar pelos tubos a partir do meio da tarde, altura em que se requer ar frio para compensar o aumento da temperatura do ar interior. O utilizador deverá ter sempre em atenção que este "sistema" não é um "sistema de ar condicionado" que fica ligado todo o dia. O sistema de arrefecimento pelo solo é complementado com estratégias de ventilação natural.

**Passive cooling system using buried pipes.** Cooling is provided by the air entering the building through buried pipes using the important cooling potential in the soil (cold source) to cool the outside air which will be insuflated inside the building. To this end, 32 tubes were placed in cement pipes - with a diameter of 30 cm and buried 4,6 m deep - constituting the "heat exchanger" for exchanging energy between air and the cold source (soil), and thus cool the air insuflated into the building by natural convection or forced convection using small fans. It should be noted that pipes were chosen based on the material's high thermal conductivity to enhance heat exchanges. The air entrance is made from a feeding well about 15 m away from the building.

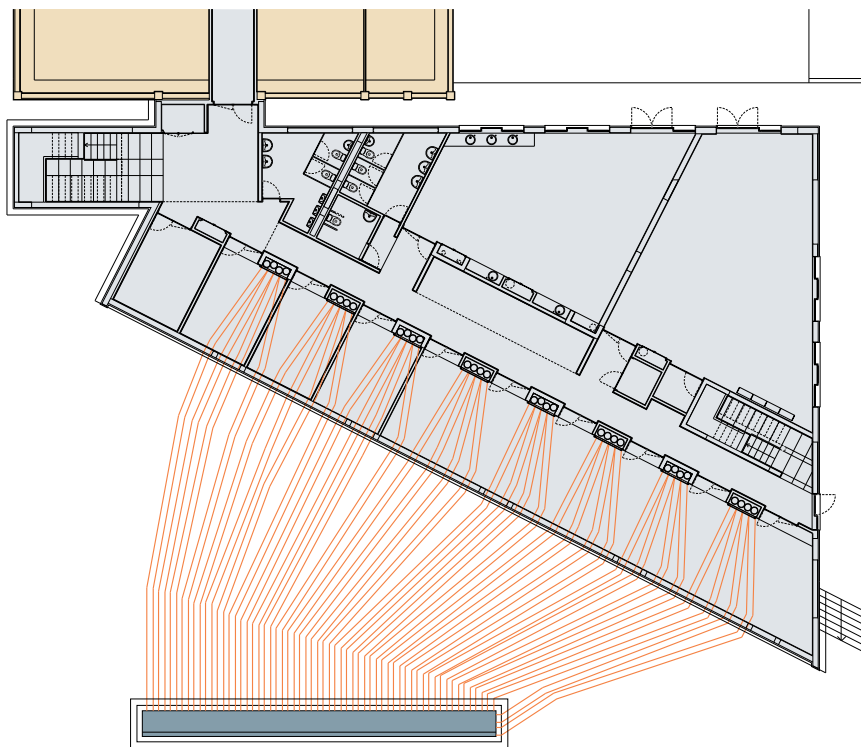
These PVC pipes enter the building by the semi-buried floor, since at this stage there is no need to promote the exchange of heat, going through central building ducts (metal pipe), and directly distributing air, individually in the rooms of the ground and upper floors, namely, each room receives two tubes, which the user can control in terms of opening/closing. The functional management of the system depends on the building global performance in terms of heat and the behavior of users.

It operates with greater efficiency by promoting the insuflation of air through the pipes from the middle of the afternoon onwards, when cold air is required to compensate the increase of indoor air temperature. It should always be kept in mind that this "system" is not an "air-conditioning system", which is connected throughout the day. The soil cooling system is complemented by natural ventilation strategies.



14

(14) Sistema de arrefecimento do ar através de tubos enterrados. a) Tubos de manilhas de cimento; b) Cobertura vegetal; c) Poço de admissão de ar. Cooling air system through buried pipes. a) Cement pipes b) Green covering; c) Intake air well.



15



16



17

(15) Traçado da tubagem entre o poço de admissão de ar e o interior do edifício. Scheme of the pipeline from the air inlet well and the interior of the building. (16) (17) Processo construtivo. Constructive process.



## Ventilação natural / *Natural ventilation*



18



19

**Ventilação natural.** Face ao nosso clima, com amplitudes térmicas significativas no Verão, e à tipologia de edifício, em que predomina uma ocupação diurna, a ventilação natural pode ser implementada no Inverno e muito particularmente no Verão, através de aberturas nas diferentes fachadas de forma a permitir uma ventilação transversal (norte-sul ou sul-norte) e dessa forma “varrer” cada sala individualmente ou o edifício como um todo. Este sistema foi pensado como solução complementar a uma estratégia global para o período de Verão e permite a gestão individual da sua sala ou gabinete em termos de ventilação transversal, permitindo o arrefecimento do ar insuflado no edifício. Esta situação é possível pela existência de registos reguláveis em bandeiras existentes sobre todas as portas, que ligam as salas ao corredor e ao poço central, que por sua vez permite uma ventilação ascendente por efeito de chaminé, existindo, para tal, no topo do poço aberturas motorizadas.

Esta situação de ventilação ascendente ocorre também na escada de distribuição do edifício, a poente, que tem, para o efeito, na parte inferior e superior aberturas que permitem essa circulação do ar. A nascente existe também uma clarabóia de “desenfumagem” motorizada que contribui para proporcionar um efeito análogo.

O conjunto de estratégias de ventilação (diurna e nocturna) determina o nível de cargas térmicas no interior do edifício e respectiva temperatura, sendo fundamental para o arrefecimento do edifício durante o período nocturno no Verão. As temperaturas exteriores à noite no Verão constituem uma importante “fonte fria” para o arrefecimento do edifício.

**Natural ventilation.** Given our climate with significant temperature variations in the summer, and the type of building which dominates a daytime occupation, natural ventilation can be implemented in the winter, and particularly in the summer, through openings in the various façades allowing a transverse ventilation (north-south or south-north), in order to renew the air in each individual room or in the building as a whole. This system was designed as a complementary solution to the overall strategy for summer and allows the individual management of the meeting or office rooms in terms of cross ventilation, where cooling air is insuflated into the building.

This is possible because of adjustable entrances in existing vents on all doors connecting the rooms to the corridor and the central well, which, in turn, allows for an upward ventilation by the chimney effect and, to that end, the well's top openings have motorized vents.

This case of ascending ventilation also occurs in the staircase distribution of the building layout to the west, that is, at the bottom and top openings that allow air circulation. In the east area there is also a skylight of motorized “smoke removal” which helps providing a similar effect.

The set of ventilation strategies (day and night) determine the level of thermal loads within the building and its temperature, and it is essential to cool the building during the night in the summer evening. The external temperature in summer nights is an important “cold source” to cool the building.



20

(18) Aspecto exterior do poço de admissão de ar com grelha contínua. *Outer look of the inlet well of air with a continuous grid.* (19) Vãos exteriores para ventilação do poço central. *Exterior windows for ventilating the central well.* (20) Abertura inferior das escadas a poente. *Lower stair opening at West.*



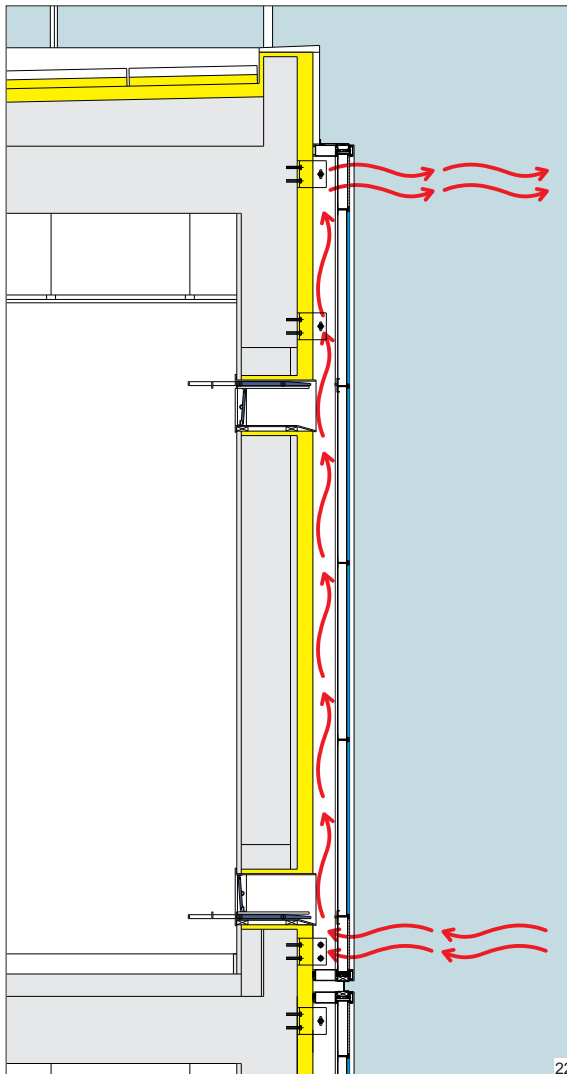
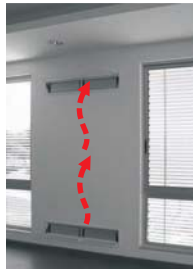
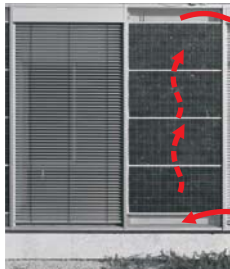
**Ventilação da fachada fotovoltaica.** Durante o período de Verão é importante extrair o calor produzido nos módulos fotovoltaicos. Assim, a situação funcional mais generalizada é a extracção de calor dos módulos utilizando os dois registos que comunicam directamente com o exterior na parte inferior e superior dos módulos da parte externa. Nesta situação os registos interiores mantêm-se totalmente fechados. Outra situação possível em termos funcionais é o do aproveitamento do efeito de chaminé na conduta para evacuação do ar quente do interior da sala e consequente entrada de ar mais frio para a sala proveniente do lado norte do edifício através, de registos existentes sobre as portas de cada sala.

**Photovoltaic façade ventilation.** During summer it is important to extract the heat produced in the photovoltaic modules. Therefore, the most generalized functional situation is the extraction of heat from the modules to the environment using the two entrances that communicate directly with the outside in the top and bottom parts of the modules on the exterior side. In this situation, the internal vents remain fully closed. Another possible situation is in terms of functional use of the chimney effect in the evacuation conduct of hot air from inside the room, and the consequent entry of cooler air into the room from the north side of the building across the existing vents on the doors in each room.



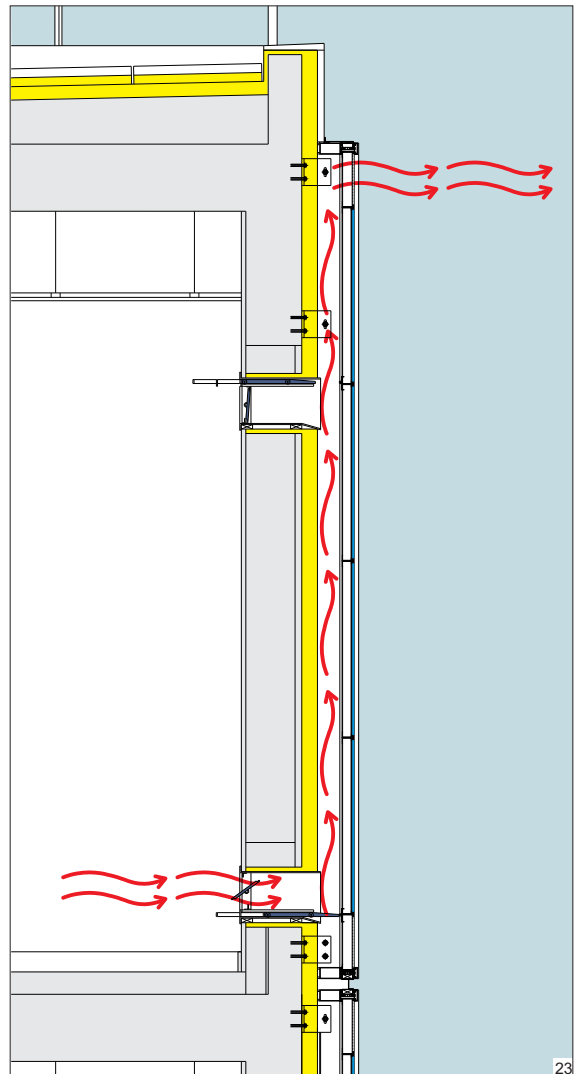
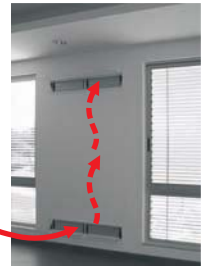
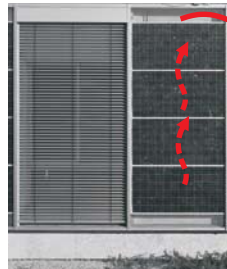
(21) Sala orientada a Sul, onde se pode observar os registos sobre o vão e as aberturas comunicantes com o espaço exterior dos módulos fotovoltaicos. Room south oriented where vents over the windows and openings communicating with the exterior space of photovoltaic modules is observed.

Verão / Summer



22

Verão / Summer



23

(22)(23) Esquema de funcionamento do sistema fotovoltaico com aproveitamento térmico no Verão . Operating scheme of the photovoltaic system with thermal recovery in summer.

# ILUMINAÇÃO NATURAL

## NATURAL LIGHTING

As aberturas e vãos projectados para este edifício determinam a existência de um excelente nível de iluminação natural. Efectivamente todas as salas a Sul têm grandes áreas envidraçadas e as portas de comunicação com o corredor têm bandeiras translúcidas que permitem um contacto com a zona central do edifício.

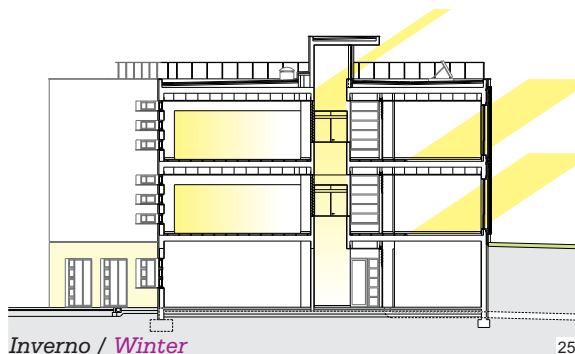
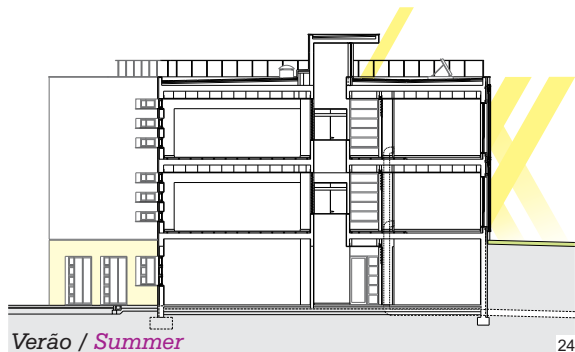
O poço de luz central com clarabóias no topo e que “percorre” verticalmente toda a zona central do edifício é um dos elementos principais desta estratégia de iluminação natural. As salas a norte também comunicam com a zona central, recorrendo a superfícies translúcidas, com bandeiras sobre as portas e vãos interiores.

Em termos luminicos, para as salas a norte-nascente, foi construída uma parede cega exterior ao edifício, que constitui um elemento reflector proporcionando um excelente nível de iluminação nestas salas.

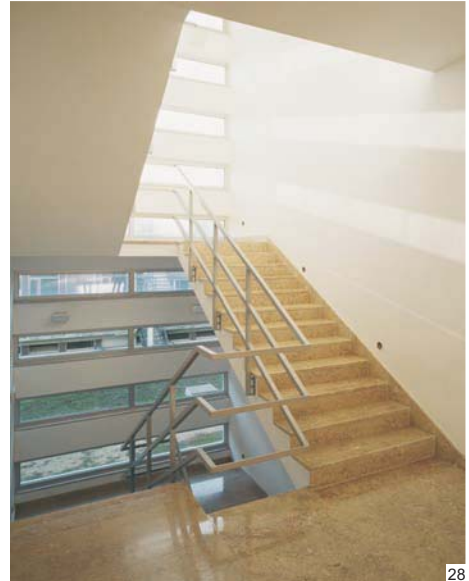
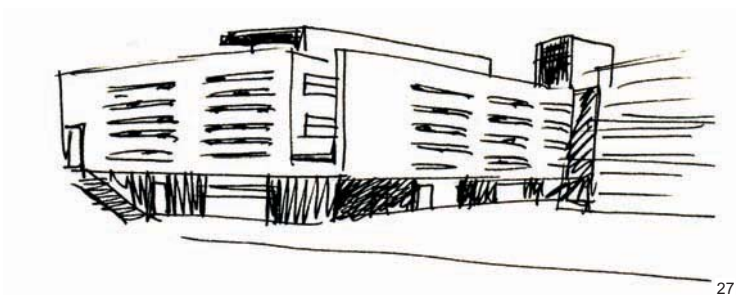
Openings and windows planned for this building determine the presence of an excellent level of natural lighting. In fact all the rooms to the south have large glazing areas and communication doors with the corridor which have translucent vents allowing the contact with the building central area.

The central light well with skylights at the top operates vertically across the building central area and is a major element of this natural light strategy. The northern rooms also communicate with the central area, using translucent surfaces, with vents on the doorways and internal windows.

In luminous terms, for the north-east rooms a blind wall outside the building was built as a reflector element providing an excellent level of lighting in these rooms.



(24) Esquema de iluminação natural no Verão. *Scheme of natural lighting in summer.* (25) Esquema de iluminação natural no Inverno. *Scheme of natural lighting in winter*  
(26) Aspecto da iluminação natural no poço central. *Appearance of natural lighting into the central well.*



(27) Esquízo superior - Alçados Sul/Poente, onde se pode observar bloco de escadas principal; Esquízo Inferior - Alçados Norte/Nascente onde se pode observar a parede cega. Upper sketches - South/West Elevation, where the main block of stairs can be seen; downward sketches - North/East Elevation where the blind wall can be seen. (28) Aspecto da iluminação natural no bloco de escadas principal. Appearance of natural lighting in the main block of stairs. (29) Aspecto da iluminação natural indirecta das salas Norte/Nascente. Appearance of indirect natural lighting of North/East rooms.



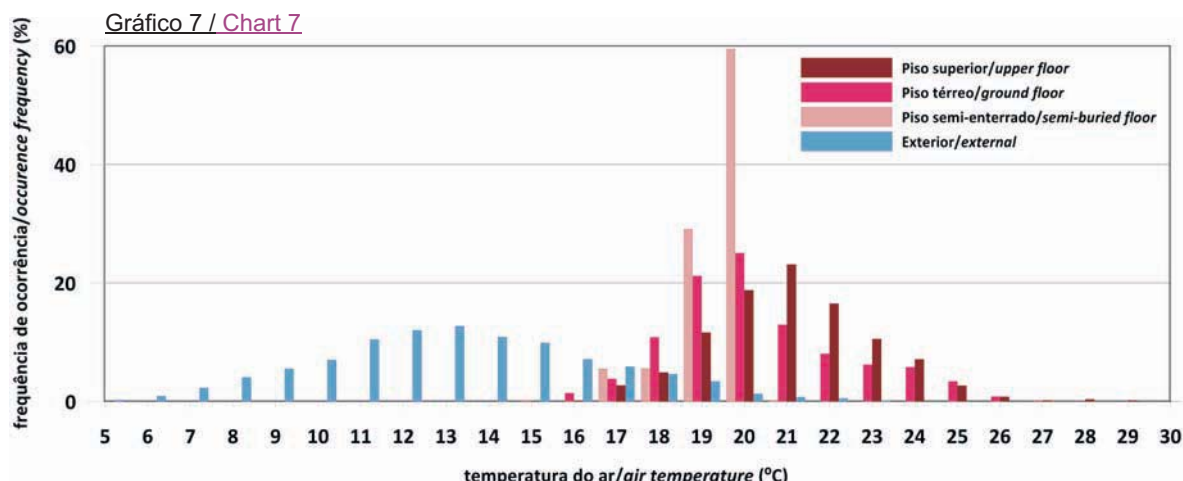
# MONITORIZAÇÃO DO EDIFÍCIO

## BUILDING MONITORING

Inverno / Winter

A monitorização do edifício inicia-se em 2006 quando da inauguração e ocupação do edifício (19 de Janeiro de 2006). Importa salientar o comportamento térmico global do edifício, particularmente no período de Inverno e de Verão, bem como dos principais sistemas em estudo, o sistema de arrefecimento pelo solo e o sistema de recuperação de calor dos módulos fotovoltaicos.

The building monitoring started in 2006 when it was inaugurated and occupied (January, 19<sup>th</sup>). The overall building thermal behavior is noteworthy, particularly during winter and summer, as well as the main systems currently studied, namely, buried cooling system and solar modules heat recovering system.

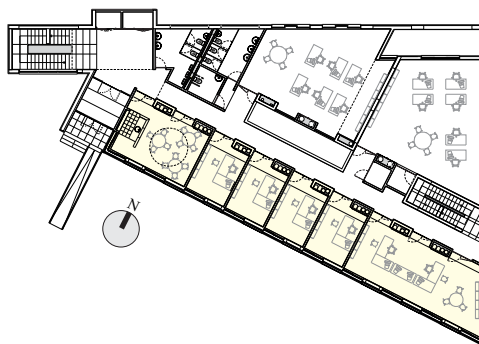


No Inverno de 2007/2008 e 2008/2009 (Dez, Jan e Fev) a temperatura do ar nos gabinetes localizados a Sul, quer no piso térreo quer no piso superior, encontra-se dentro dos requisitos aceitáveis de conforto térmico. De facto, a frequência de ocorrência de valores de temperatura do ar inferiores a 18 °C, durante as 24 horas do dia, incluindo o período nocturno em que o edifício não se encontra ocupado, é inferior a 5%.

In the winter periods of 2007/2008 and 2008/2009 (Dec, Jan and Feb), the air temperature in the offices oriented at south, ground and upper floors, has been found within acceptable thermal comfort requirements. In fact, the frequency of occurrence of air temperature values below 18 °C, throughout the 24 daily hours, including the nocturnal period where the building is unoccupied, is below 5%.



30



31

(30) Colectores solares na cobertura. Solar collectors at rooftop. (31) Gabinetes orientados a Sul. South oriented offices. (Gráfico 7) Distribuição das temperaturas do ar em termos de frequência de ocorrência para os períodos monitorizados. (Chart 7) Air temperature distribution in terms of the frequency of occurrence for the periods monitored.

Gráfico 8 / Chart 8

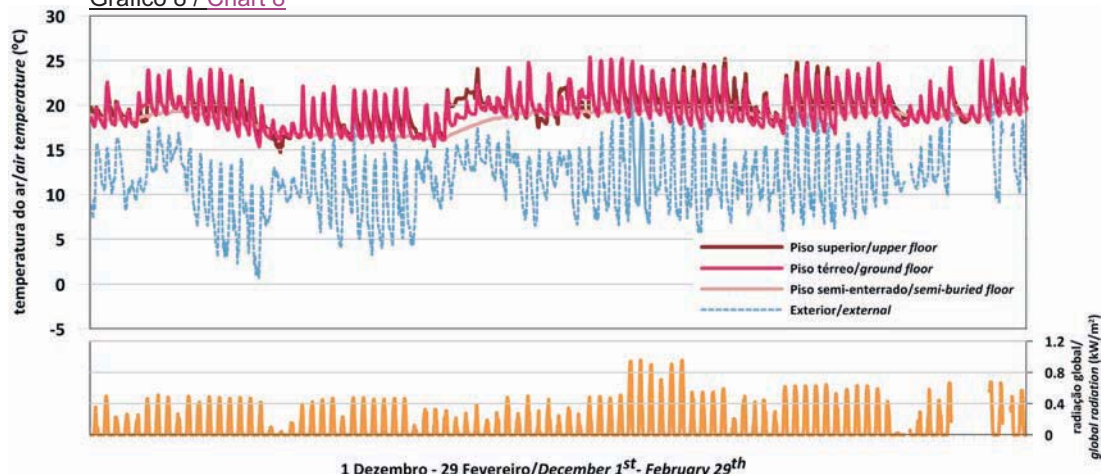
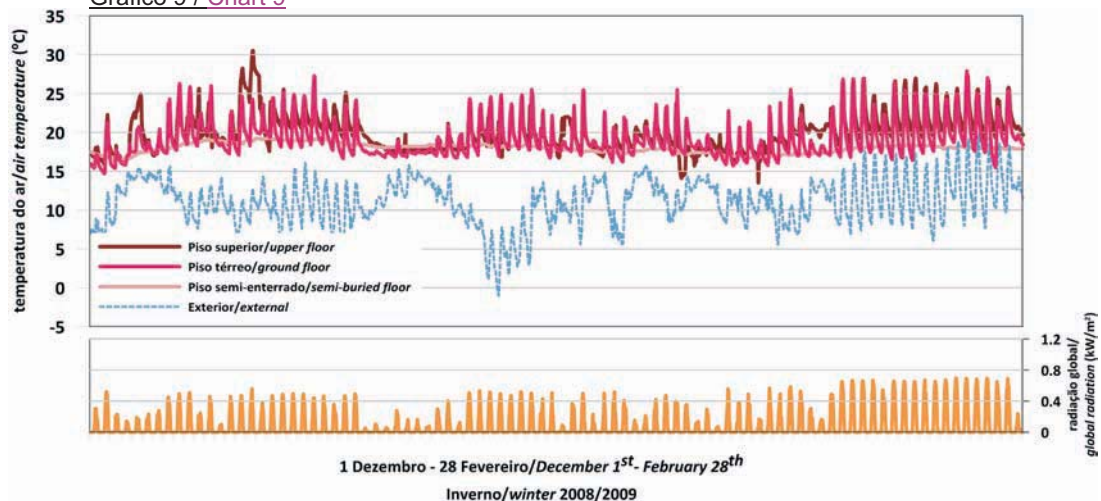


Gráfico 9 / Chart 9



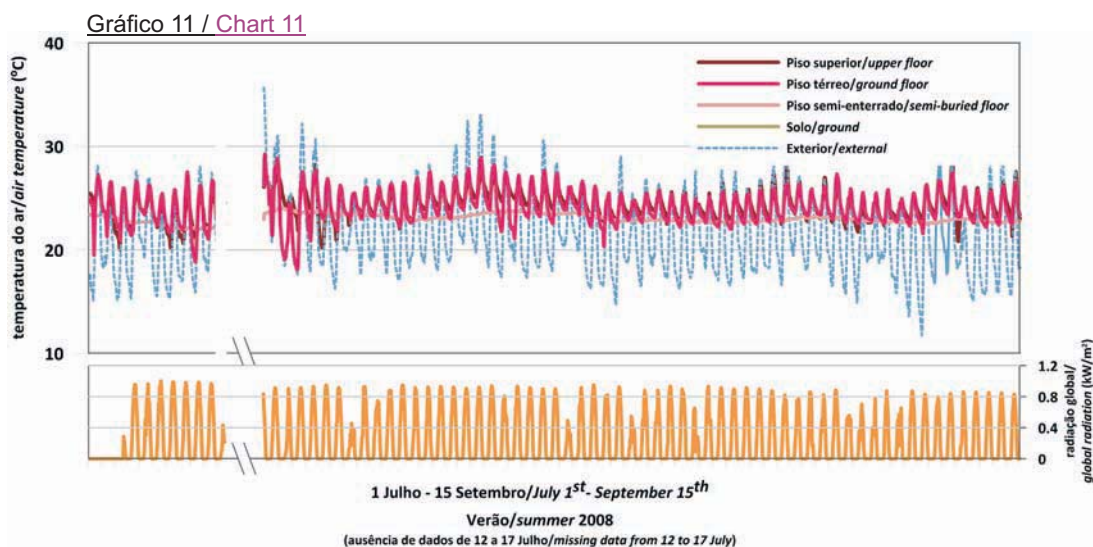
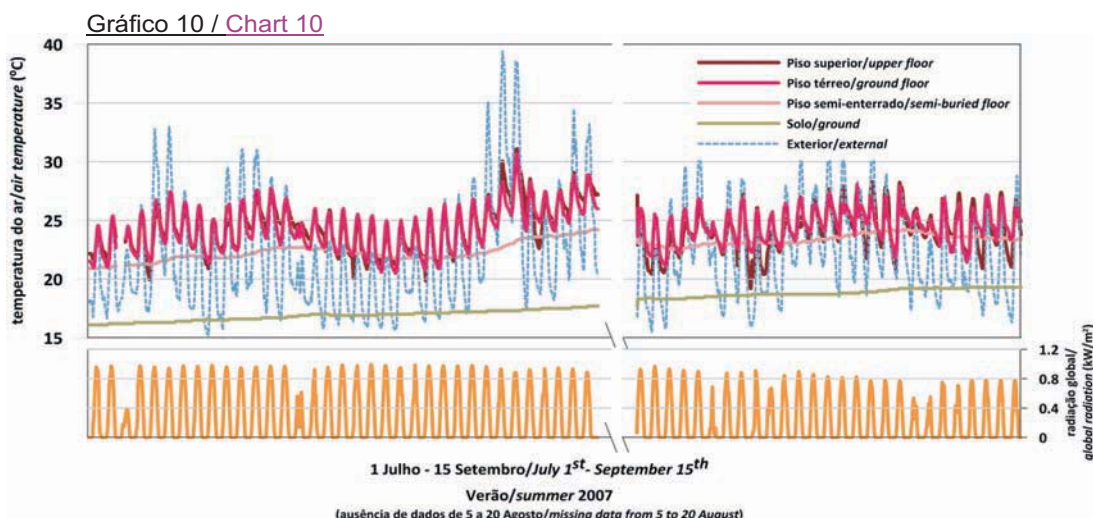
A temperatura do ar no interior do edifício, nos pisos térreo e superior, acompanha as flutuações das condições exteriores de radiação, o que se deve à elevada área de captação solar directa dos espaços com exposição a Sul. Os dias de fraca insolação são, pois, os períodos com maiores exigências em termos de energia auxiliar para aquecimento. O sistema solar com colectores, localizado na cobertura do edifício, com o apoio de uma caldeira a gás natural, providencia total conforto térmico durante os períodos mais rigorosos de Inverno, em particular nos espaços localizados na zona norte do edifício.

Indoor air temperature, in ground and upper floors, follows the radiation fluctuations in outdoor environment conditions due to the large area for capturing direct solar radiation in the exposed spaces at south. The periods with the greatest demands in terms of auxiliary energy for cooling are weak insulation days. The collectors solar system located at the building's rooftop provide the entire thermal comfort during the rigorous winter periods with the support of a natural gas boiler, particularly in spaces located in the northern part of the building.

(Gráfico 8) Comportamento térmico do edifício no Inverno de 2007/2008. (Chart 8) Building thermal performance during winter of 2007/2008. (Gráfico 9) Comportamento térmico do edifício no Inverno de 2008/2009. (Chart 9) Building thermal performance during winter of 2008/2009.

O período de Verão em Lisboa é caracterizado por uma elevada intensidade da radiação solar o que, quando acompanhado por valores elevados da temperatura do ar exterior, pode dar origem a situações de sobreaquecimento nos edifícios. No entanto, a temperatura no interior do Edifício Solar XXI, que não dispõe de qualquer sistema de ar condicionado, mantém-se inferior a 27 °C em 95% do período observado (Verão de 2007).

The summer period in Lisbon is characterized by a high intensity of solar radiation, which can lead to overheating situations in buildings when accompanied by high values of the outside air temperature. However, the temperature inside the Solar XXI building, which has no air-conditioning system, remains below 27 °C in 95% during the observation period (summer 2007).



(Gráfico 10) Comportamento térmico do edifício no Verão de 2007. (Chart 10) Building thermal performance in the summer of 2007. (Gráfico 11) Comportamento térmico do edifício no Verão de 2008. (Chart 11) Building thermal performance in the summer of 2008.

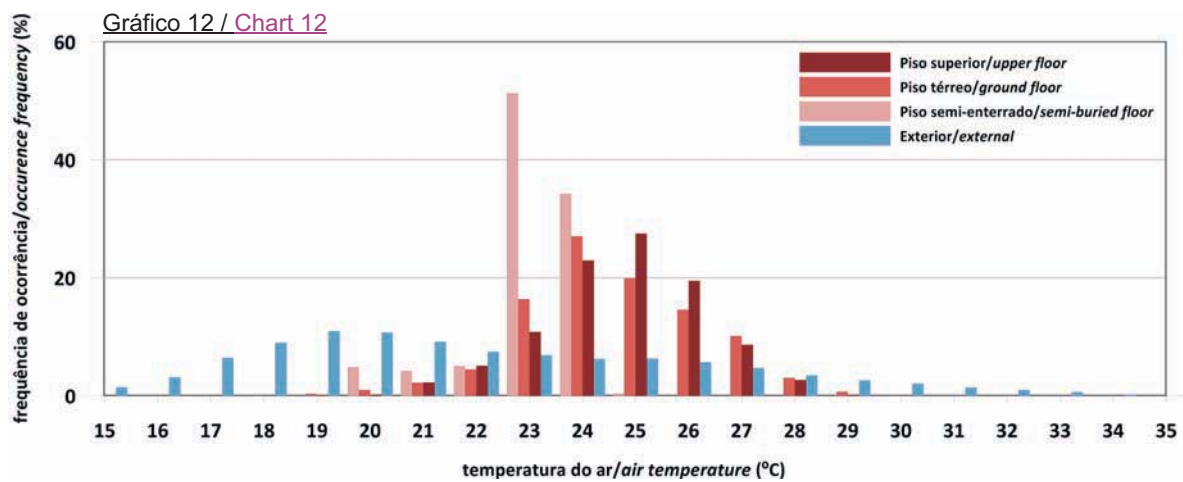




32

Este tipo de comportamento é sobretudo devido a um controlo eficaz da entrada de ganhos solares directos, pela utilização dos dispositivos de sombreamento móveis, à própria inércia do edifício bem como às estratégias de ventilação do edifício.

Such behavior is mainly due to an effective control of the entry of direct solar gains, the use of movable shading devices, the building thermal inertia, as well as strategies for ventilating the building.



(32) Entrada principal do edifício. Main entrance of the building. (Gráfico 12) Distribuição das temperaturas do ar em termos de frequência de ocorrência para os períodos monitorizados. (Chart 12) Air temperature distribution in terms of the frequency of occurrence for the periods monitored.



Temperaturas médias do ar / Average air temperatures (\*)

2006												
meses/months	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
	0-24h											
méd/ave		18.7	18.5	20.3	22.4	23.6	25.1	25.4	24.3	23.1	21.4	19.4
máx/max		27.8	26.5	26.5	27.8	27.4	30.1	31.0	29.6	28.2	27.0	26.1
min/min		14.0	14.7	16.5	18.0	19.8	21.1	21.2	18.3	20.5	18.0	13.6
	9-20h											
méd/ave		20.8	19.9	21.7	23.7	24.7	26.3	26.8	25.7	24.1	22.5	20.8
máx/max		27.8	26.5	26.5	27.8	27.4	30.1	31.0	29.6	28.2	27.0	26.1
min/min		14.5	15.8	16.5	19.5	21.8	22.1	21.9	20.4	20.5	19.0	16.0

2007												
meses/months	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
	0-24h											
méd/ave	19.6	19.7	20.5	20.4	21.8	22.5	24.1	24.7	24.2	22.9	20.3	18.7
máx/max	26.0	25.4	26.5	25.6	26.5	26.7	30.7	28.9	28.3	26.7	24.3	24.1
min/min	16.1	16.8	17.3	15.8	18.2	19.7	20.5	21.1	20.1	17.5	16.9	15.4
	9-20h											
méd/ave	21.1	21.0	21.9	21.8	22.7	23.4	25.3	25.6	25.4	24.1	21.6	19.9
máx/max	26.0	25.4	26.5	25.6	26.5	26.7	30.7	28.9	28.3	26.7	24.3	24.1
min/min	17.0	17.9	18.2	16.9	19.9	20.8	21.5	22.0	20.9	18.7	18.0	15.7

2008												
meses/months	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
	0-24h											
méd/ave	19.9	19.8	20.4	20.4	20.8	23.9	24.0	24.3	24.1	22.7	20.1	19.2
máx/max	25.3	25.0	25.4	25.7	24.8	28.6	29.2	29.0	27.5	26.8	25.2	27.3
min/min	15.6	16.8	16.8	17.4	18.6	19.6	18.1	20.4	21.2	19.3	15.7	14.7
	9-20h											
méd/ave	21.2	21.0	21.9	21.6	21.8	25.0	25.3	25.3	25.1	23.9	21.6	20.4
máx/max	25.3	25.0	25.4	25.7	24.8	28.6	29.2	29.0	27.5	26.8	25.2	27.3
min/min	16.1	17.7	17.8	17.9	19.3	20.5	19.6	22.3	22.1	19.5	16.5	15.7

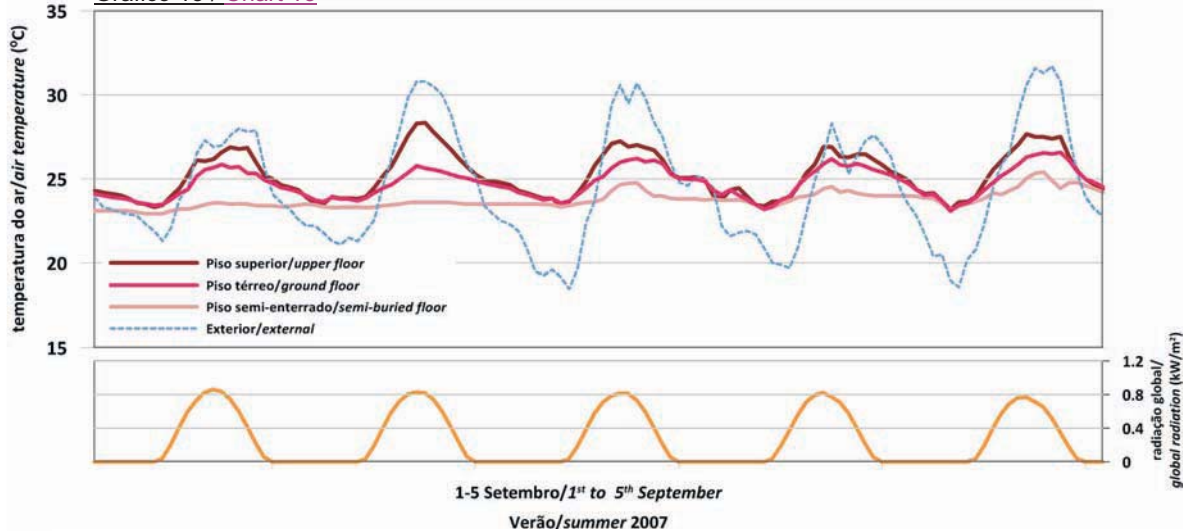
(\*) Temperaturas médias do ar num gabinete do piso térreo para os períodos indicados. Average air temperatures of an office on the ground floor for the periods indicated.

### *Estratificação de ar no poço central / Air stratification at central well*

No Verão, durante o período diurno e por estratificação térmica, as diferenças na temperatura do ar entre o piso semi-enterado e o piso superior no «poço» central, atingem os 5 °C, efeito este que promove a “exaustão” natural do ar através das aberturas na clarabóia.

In summer, the differences in air temperature between the semi-buried floor and the upper floor at the central well reach 5 °C during daytime and by thermal stratification, which is an effect that promotes the natural "exhaustion" of air through openings in the skylight.

Gráfico 13 / *Chart 13*



(33) (34) Clarabóia no poço central. Skylight in the central well. (Gráfico 13) Comportamento térmico do “poço” central no Verão. (Chart 13) Thermal performance of the central well in the summer.

## Tubos enterrados / Buried pipes

No Verão em dias com temperaturas do ar significativamente elevadas, os utilizadores podem recorrer adicionalmente à insuflação de ar fresco proveniente do sistema de arrefecimento pelo solo, cujos valores de temperatura não são afectados pela variação diurna. De facto, verifica-se que a temperatura do solo apresenta apenas uma variação sazonal, variando entre os 16 °C (no início do Verão) e os 19 °C (no final do Verão).

A gestão funcional do sistema depende do comportamento global do edifício em termos térmicos bem como do comportamento dos utilizadores. Existem dois modos distintos de utilização:

- a) Circulação do ar forçada (ventoinha ON);
- b) Circulação do ar natural (ventoinha OFF).

Para um período de 12 dias de Verão, em que o sistema foi operado manualmente pelo utilizador, ocasionalmente com a insuflação forçada do ar em apenas alguns períodos da primeira semana e sistematicamente na segunda semana, verificou-se que a temperatura do ar insuflado no interior do gabinete variou entre os 22-23 °C, traduzindo-se num decréscimo da temperatura do ar no interior do escritório entre 2 e 3 °C.

Quando o sistema não é utilizado (ventoinha OFF) a temperatura do ar no interior dos tubos não apresenta variações significativas ao longo do ciclo diário. Em caso de utilização do sistema (ventoinha ON), a temperatura do ar à entrada dos tubos é superior e mais próxima da temperatura do ar exterior. O ar exterior arrefece ao longo do percurso através dos tubos enterrados por transferência de calor com o solo, atingindo o interior do edifício (saída dos tubos) com uma temperatura inferior em 5 a 10 °C.

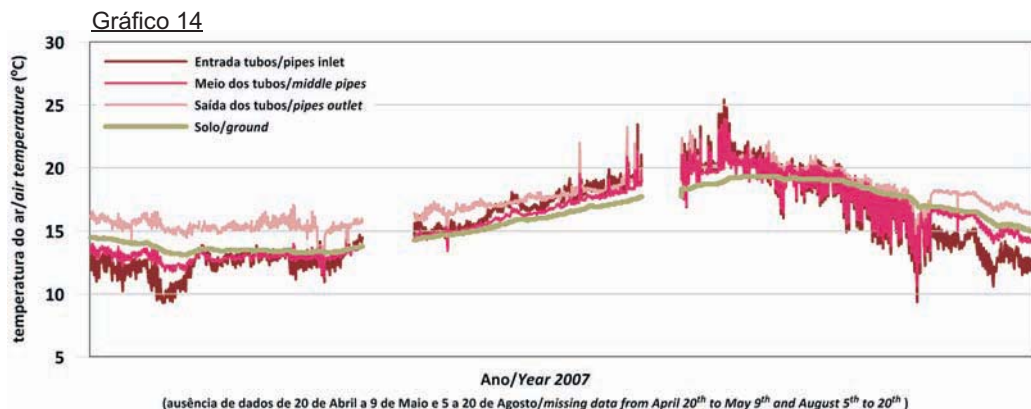
In the summer, on days with air temperatures significantly higher, users can additionally use the insufflation of fresh air from the cooling system through the soil, since temperature values are not affected by diurnal variation. In fact, it appears that soil temperature has only a seasonal variation, ranging between 16 °C (early summer) and 19 °C (in late summer).

The functional management of the system depends on the overall behavior of the building in terms of heat, as well as the behavior of its users. There are two distinct modes of use:

- a) forced air circulation (fan ON);
- b) natural air circulation (fan OFF).

For a period of 12 summer days, when the system was operated manually by the user, sometimes with forced air insufflation in a few periods of the first week and systematically in the second week, it was found that the air temperature insufflated inside the office ranged between 22-23 °C, resulting in a decrease of the indoor air temperature between 2 and 3 °C.

When the system is not used (fan OFF) the air temperature inside the tubes does not vary over the daily cycle. In case the forced ventilation system is used (fan ON), the air temperature at the pipes entrance is higher and closer to the outside air temperature. The outside air cools along the buried pipes due to heat exchanges with the ground, reaching the building's interior (output pipes) at temperatures 5 to 10 °C lower than its initial value.



(Gráfico 14) Comportamento térmico do sistema de tubos enterrados durante o ano. (Chart 14) Annual thermal behavior of buried pipe system.

Gráfico 15 / Chart 15

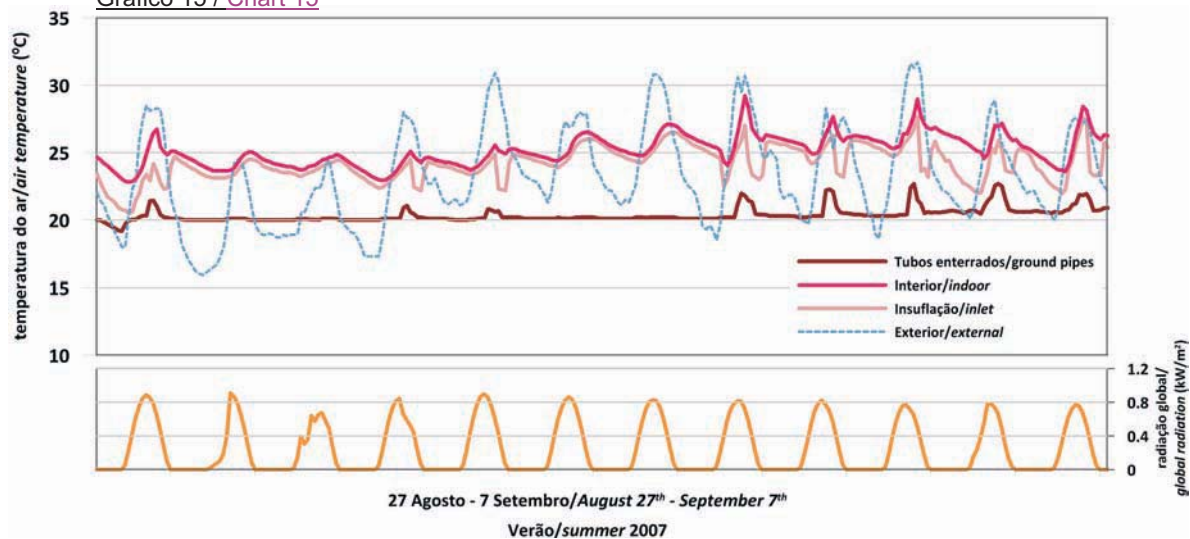
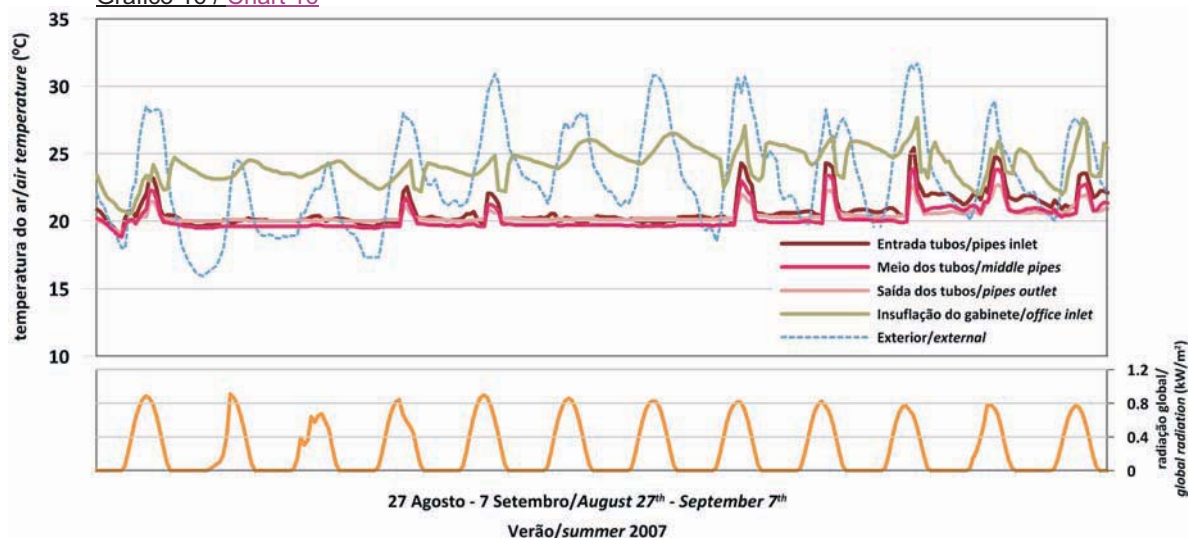


Gráfico 16 / Chart 16



(Gráfico 15) (Gráfico 16) Comportamento térmico do sistema de tubos enterrados no período de Verão. (Chart 15) (Chart 16) Thermal performance of buried pipes system of in the summer.





C



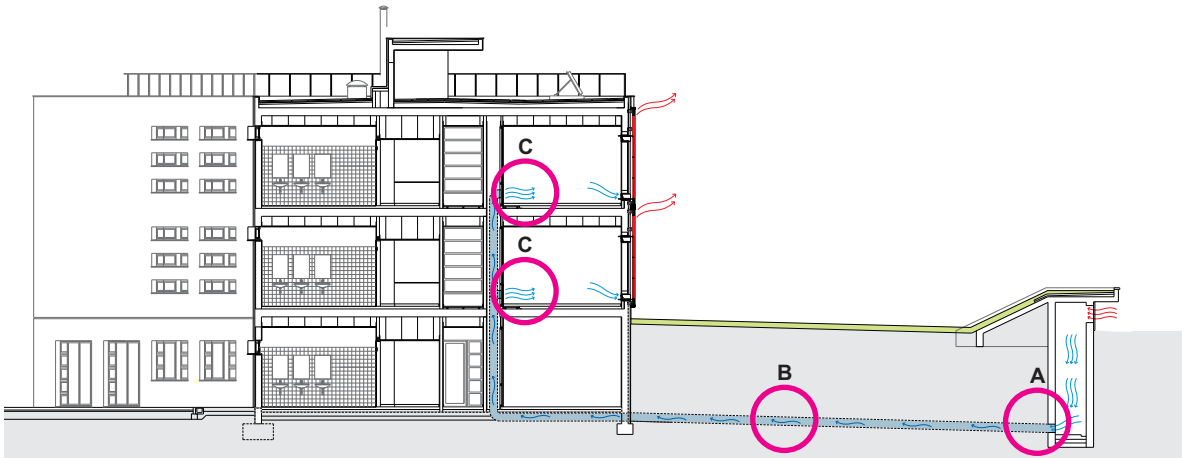
C



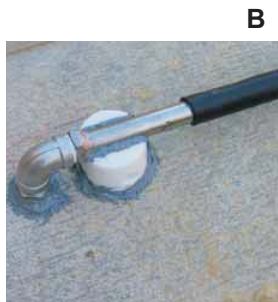
B



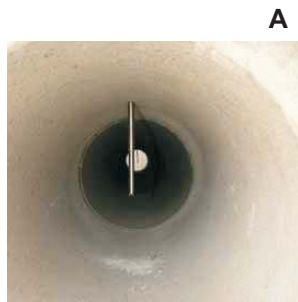
A



B



B



A



A

35

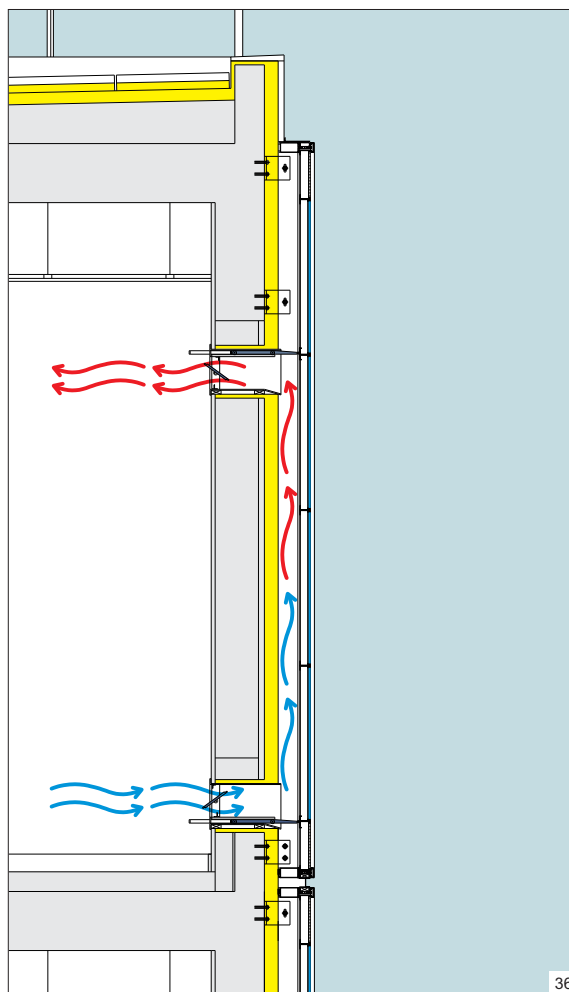
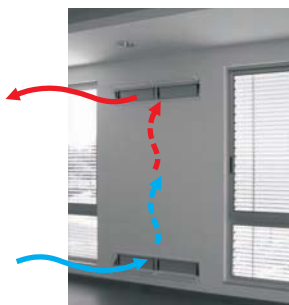
(35) Esquema de localização pontos dos medição. A- Entrada; B- Meio; C- Saída. Diagram showing the location of measurement points. A- Input, B - Middle, C - Output.

## Recuperação de calor nos módulos fotovoltaicos / Heat recovery in photovoltaic modules

A integração destes módulos foi feita de acordo com o esquema que se apresenta, de forma a propiciar o aproveitamento térmico do calor gerado pelos módulos fotovoltaicos no período de Inverno. Deste modo, o espaço de ar existente entre os módulos fotovoltaicos e a envolvente comunica com os compartimentos adjacentes, facto que permite a troca de ar entre o ambiente interior e a respectiva cavidade. As trocas de ar têm como principal objectivo o aproveitamento do calor gerado pelos painéis fotovoltaicos nos períodos com necessidades de aquecimento (Inverno).

The integration of these modules was done according to the schema presented in order to promote the use of the thermal heat generated by the photovoltaic modules in the winter period. Thus, the air space between the photovoltaic modules and envelope communicates with adjacent rooms allowing the exchange of air between indoors and its cavity. The main purpose of these air exchanges is to use the heat generated by photovoltaic panels in periods where heating is required (winter).

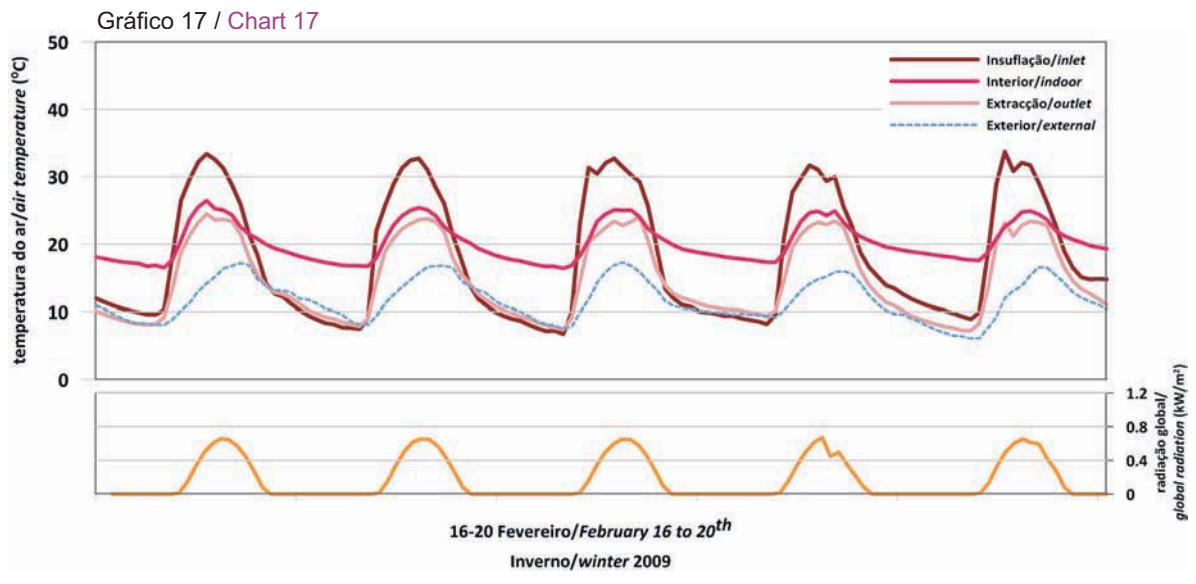
### Inverno / Winter



36

Para um melhor aproveitamento deste recurso, o fluxo natural ascendente do ar no interior da cavidade devido ao gradiente de temperatura é controlado através de dois registos de ar, um inferior e outro superior, cuja abertura/fecho é feita pelo utilizador da sala. Durante um dia típico de Inverno, o utilizador pode abrir os dois registos e permitir a admissão do ar aquecido na cavidade, contribuindo deste modo para o aquecimento do ambiente interior. Em dias típicos de Inverno com condições atmosféricas de elevada radiação solar (dias de céu limpo), a temperatura do ar insuflado nos gabinetes pode atingir os 30 °C. No período nocturno as aberturas deverão manter-se fechadas de forma a evitar perdas de calor através da renovação do ar da sala e, consequentemente, um maior arrefecimento do espaço interior.

For a better exploitation of this resource, the natural upward flow of air inside the cavity due to the temperature gradient is controlled by two air dampers, a lower and a higher one, with a manual opening/closing controlled by the user. During a typical winter day, you can open both vents and allow the admission of heated air in the cavity, thereby warming the interior environment. On winter days with typically weather conditions of high solar radiation (clear sky days), the temperature of the air insuflated in the offices can reach 30 °C. At night time openings should be kept closed to avoid heat loss through the room air ventilation and therefore avoid a greater cooling of the indoor space.



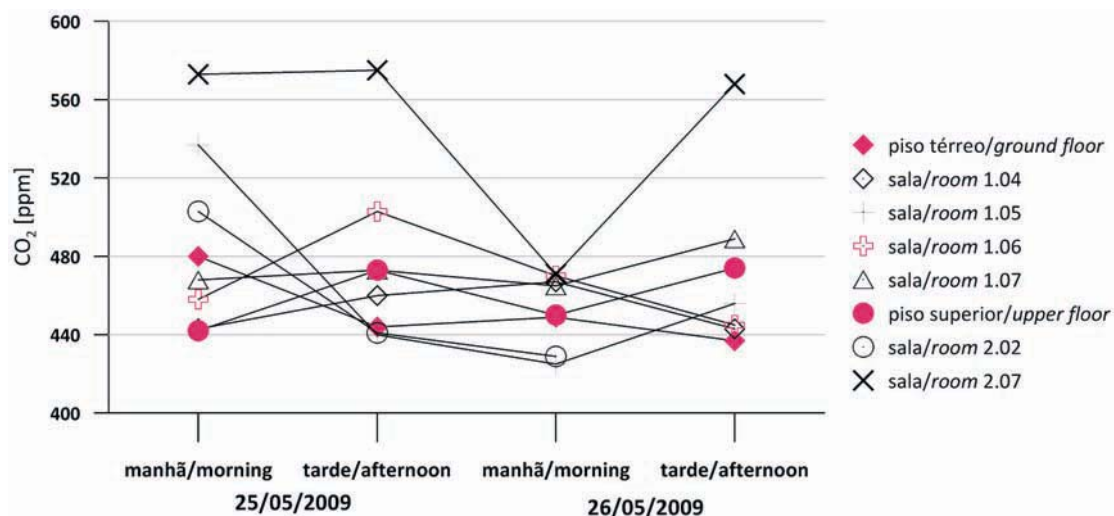
(Gráfico 17) Comportamento térmico do sistema de recuperação de calor nos módulos fotovoltaicos. (Chart 17) Thermal performance of the heat recovery system in photovoltaic modules.

## Qualidade do ar interior / Indoor air quality

A determinação da concentração de dióxido de carbono foi levada a cabo pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), no âmbito do Projecto "*Building Advanced Ventilation Technological*", em dois dias consecutivos do mês de Maio de 2009, encontrando-se os resultados obtidos no gráfico. Em todas as salas monitorizadas as concentrações apresentaram sempre valores inferiores a 600 ppm e na maioria das situações mesmo inferiores a 500 ppm. Estes valores são muito inferiores aos estabelecidos pela regulamentação portuguesa (984 ppm) e traduzem a existência de boas condições no que respeita à qualidade do ar interior.

The concentration of carbon dioxide was determined by the Faculty of Engineering of the University of Oporto (FEUP) under the project "*Building Advanced Ventilation Technological*" in two consecutive days of May 2009 and the results obtained are plotted on the chart. In all monitored rooms, concentrations consistently showed values below 600 ppm, and in most cases even below 500 ppm. These values are much lower than those established by the Portuguese legislation (984 ppm) and reflect the good conditions with regard to indoor air quality.

Gráfico 18 / Chart 18



No que respeita às condições do ambiente interior em 2008 e, ainda no âmbito do Projecto "*Building Advanced Ventilation Technological*", coordenado pela FEUP, foi levado a cabo um inquérito junto de 19 utilizadores do edifício Solar XXI, para que manifestassem a sua avaliação pessoal às condições no interior do edifício.

In what concerns the indoor environmental conditions in the year 2008, and still under the project "*Building Advanced Ventilation Technological*", coordinated by FEUP, a survey was carried out among 19 users of Solar XXI building to state their personal assessment of environmental working conditions inside the building.



Os resultados estão sintetizados na tabela de onde se pode concluir que 77% dos utilizadores ficaram muito satisfeitos com as condições no Verão e no Inverno, considerando o ambiente global aceitável em ambas as estações do ano. A maior percentagem de utilizadores satisfeitos diz respeito às condições de iluminação e acústicas. Em termos da qualidade do ar interior no Verão manifestaram-se favoravelmente 83% dos utilizadores enquanto no Inverno aquele valor desceu para 77%.

No que respeita ao conforto térmico observou-se uma percentagem ligeiramente inferior. Estes resultados foram influenciados pelo facto das condições interiores do edifício nas salas a Norte não beneficiarem nem do arrefecimento através dos solo, nem dos ganhos solares no Inverno, uma vez que em projecto estava previsto terem apenas ocupação esporádica. De forma a corrigir a situação referida, as salas a Norte que vieram a ser utilizadas como gabinetes efectivos de trabalho, dispõem actualmente de um sistema de aquecimento e arrefecimento solar.

The results are summarized in the table where it can be concluded that 77% of users were very satisfied with the conditions in summer and winter, considering the global environment acceptable in both seasons. The highest percentage of users was satisfied with the conditions of lighting and acoustics. In terms of indoor air quality in the summer, 83% of users were satisfied, decreasing to 77% in winter.

With regard to thermal comfort, a slightly lower percentage of acceptance is observed. These results were influenced by the fact that building internal conditions in the rooms at north do not benefit from cooling through the soil or from solar gains in winter, since the project was expected to have only sporadic occupation. In order to correct the situation, the rooms located in the northern part that are used as effective working offices, currently have a solar heating and cooling system.

<b>Avaliação dos utilizadores ao ambiente interior</b> <b>Users assessment of indoor environment</b>	<b>Verão</b> <b>Summer</b> <b>(%)</b>	<b>Inverno</b> <b>Winter</b> <b>(%)</b>
Utilizadores manifestando ambiente interior globalmente aceitável <i>Users manifesting an overall acceptance of the indoor environment</i>	77	77
Utilizadores manifestando conforto térmico aceitável <i>Users manifesting an acceptable thermal comfort</i>	73	75
Utilizadores manifestando qualidade do ar interior aceitável <i>Users manifesting an acceptable indoor air quality</i>	83	73
Utilizadores manifestando ambiente acústico aceitável <i>Users manifesting an acceptable acoustic environment</i>	92	91
Utilizadores manifestando iluminação aceitável <i>Users manifesting an acceptable lighting</i>	83	91



# PRODUÇÃO DE ENERGIA ENERGY PRODUCTION

## *Centrais fotovoltaicas / Photovoltaic power stations*

O Edifício Solar XXI tem nos módulos fotovoltaicos na fachada Sul uma potência instalada de 12 kW. No parque de estacionamento anexo ao edifício foram instalados 6 kW de módulos fotovoltaicos.

**Central PV da fachada** - Apresentam-se os valores da irradiação solar anual na fachada e da produtividade anual, em termos de energia eléctrica entregue à saída dos inversores, por unidade de potência pico instalada. A central PV da fachada entregou à rede 950 kWh/kW em 2006 e 1004 kWh/kW em 2007.

Solar XXI building has an installed capacity of 12 kW photovoltaic modules on the south façade. In the parking lot attached to the building 6 kW of photovoltaic modules were installed.

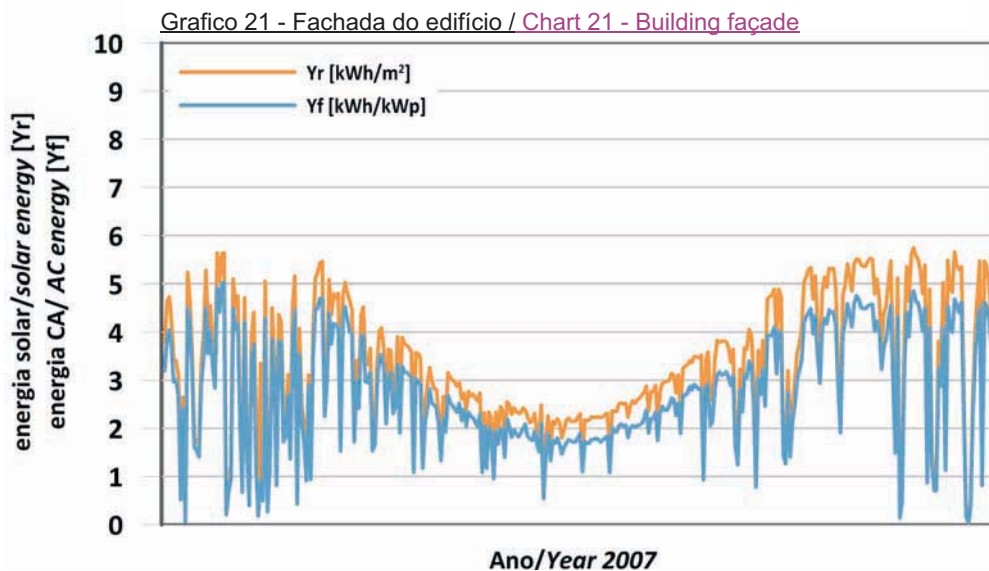
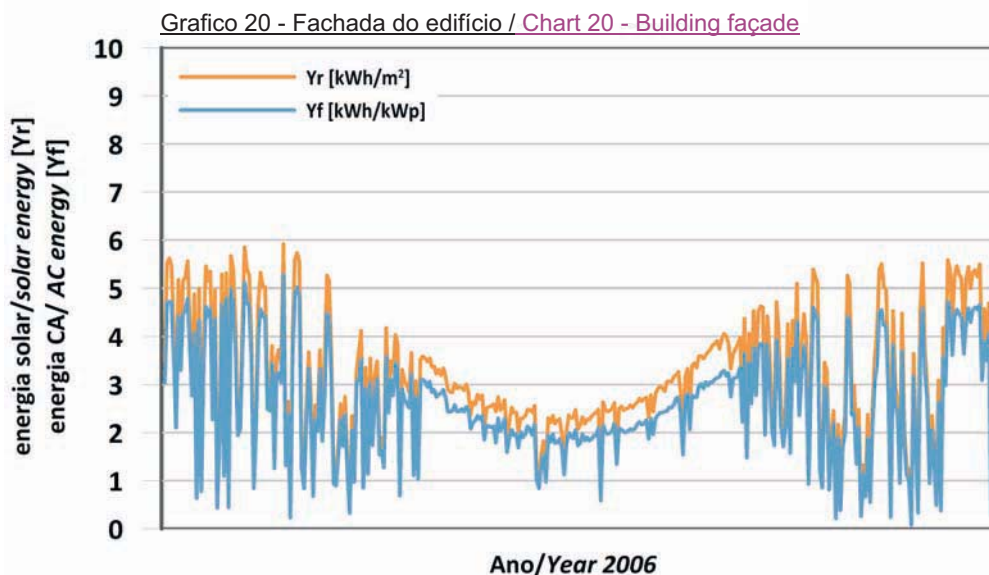
**Central PV façade** - The values of the annual solar radiation on the façade are presented as well as the annual productivity in terms of electricity delivered to the inverter output per unit of peak power installed. The central PV façade delivered to the network 950 kWh/kW in 2006 and 1004 kWh/kW in 2007.

Central PV da fachada, valores da produtividade anual			Central PV façade, values of annual productivity	
Ano Year	Potência pico instalada Peak power installed (KW)	Irradiação anual Annual Irradiation (kWh/m <sup>2</sup> )	Produtividade Productivity (kWh/kW)	
2006	12,16	1 118	950	
2007	12,16	1 193	1 004	

A fachada apresentou valores de produtividade máxima diária, por unidade de potência pico instalada, que chegaram a cerca de 5,5 kWh/kW, entre os meses de Novembro e Fevereiro, e mínimos de cerca de 2 kWh/kW, nos meses de Junho e Julho.

The façade had values of maximum daily productivity per unit of installed peak power, reaching approximately 5.5 kWh/kW from November to February, and a minimum of about 2 kWh/kW, in June and July.





(Gráfico 20 e 21) Evolução anual da irradiação solar diária e da energia eléctrica produzida diariamente em CA pela central fotovoltaica da fachada do edifício em 2006 e 2007. (Chart 20 and 21) Annual evolution of daily solar radiation and electricity produced by AC photovoltaic power station on the building façade in 2006 and 2007.



**Central PV do parque** - Apresentam-se em seguida, os valores da irradiação solar anual no plano dos módulos da parque de estacionamento e da produtividade anual, em termos de energia eléctrica entregue à saída dos inversores, por unidade de potência pico instalada (potência que o módulo fornece nas condições de 1000 W/m<sup>2</sup> de irradiação solar a 25 °C de temperatura das células). A central PV do parque entregou à rede 1368 kWh/kW, em 2006, e 1401 kWh/kW, em 2007.

**PV power station in parking lot** - The values of the annual solar radiation in terms of modules in the parking lot, and the annual productivity are presented in terms of electricity delivered to the inverters output per unit of installed peak power (power that the module provides in the conditions of 1000 W/m<sup>2</sup> of solar irradiance at 25 °C of cells temperature). The PV power station in the parking lot delivered to the electrical network 1368 kWh/kW in 2006, and 1401 kWh/kW in 2007.

Central PV do parque, valores da produtividade anual			PV power station of the parking lot, the annual productivity values. anual anual			
Ano Year	Potência pico instalada Peak power installed	(KW)	Irradiação anual Irradiation annual	(KWh/m²)	Produtividade Productivity	(KWh/kW)
2006	6,00		1 799		1 368	
2007	6,00		1 781		1 401	

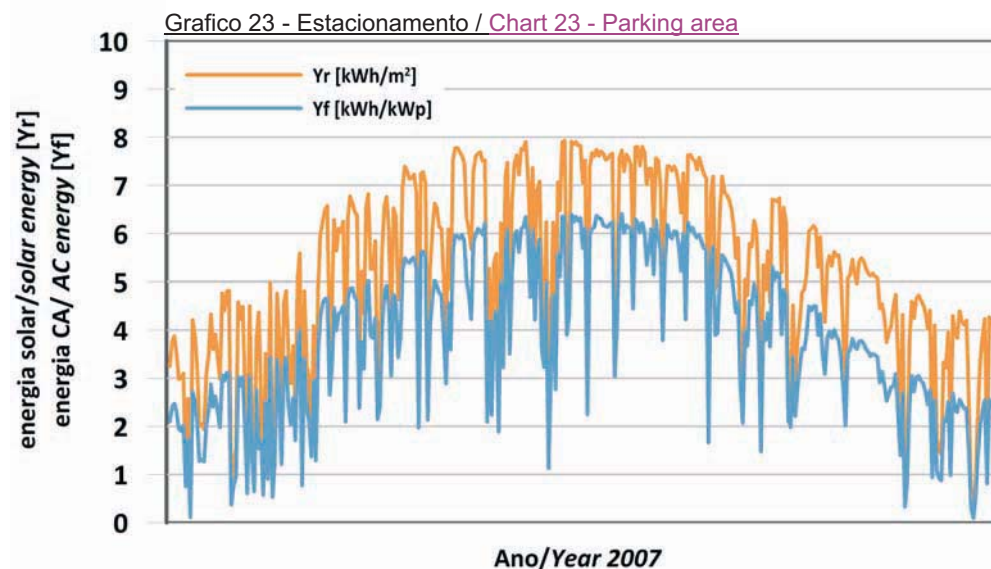
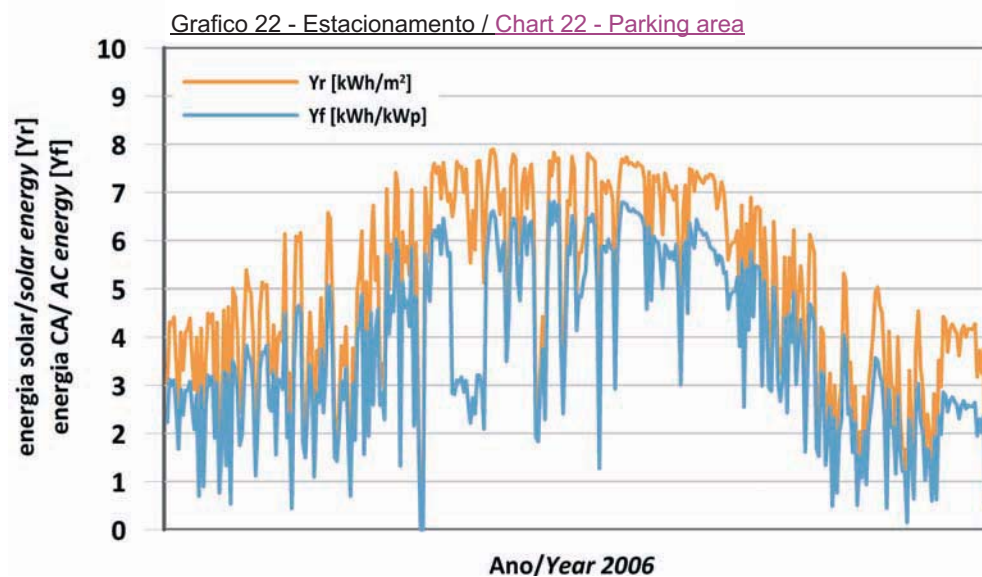
Com base nos valores medidos, mostra-se nos gráficos seguintes, relativos a 2006 e 2007, a evolução anual da irradiação diária e da energia eléctrica produzida diariamente em C.A.(\*). A central do parque apresentou valores de produtividade máxima diária à saída dos inversores, por unidade de potência pico instalada, nos meses de Maio a Setembro, que ultrapassaram os 8 kWh/kW, e mínimos no mês de Dezembro de cerca de 2,5k Wh/kW.

Based on measured values, the annual evolution of daily radiation and electricity produced in A.C. (\*) is shown in the graphs below, relatively to the years 2006 and 2007. The parking lot power station presented values of maximum daily productivity in the inverter output per unit of peak power installed from May to September, exceeding in 8 kWh/kW and the minima in December were about 2.5 kWh/kW.



(38) Módulos fotovoltaicos do parque de estacionamento. Photovoltaic modules of the parking lot.

(\*) A diminuição da energia produzida em 2006, registada entre o dia 7 de Maio e o dia 22 de Maio, resultou da avaria de um dos inversores. The decrease of the energy produced in 2006, registered between May 7 and May 22, resulted from the failure of one of the inverters.



(Gráfico 22 e 23) Evolução anual da irradiação solar diária e da energia eléctrica produzida diariamente em CA pela central fotovoltaica do parque de estacionamento em 2006 e 2007. (Chart 22 and 23) Annual evolution of daily solar radiation and electricity produced by AC photovoltaic power station in parking lot in 2006 and 2007.

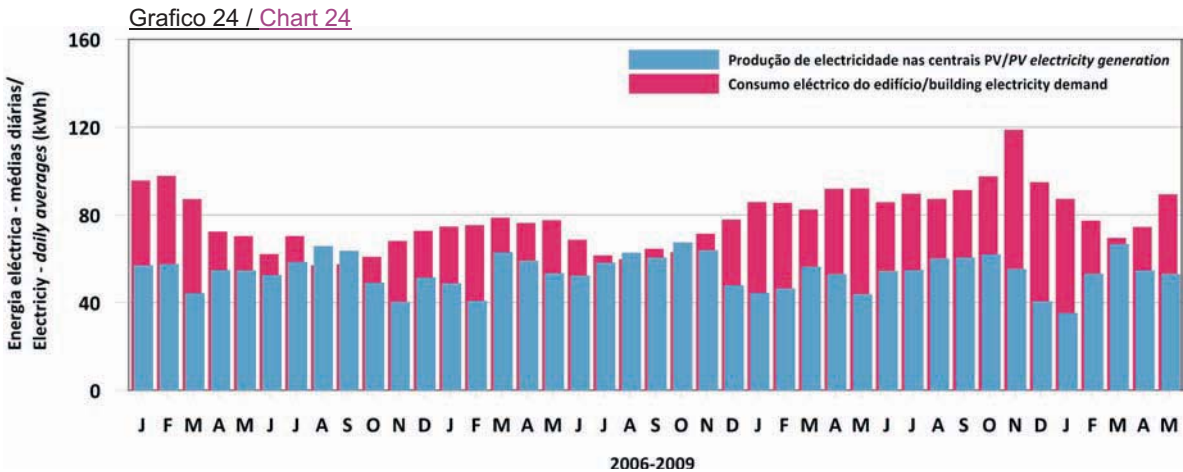
**Produção PV versus consumo de energia eléctrica.**  
A energia eléctrica que em média foi produzida diariamente pelos Sistemas PV foi de 54 kWh, que corresponderam a 23 kWh produzidos no parque e a 31 kWh produzidos na fachada.

O Edifício Solar XXI apresentou, um consumo médio diário de cerca de 78 kWh pelo que a produção somada das duas centrais PV, representou diariamente, cerca de 70% da energia eléctrica total consumida no edifício.

**PV production versus electricity consumption.**  
The electricity produced on average each day by the PV systems was 54 kWh, corresponding to 23 kWh produced in the parking lot and 31 kWh produced in the building's façade.

Solar XXI presented an average daily consumption of about 78 kWh for the production of two coupled PV power stations, representing daily approximately 70% of the total electricity consumed in the building.

Valores médios diários da energia produzida e consumida no Edifício Solar XXI, até 2009 Daily average values of energy produced and consumed in the Solar XXI, until 2009				
Energia produzida Energy produced (kWh)			Consumo Consumption (kWh)	Energia produzida Energy produced %
PV Parque Parking lot	PV Fachada Façade	PV Total	SOLAR XXI SOLAR XXI	PV / Consumo PV/ Consumption
23	31	54	78	78



(Gráfico 24) Produção mensal de electricidade nas centrais fotovoltaicas e consumo eléctrico mensal. (Chart 24) Monthly production of electricity through photovoltaic power station and monthly electricity consumption.





# MODELAÇÃO E SIMULAÇÃO DO EDIFÍCIO

## BUILDING MODELING AND SIMULATION

### *Simulação dinâmica / Dynamic simulation*

Com o objectivo de avaliar de forma mais explícita o impacto das soluções construtivas bem como das técnicas e estratégias implementadas foi efectuado um estudo de avaliação através da simulação térmica e energética do edifício, tendo o modelo sido calibrado com os resultados experimentais anteriormente descritos. Esta análise será ainda futuramente utilizada para a definição da classe energética do edifício, no âmbito da Certificação Energética.

Para o estudo e análise dinâmica do comportamento térmico de edifícios recorreu-se nesta fase ao programa de simulação, EnergyPlus desenvolvido pelo Departamento de Energia (DOE) dos Estados Unidos da América.

A partir dos dados relativos à geometria, propriedades termofísicas dos materiais construtivos, sistemas e regimes de climatização e, recorrendo aos dados climáticos de referência do LNEG, foi possível estimar as necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento do edifício.

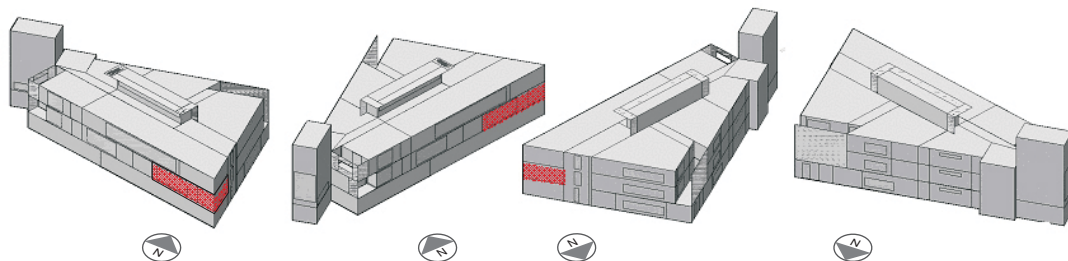
Para o zonamento térmico foram definidos diferentes espaços e que representam entidades volumétricas, diferenciadas em função da inércia térmica interior, orientação, condições de conforto interior, exposição solar, padrões de ocupação e existência de sistemas de climatização. Esta diferenciação deu origem a 18 zonas térmicas distintas.

In order to explicitly assess the impact of constructive solutions, as well as techniques and strategies, an evaluation study has been made by heat and energy simulations of the building, and the model was calibrated with the aforementioned experimental results. This analysis will also be used in the future for defining the energy class of the building, under the Energy Certification.

At this stage, the simulation program developed by the Department of Energy (DOE) of the United States of America, EnergyPlus, has been used to study and analyze the dynamic thermal performance of buildings.

The building energy requirements of heating and cooling were estimated from data on the geometry, thermophysical properties of building materials, systems and air conditioning systems and using the reference climatic data of LNEG.

For the thermal zoning, different areas were defined to represent volumetric entities and differentiated according to the inner thermal inertia, orientation, inner comfort conditions, solar exposure, occupation patterns and availability of air conditioning systems. This distinction has led to 18 different thermal zones.



## *Pressupostos da simulação / Simulation assumptions*

Na simulação consideraram-se as distribuições reais de ocupação, as potências de iluminação e dos equipamentos por zona térmica, com base nos dados de utilização do edifício.

Tratando-se de um edifício com ventilação natural, a renovação de ar é estabelecida pela abertura das janelas e das infiltrações devido à acção do vento e do gradiente de temperatura do ar. Na simulação, para cada zona térmica, optou-se por se considerar caudais de infiltração que correspondem aos valores mínimos de ar novo regulamentares, de acordo com o definido no Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE, Decreto-Lei n.º 79/2006) para as diferentes tipologias de utilização consideradas/zonas térmicas.

Do ponto de vista dos sistemas de climatização, o edifício apenas dispõe de aquecimento ambiente constituído por uma caldeira a gás que fornece água quente a radiadores instalados nos compartimentos com ocupação permanente e semi-permanente. Para efeitos de aplicação da metodologia do RSECE e estabelecimento dos indicadores para a Certificação Energética do edifício, considerou-se a existência do sistema de arrefecimento por defeito: uma máquina frigorífica com eficiência (COP) igual a 3. Os sistemas de aquecimento/arrefecimento ambiente foram considerados a funcionar apenas durante os períodos de ocupação efectiva. No que respeita às condições de conforto térmico os valores de referência considerados foram os indicados no RSECE, 20 °C para o aquecimento e 25 °C para o arrefecimento.

Como o edifício dispõe de medidas efectivas de iluminação natural, o sistema de iluminação artificial é apenas accionado quando o contributo da iluminação natural não satisfaz as necessidades lumínicas.

The simulation considered only the actual distributions of occupation, lighting power and equipment by thermal zone based on data from the building usage.

In the case of a building with natural ventilation, the air exchange is established by opening windows and infiltration due to wind action and temperature gradient. In the simulation, for each thermal zone, we chose to consider rates of infiltration corresponding to the minimum of fresh air regulations as defined in the Regulation of Energy Systems of Energy in Buildings (RSECE: Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios, Decreto-Lei n.º 79/2006) for the different usage typologies considered/thermal zones.

From the viewpoint of air-conditioning systems, the building has only indoor heating provided by a gas boiler which supplies hot water to radiators installed in permanent and semi-permanent occupied rooms. For the application of the methodology of RSECE and subsequent indexes for the Energy Certification of the building, one considered the existence of a cooling system by default: a chiller with a coefficient of performance (COP) of 3. It has been admitted the use of the heating/cooling systems during actual working periods. With regard to thermal comfort conditions, the reference values considered were indicated in RSECE, 20° C for heating and 25° C for cooling.

Because the building has effective measures of natural lighting, the artificial lighting system is only activated when the contribution of natural lighting does not meet the luminous needs.

## Calibração do modelo numérico / Calibration of the numerical model

A calibração foi feita com base na evolução da temperatura interior obtida pelo modelo e os valores obtidos durante a monitorização para dois períodos distintos: Inverno (de 1 a 7 de Janeiro de 2007) e Verão (de 9 a 15 de Julho de 2007), tendo-se verificado uma boa aproximação do modelo aos resultados experimentais.

The calibration was based on the evolution of internal temperature obtained by the model and the values obtained during monitoring for two distinct periods: winter (from 1 to 7 January 2007) and summer (from 9 to 15 July 2007), and a good approximation between the model and experimental results is observed.

Gráfico 25 / Chart 25

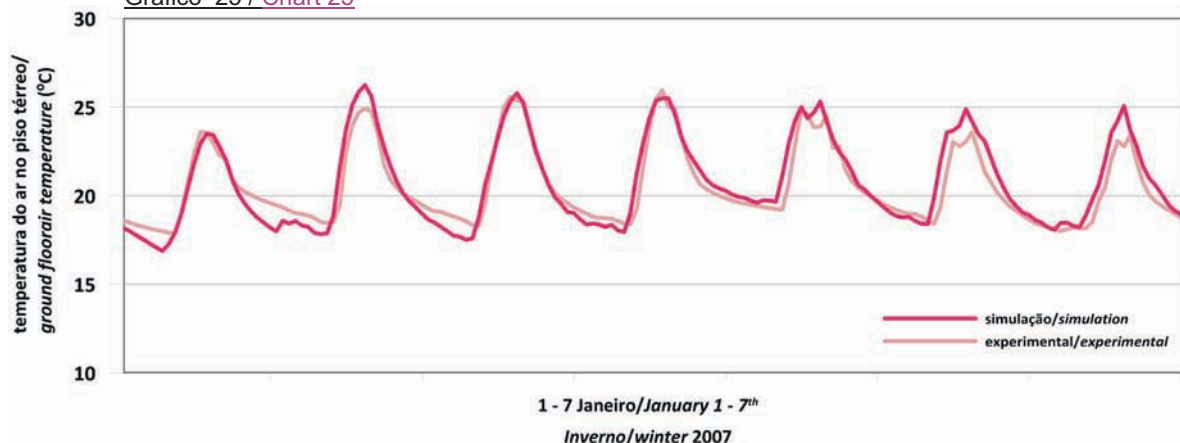
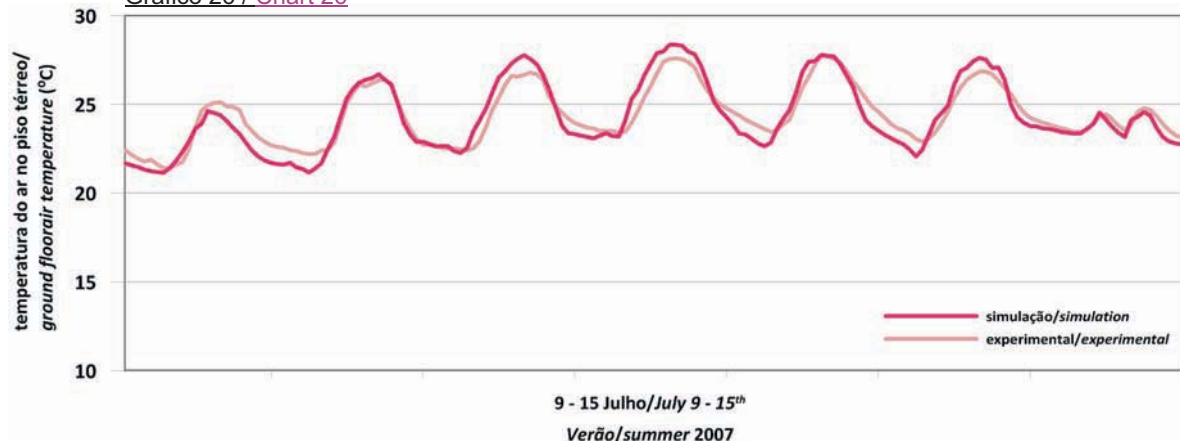


Gráfico 26 / Chart 26



(Gráfico 25) Calibração do modelo no período de inverno. (Chart 25) Model calibration in winter period. (Gráfico 26) Calibração do modelo no período de Verão. (Chart 26) Model calibration in summer period.

## Índice energético / *Energy index*

O edifício possui uma área de pavimento útil superior a 1000 m<sup>2</sup>, pelo que do ponto de vista da regulamentação térmica, encontra-se no âmbito do RSECE e o seu desempenho energético é avaliado com base no indicador de eficiência energética - IEE - representativo dos consumos de energia anuais expressos em energia primária, tendo para o efeito sido modelado nas condições reais e nominais de funcionamento (IEE<sub>real</sub> e IEE<sub>nominal</sub>, respectivamente).

A calibração do modelo, em termos do consumo de energia eléctrica, permitiu concluir que, para o ano de 2007, a diferença entre os valores simulados e observados é de apenas 6 % (28346 kWh/ano e 26522 kWh/ano, respectivamente). O mesmo modelo serviu ainda para estimar a energia útil de aquecimento e, consequentemente, o valor do IEE<sub>real, simulado</sub>.

Com base no modelo para as condições nominais, tendo em conta o elevado desempenho térmico e lumínico e a produção de electricidade dos módulos fotovoltaicos (fachada Sul e parque de estacionamento), foi possível estimar, em termos de energia primária, um consumo de energia nominal (IEE<sub>nominal</sub>) de 16 kgep/(m<sup>2</sup>.ano) o que corresponde a uma classe energética A+.

The building has a useful floor area over 1000 m<sup>2</sup>, so in terms of thermal regulation, it is within the scope of RSECE and its energy performance is evaluated based on the energy efficiency index - IEE - representing the annual energy consumption expressed as primary energy, and has therefore been modeled on real and nominal operating conditions (IEE<sub>real</sub> and IEE<sub>nominal</sub>, respectively).

The calibration of the model in terms of electricity consumption concluded that, for the year 2007, the difference between simulated and observed values is only 6 % (28346 kWh/year and 26522 kWh/year, respectively). The same model was also used to estimate the useful energy for heating and, consequently, the value of IEE<sub>real, simulated</sub>.

For the nominal conditions, the model took into account the high thermal and luminal performance, and electricity production of photovoltaic modules (south façade and parking lot) to estimate, in terms of primary energy, a nominal energy consumption (IEE<sub>nominal</sub>) of 16 kgoe/(m<sup>2</sup>.ano) which corresponds to an energy label of A+.

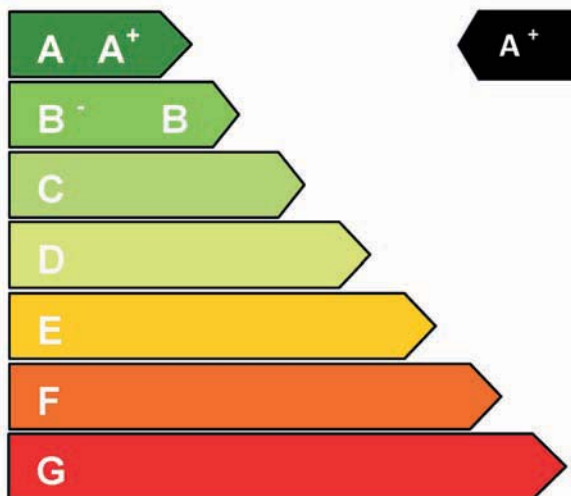
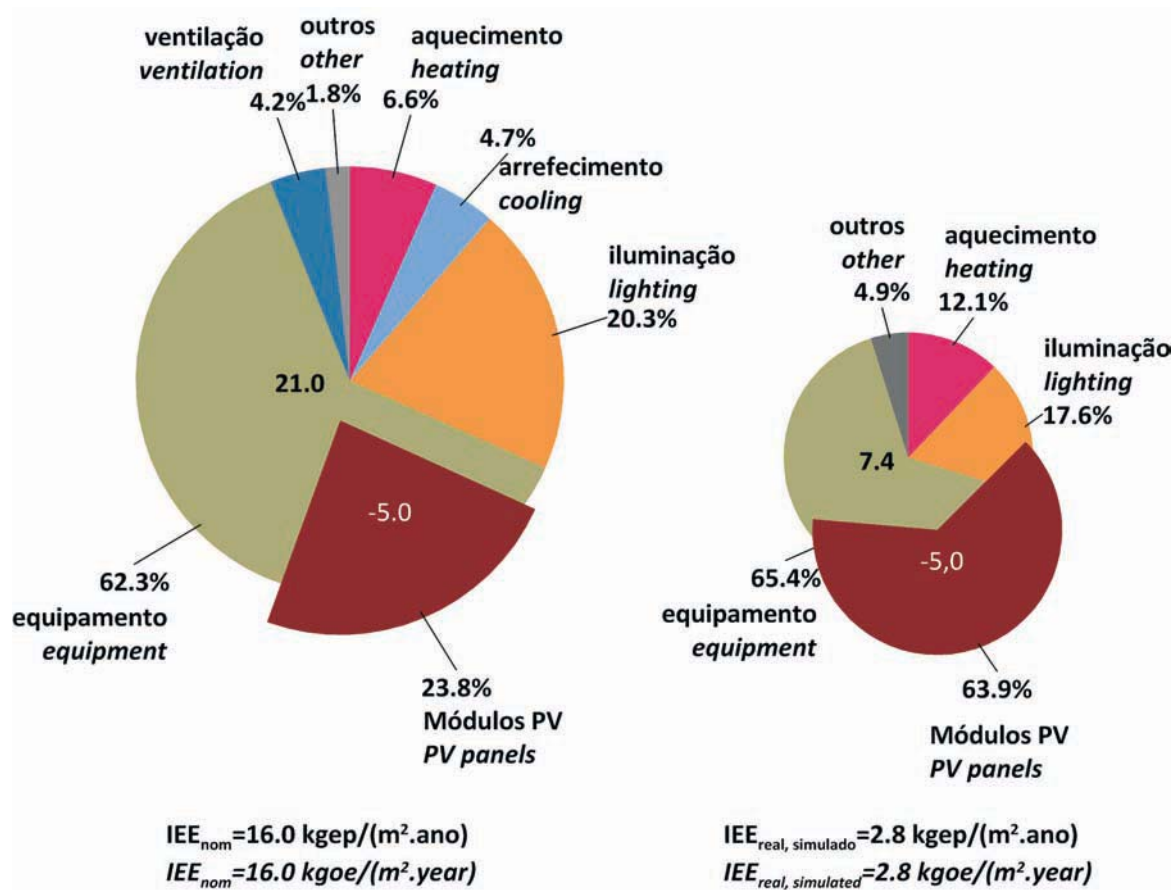




Gráfico 27 / Chart 27



(Gráfico 27) Distribuição do consumo de energia por tipo de uso para condições nominais e reais de funcionamento. (Chart 27) Distribution of energy consumption by usage for nominal and real operating conditions.

# REFERÊNCIAS

## REFERENCES

Aguiar, R. (2004). Selecção de Valores Médios Mensais da Temperatura do Ar e Irradiação Solar na Estação de Arrefecimento para o RCCTE versão 2004. DER, Lisboa, Janeiro 2004. Nota Técnica INETI.

Gonçalves, H. (2003). Edifício Solar XXI no INETI. *Revista de Energia Solar*, 53, Julho - Dezembro.

Gonçalves, H. e Cabrito, P. (2004) Edifício Solar XXI um Edifício Energeticamente Eficiente em Portugal. *CIES2004*. Vigo, Espanha.

Gonçalves, H. e Cabrito, P. (2006). A Passive Solar Office Building in Portugal. *PLEA 2006, 23<sup>rd</sup> Conference and Low Energy Architecture*. 6-8 Setembro 2006. Genève, Suíça.

Gonçalves, H. e Cabrito, P. (2006). Edifício Solar XXI Um edifício energeticamente eficiente em Portugal. *Revista da Ordem dos Engenheiros*, Maio 2006.

Gonçalves, H., Silva, A. R., Ramalho, A., Rodrigues, C. (2008). Thermal performance of a passive solar office building in Portugal. *EuroSun2008*. Outubro 2008. Lisboa, Portugal.

Oliveira Panão, M.J.N. e Gonçalves, H. (2010). Solar XXI building: proof of concept or a concept to be proved?. *SB10*. Março 2010. VilaMoura, Portugal.

Rodrigues, C., Viana, S., Silva, A.R., Joyce, A., Gonçalves, H. (2006). Os Sistemas Fotovoltaicos no Edifício Solar XXI Resultados. *CIES 2006 XIII Congresso Ibérico e VIII Congresso Ibero-Americano de Energia Solar*. Novembro 2006. Lisboa, Portugal.

Rodrigues, C., Viana, S., Joyce, A., Gonçalves, H., Silva, A. R. (2008). Solar XXI building PV systems: performance during the first two years of operation. *EuroSun2008*. Outubro 2008. Lisboa, Portugal.

Viana, S., Rodrigues, C., Joyce, A. (2006). Simulação de uma micro-rede alimentada por um sistema PV híbrido. *CIES 2006 XIII Congresso Ibérico e VIII Congresso Ibero-Americano de Energia Solar*. Novembro 2006. Lisboa, Portugal.

Edifício Solar XXI, Case Study nº12, Advanced Ventilation Strategies, Building Advent IEE Project (em publicação).

Normais climatológicas de Lisboa/Geofísico, anos 1961-90, Instituto de Meteorologia. Portugal.

"EnergyPlus, U.S. Departament of Energy", Washington DC, [www.eere.energy.gov/buildings/energyplus/](http://www.eere.energy.gov/buildings/energyplus/), June 2007.

# PRÉMIOS AWARDS

## 2005

**Prémio EDP 2005, Electricidade e Ambiente.** Edifício Solar XXI é vencedor absoluto na categoria de edifícios de serviços.

**EDP Award, Electricity and environment.** The Solar XXI building is the absolute winner in the category of service building.

## 2008

**European Award, Building-Integrated Solar Technology 2008.** Edifício Solar XXI é um dos 5 finalistas, entre 40 projectos de 8 países, ficando classificado em 3º lugar (*commendation*).

Neste edifício do Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação (actualmente Laboratório Nacional de Energia e Geologia) encontram-se integrados sistemas directos e indirectos de aproveitamento de energia solar, como elementos de demonstração. A tecnologia activa associada aos módulos fotovoltaicos da fachada é integrada de uma forma cuidadosa e discreta, onde foi adoptada uma abordagem muito particular. O design estrutural utiliza uma fachada modular em alumínio que conduz a uma solução atraente, elegante e proporcionada.

**European Award, Building-Integrated Solar Technology 2008.** Solar XXI is the first 5, among 40 projects in 8 countries, having been awarded with the third place.

"With this building for the 'National Institute for Engineering, Technology and Innovation', direct and indirect systems for utilising solar energy are used as a matter of course. The active technology, above all the PV modules in the facade, is carefully and unobtrusively integrated, whereby familiar design approaches have been adopted. The structural design using mullion and transom curtain walling achieves an attractive and elegantly proportioned solution. "

Fotografias

*Photography*

(Capa / *Cover*)(3)(4)(8)(9)(10)(21)(26)(29)(32)

Daniel Malhão

(Outras / *Others*)

Helder Gonçalves e Pedro Cabrito

Edição: LNEG, Laboratório Nacional de Energia e Geologia

Impressão: António Coelho Dias, S.A.

Tiragem: 1000 exemplares

ISBN: 978-989-675-007-7

Depósito Legal N.º 310644/10

Informações adicionais:

LNEG, Estrada do Paço do Lumiar, 1649-038 Lisboa

tel. 210 924 600

info.geral@lneg.pt

© LNEG, Abril 2010

Projecto e construção do edifício com o apoio de:

União Europeia/FEDER

Programa PRIME





Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I. P.

