



Universidade do Algarve
Escola Superior de Tecnologia

Influência das áreas transparentes no balanço energético em piscinas
interiores aquecidas

“Influence of transparent areas in the energy balance of heated indoor
swimming pools”

Vasco Simões Mendes Correia

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Energia e Climatização de Edifícios

Setembro 2012

[Escrever texto]



Universidade do Algarve
Escola Superior de Tecnologia

Influência das áreas transparentes no balanço energético em piscinas
interiores aquecidas

“Influence of transparent areas in the energy balance of heated indoor
swimming pools”

Vasco Simões Mendes Correia

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Energia e Climatização de Edifícios

Dissertação orientada por:

Professor Armando da Conceição Costa Inverno

Setembro 2012

FICHA TÉCNICA

Título: Influência das áreas transparentes no balanço energético em piscinas interiores aquecidas - Caso de estudo: Piscina Municipal de Silves.

Autor: Vasco Simões Mendes Correia

Objetivo do presente trabalho: Dissertação apresentada à Universidade do Algarve, Faculdade de Ciências e Tecnologia, para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica.

Orientação científica do trabalho: Professor Armando da Conceição Costa Inverno

Contacto do autor: mendes.vasco@gmail.com

Local: Faro

Ano: 2012

Declaro ser o autor deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da listagem de referências incluída.

(Vasco Simões Mendes Correia)

“Copyright” – Vasco Simões Mendes Correia, UALG, ISE

A Universidade do Algarve tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicitar este trabalho através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, de o divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a todos os que me apoiaram na elaboração deste trabalho, familiares, amigos, colegas, professores e instituições.

Uma palavra especial para o meu orientador, que direcionou este trabalho de forma adequada e com o máximo de sentido prático, para ele uma saudação académica cheia de reconhecimento e amizade.

Muito obrigado à Universidade do Algarve, pelo fornecimento do material de ensaio utilizado nas medições efetuadas.

Gostaria de referenciar os responsáveis da equipa de manutenção da Piscina Municipal de Silves que me deram total apoio na recolha dos dados que fui precisando ao longo de todo o trabalho.

Uma palavra especial para o Professor Armando Inverno, Professor António Mortal, Professor Celestino Ruivo e Professor Daniel Cabrita, pelo conhecimento transmitido ao longo do curso.

Por último quero dedicar este trabalho à Joana que sempre me apoiou incondicionalmente, à minha filha Maria que me deu a inspiração, e à minha família que me ajudou nos longos períodos de medições em Silves.

Obrigado a todos.

Resumo

Inicialmente far-se-á o levantamento das necessidades energéticas para aquecer as águas dos tanques existentes na Piscina Municipal de Silves, ao mesmo tempo que se fará a análise do desempenho energético da envolvente do edifício, a qual foi construída, em conjunto com as instalações de climatização, para garantir as condições interiores de conforto aos utentes.

O recurso a uma instalação já existente permite partir de uma situação real, e não, opostamente, de uma totalmente hipotética. O conhecimento das necessidades energéticas deste complexo de piscinas permitirá, com maior propriedade, estudar propostas de racionalização energética e, entre elas, as da envolvente de que os envidraçados são parte integrante.

Procurar-se-á, ao mesmo tempo, encontrar o efeito do controlo dos parâmetros térmicos ambientais no desempenho energético da envolvente, com destaque para o controlo da humidade do ar ambiente interior e a garantia da ausência de condensação, culminando na contabilização dos consumos.

O enquadramento do trabalho é feito no capítulo I.

No capítulo II faz-se uma breve revisão bibliográfica, que ajudará de alguma forma, a perceber melhor os fenómenos envolvidos neste tipo de edifícios, assim como a influência dos equipamentos instalados e as implicações que a manutenção do estado higrométrico do ar interior tem nos custos energéticos do edifício.

No capítulo III apresenta-se os resultados de uma auditoria aos consumos do edifício, fazendo a separação entre o gás propano e a eletricidade. É também feito o levantamento dos consumos globais da água quente sanitária, de modo a que se consiga propor alternativas baseadas em formas de energia renovável para o seu aquecimento, sendo para isso realizadas duas simulações, quantificando essa possível poupança.

No capítulo IV apresenta-se o levantamento feito ao edifício zona a zona, tanto em termos de dispositivos de iluminação como de outro tipo de pequenos equipamentos elétricos usados pelos funcionários e utentes. Finalmente é feita a apresentação dos equipamentos e dos consumos energéticos referentes ao bombeamento da água dos tanques das piscinas interiores aquecidas.

No capítulo V são analisados, de forma simplificada, os equipamentos responsáveis pela climatização de cada espaço útil e é apresentada uma tabela resumo dos consumos energéticos devidos a estes equipamentos. São também indicadas as potências térmicas de aquecimento e arrefecimento de cada um destes equipamentos.

No capítulo VI faz-se a localização do edifício, caracterizando-o quanto à sua orientação espacial e à constituição da sua envolvente, de forma a se poder simular o modelo tridimensional previamente desenhado no programa *Designbuilder*, o qual representa, com grande aproximação, o edifício real. Tendo este como referência, os outros modelos tridimensionais, com algumas alterações construtivas impostas, são depois simulados, para assim se verificar, quais as implicações que elas apresentam nos consumos globais associados aos processos de aquecimento e desumidificação do ar da nave do edifício, assim como nas condições interiores de conforto sentidas pelos banhistas. Por fim é feita uma análise ao efeito da variação da área transparente no edifício em estudo, procurando-se um valor "ideal" para a nave do edifício, sendo esse, o objetivo principal deste trabalho.

No capítulo VII é descrito, de forma sucinta, o método experimental usado na determinação da taxa de evaporação de água a partir da superfície dos tanques das piscinas, apresentando-se os valores obtidos. É ainda feito um resumo do método de cálculo teórico desta taxa, de acordo com o recomendado pela *ASHRAE*, de forma a pudermos comparar os valores realmente medidos e uma análise à poupança energética caso fosse utilizada uma cobertura na piscina desportiva.

No capítulo VIII faz-se a desagregação dos consumos globais do edifício assim como os consumos globais obtidos por simulação dinâmica. Com base no ano de 2011 faz-se um cálculo do índice de eficiência energético global do edifício, comparando-o com a valor limite máximo indicado no RSECE - Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios.

Por fim são apresentadas as conclusões e considerações finais ao longo do capítulo IX.

Abstract

Initially we do a checkup of the energy needs for heating swimming pool tanks in Piscina Municipal de Silves, while it will analyze the energy performance of the building envelope, which was constructed, in conjunction with air-conditioning systems, to ensure the comfort of indoor conditions to users.

The use of an existing permits from a real situation, and not, conversely, another totally hypothetical. The knowledge of the energy needs of this complex allow, more appropriately, to study proposals for streamlining energy and, between them, the surroundings that are part of, the glazing.

Search will be at the same time, find the effect of thermal control of environmental parameters on the energy performance envelope, with emphasis on the control of humidity indoor environment and ensuring the absence of condensation, culminating in accounting for consumption.

The frame work is done in Chapter I. The work begins with the general framework of the work, in Chapter II is a brief literature review that will help in some way to better understand the phenomena involved in these buildings, as well as the influence of the equipment installed and importance of indoor air hygrometric conditions in costs, and in turn the energy requirements in such spaces which are at levels of very high energy needs, as seen in this analysis.

In Chapter III we checkup consumption involved in building, making the separation of propane and electricity. This is also done overall consumption of hot water, so it can offer alternative sources for the heating being performed for that two simulations that quantify these savings.

In Chapter IV presents the survey of the building area by area, both in terms of lighting and other types of small electrical appliances used by employees and users. Finally the presentation is made of equipment and energy consumption for the pumping of water into the building of the indoor pool tanks.

In Chapter V, analyzed in a simplified way, the air conditioning equipment of every usable space and also, a table summary of energy consumption due to these equipment. Are also indicated thermal inputs of each of these devices, heating and cooling capacity power.

In Chapter VI makes up the location of the building, characterizing it as to its spatial orientation and about their surroundings, so we can simulate three-dimensional model previously designed in program *Designbuilder*, this model is drawing according to the actual building. Having this as a reference, the other with constructive amendments simulate up to just check through some examples, what are the implications of those changes in the nature of global consumption of the building as well as the evolution of interior comfort conditions for swimmers. Finally an analysis is

made of the effect of variation on the transparent area in the building under study, reaching a value considered ideal for this particular building, which is the main objective of this work. In this chapter the focus is placed on the nature of the building, but only analyzed this area.

In Chapter VII is succinctly described the experimental method used in determining the rate of evaporation in the tanks. It is still made a summary of the calculation method of this theoretical rate according to *ASHRAE* method, so we can compare the actual values and that would be expected. We analyze the energy savings if we use a pool cover in sports swimming pool.

In Chapter VIII makes up the breakdown of the global consumption of the building as well as the global consumption obtained by dynamic simulation. Based in the year 2011 it is a calculation of the overall energy efficiency rating of the building and comparing it well with maximum value indicated in RSECE.

Finally the conclusions and final considerations throughout the chapter IX.

Índice

Introdução	- 1 -
CAPÍTULO I - Enquadramento do trabalho	- 3 -
CAPÍTULO II - Revisão bibliográfica.....	- 5 -
II.1 – A conservação de energia em piscinas	- 5 -
II.1.1 – Otimização das bombas de circulação e do sistema de filtragem.....	- 5 -
II.1.2 – Dimensionamento das bombas	- 6 -
II.1.3 – Tempo de circulação.....	- 7 -
II.1.4 – Sumário de Recomendações.....	- 8 -
II.2 – Medições e análise da evaporação numa piscina exterior inativa	- 9 -
II.2.1 – Fundamentos teóricos para o cálculo da taxa de evaporação em piscinas exteriores ..	- 10 -
II.3 – Comportamento térmico de piscinas cobertas - controlo da evaporação.....	- 12 -
II.3.1 – Conforto e trocas de calor.....	- 12 -
II.3.2 – Evaporação na interface água-ar.....	- 15 -
CAPÍTULO III.....	- 21 -
III.1 – Consumos gerais de eletricidade e propano das piscinas municipais de Silves	- 21 -
III.2 – Energia solar para AQS e aquecimento dos tanques das piscinas.....	- 24 -
III.2.1 – Simulação com auxílio do programa <i>SOLTERM</i>	- 26 -
III.2.2 – Simulação das necessidades de aquecimento dos tanques das piscinas com auxílio do <i>SOLTERM versão 5.0 do INETI</i>	- 29 -
III.2.3 – Análise económica	- 32 -
III.2.3.1 – Análise económica AQS	- 32 -
III.2.3.2 – Análise económica das necessidades de águas quentes no tanque desportivo	- 33 -
CAPÍTULO IV.....	- 35 -
IV.1 – Nave da piscina (Piso 0).....	- 35 -
IV.2 – Sistema de bombagem de água	- 38 -
CAPÍTULO V	- 43 -
V.1 – Climatização do edifício.....	- 43 -
V.2 – Descrição simplificada dos equipamentos de climatização instalados.....	- 46 -
V.2.1 – Caldeiras.....	- 46 -
V.2.2 – Desumidificadores.....	- 47 -
V.2.3 – Unidade de climatização tipo bomba de calor <i>inverter split VRV (variable refrigerant volume)</i>	- 48 -
V.2.4 – Unidade de climatização tipo bomba de calor.....	- 49 -

V.2.5 – Unidade de climatização tipo bomba de calor.....	- 51 -
V.2.6 – Unidade de climatização tipo bomba de calor.....	- 52 -
V.2.7 – Unidade de climatização tipo bomba de calor.....	- 52 -
V.2.8 – Unidade de climatização tipo bomba de calor.....	- 53 -
V.2.9 – Unidades de tratamento de ar	- 54 -
CAPÍTULO VI.....	- 59 -
VI.1 – Localização, caracterização e orientação solar do edifício	- 59 -
VI.1.1 – Caracterização da envolvente do edifício	- 64 -
VI.1.1.1 – Envolvente exterior opaca.....	- 64 -
VI.1.1.2 – Paredes interiores	- 65 -
VI.1.1.3 – Cobertura exterior	- 66 -
VI.1.1.3 – Cobertura da nave da piscina	- 67 -
VI.1.1.4 – Envidraçados.....	- 67 -
VI.1.1.5 – Dispositivos de proteção solar	- 68 -
VI.2 – Balanço energético da nave.....	- 69 -
VI.2.1 – Consumo da nave sem climatização	- 74 -
VI.2.2 – Consumo da nave sem climatização com acionamento do efeito dos tanques das piscinas.....	- 76 -
VI.2.3 – Consumo energético da nave com a climatização ligada.....	- 79 -
VI.2.4 – Consumo da nave com climatização ligada variando as áreas transparentes relativamente às opacas.....	- 81 -
VI.2.4.1 – Implicações das alterações efetuadas no modelo no balanço da nave	- 81 -
VI.2.4.1.1 – Caso 1.....	- 81 -
VI.2.4.1.2 – Caso 2.....	- 84 -
VI.2.4.1.3 – Caso 3.....	- 86 -
VI.2.4.1.4 – Caso 4.....	- 89 -
VI.2.4.1.5 – Caso 5.....	- 91 -
VI.2.4.1.6 – Caso 6.....	- 93 -
VI.3 – Análise dos resultados.....	- 96 -
VI.4 – As implicações das diferentes orientações dos envidraçados nos consumos energéticos da nave da piscina	- 104 -
VI.5 – As implicações dos diferentes tipos de vidro nos consumos energéticos da nave da piscina..	- 107 -
CAPÍTULO VII	- 109 -
VII.1 – Método experimental na determinação da taxa de evaporação	- 109 -
VII.2 – Método teórico na determinação da taxa de evaporação	- 114 -
VII.3 – Comparação dos valores da taxa de evaporação.....	- 117 -

CAPÍTULO VIII	- 121 -
VIII.1 – Cálculo do IEE real do edifício	- 121 -
VIII.2 – Variação do consumo global do edifício ao longo do ano	- 122 -
VIII.3 – Desagregação dos consumos do edifício	- 125 -
CAPÍTULO IX - Conclusões	- 127 -
Referências bibliográficas	- 131 -
Bibliografia	- 133 -
Anexos.....	- 137 -

Índice de figuras

Figura 1 - Tendência do consumo da energia primária em Portugal [PORDATA]	01
Figura 2 - Influência da velocidade do vento na taxa de evaporação de uma piscina [2].....	12
Figura 3 - Sistema com controlo de humidade através da introdução de ar exterior [3].....	14
Figura 4 - Sistema com controlo de humidade através de desumidificação [3].....	15
Figura 5 - Taxa de evaporação obtida através da equação 4, para $v = 0,1$ m/s [3].....	16
Figura 6 - Taxa de evaporação obtida através da equação 4, para $v = 0,05$ m/s [3].....	17
Figura 7 - Diagrama psicrométrico representando uma linha de volume específico constante [3]..	18
Figura 8 - Taxa de evaporação obtidas a partir da referência [4].....	18
Figura 9 - Consumo anual de gás propano e eletricidade convertido em toneladas equivalentes de petróleo.....	21
Figura 10 - Faturação da energia elétrica e gás propano entre 2008 e julho de 2012.	22
Figura 11 - Percentagem do custo da energia elétrica e gás propano entre 2008 e julho de 2012..	22
Figura 12 - Consumo energético em kWh.....	23
Figura 13 - Consumo de águas quentes sanitárias entre 2009 e 2012.	24
Figura 14 - Depósito de inércia com 3600 litros instalado na sala técnica, com temperatura de acumulação de 60 °C (2 unidades).....	25
Figura 15 - Coletores de ida e retorno de distribuição das águas quentes	26
Figura 16 - Consumo de água quente para a reposição nos tanques da nave da piscina de Silves..	26
Figura 17 - Painel de seleção do clima e local do edifício em estudo.....	27
Figura 18 - Painel inicial de seleção do tipo coletores solares considerados na instalação solar....	27
Figura 19 - Perfil de consumo horário das AQS.	28
Figura 20 - "Output" do programa Solterm para o considerado.....	28
Figura 21 - Emissões de CO2 evitadas com o uso dos coletores solares para o aquecimento das AQS.....	29
Figura 22 - Painel de seleção do tipo de coletores solares considerado na instalação das necessidades de aquecimento das águas quentes do tanque da piscina desportiva.	30
Figura 23 - Perfil das necessidades de aquecimento da piscina desportiva.	30
Figura 24 - Análise energética quanto ao contributo solar no aquecimento das águas da piscina desportiva.	31

Figura 25 - Emissões de CO2 evitadas com o uso dos painéis solares para o aquecimento das águas da piscina desportiva.....	31
Figura 26 - Análise económica para as AQS do edifício em estudo.....	32
Figura 27 - Análise económica para o aquecimento do tanque da piscina desportiva	33
Figura 28 - Difusores de insuflação de ar situados no solo da nave da piscina	35
Figura 29 - Conduitas de extração do ar da nave para retorno às UTA'S e ventiladores helicoidais de extração e rejeição de ar da nave.....	36
Figura 30 - Ocupação real da nave da piscina, contabilizada entre Março e Junho de 2012.....	38
Figura 31 - Bombas de circulação da piscina desportiva, de aprendizagem e chapinheiro (da esquerda para a direita).	40
Figura 32 - Comprimento de onda da luz ultravioleta para a desinfeção das águas dos tanques das piscinas e jacuzzi.....	40
Figura 33 - Ultravioletas da piscina desportiva, chapinheiro e de aprendizagem (da esquerda para a direita).	40
Figura 34 - Depósitos de retorno, ida e bombas de recirculação.....	41
Figura 35 - Caldeiras <i>MEGAPREX</i> para AQS e climatização localizadas na sala técnica do piso 0.	46
Figura 36 - Painel de controlo das desumidificadoras instaladas no piso -1.....	47
Figura 37 - Climatização dos nove espaços úteis distribuídos pelo edifício.	49
Figura 38 - Climatização do ginásio localizado no piso 1, ar insuflado por conduta e incorporadas com grelhas de difusão.....	50
Figura 39 - Conduta de insuflação do ginásio.....	50
Figura 40 - Climatização da esplanada interior do bar, localizada no piso 1, ar insuflado por conduta e terminais de insuflação tipo difusores rotacionais	51
Figura 41 - Unidade de climatização, exterior e interior, da sala de fitness.....	52
Figura 42 - Unidades exteriores de climatização tipo bomba de calor da <i>daikin</i>	53
Figura 43 - Unidade exterior de climatização tipo bomba de calor da <i>sharp</i>	53
Figura 44 - Unidades de tratamento de ar instaladas na cobertura (UTA M e UTA H).....	54
Figura 45 - Unidade de tratamento de ar instalada na sala técnica (UTA J)..	54
Figura 46 - Esquema simplificado da UTA H, UTA M e UTA J	55

Figura 47 - Zonas climatizadas pelas unidade de tratamento de ar (a vermelho UTA H, a verde UTA M e a azul UTA J).....	55
Figura 48 - Localização da piscina municipal de Silves, Google Earth em 01 de agosto de 2012 ..	59
Figura 49 - Localização de Silves relativamente à costa marítima (aproximadamente 10 km).	59
Figura 50 - Orientação do edifício segundo os eixos cardeais.	60
Figura 51 - Fachada principal da piscina municipal de Silves (A).....	61
Figura 52 - Fachada lateral orientada para sudeste (B).....	61
Figura 53 - Fachada orientada para sudoeste com pala de sombreamento e maior área de vãos transparentes (C)	62
Figura 54 - Fachada lateral orientada para noroeste (D).	63
Figura 55 - Radiação solar medida em Silves relativamente a um plano vertical.....	63
Figura 56 - Solução construtiva da envolvente opaca exterior do edifício.	65
Figura 57 - Solução construtiva das paredes interiores do edifício.....	66
Figura 58 - Solução construtiva da cobertura exterior em terraço	67
Figura 59 - Solução construtiva da cobertura da nave da piscina	67
Figura 60 - Sistemas de alumínio aplicados no edifício em estudo [9].	68
Figura 61 - Palas de sombreamento horizontais, à esquerda a fachada SO e à direita a NE.....	68
Figura 62 - Esquema simplificado das trocas de calor entre a nave da piscina e a envolvente.....	69
Figura 63 - Dados de entrada referentes ao painel " <i>activity</i> ".	71
Figura 64 - Dados de entrada referentes ao painel " <i>construction</i> ".	71
Figura 65 - Dados de entrada referentes ao painel " <i>openings</i> ".	72
Figura 66 - Dados de entrada referentes ao painel " <i>lighting</i> ".	72
Figura 67 - Dados de entrada referentes ao painel " <i>hvac</i> ".	72
Figura 68 - Planta e alçados SE, NO, NE, SO do modelo tridimensional desenhado no <i>Designbuilder</i> (vendo de cima para baixo)..	73
Figura 69 - Modelo tridimensional do edifício gerado pelo programa <i>Designbuilder</i>	74
Figura 70 - Consumo energético da nave da piscina sem climatização.	75
Figura 71 - Condições de conforto da nave da piscina sem climatização.	76
Figura 72 - Introdução no programa dos ganhos referentes aos tanques das piscinas	76

Figura 73 - Consumo energético da nave da piscina sem climatização, considerando ganhos a partir da superfície da água dos tanques.	77
Figura 74 - Valores médios anuais do estado higrométrico do ar.	77
Figura 75 - Condições de conforto da nave do edifício sem climatização.	78
Figura 76 - Evolução mensal do consumo energético da nave do edifício	79
Figura 77 - Consumo energético da nave do edifício com climatização.	80
Figura 78 - Evolução mensal do consumo energético da nave do edifício com climatização	80
Figura 79 - Condições de conforto da nave do edifício com climatização	81
Figura 80 - Alteração da área de envidraçados relativamente à situação real do edifício.	82
Figura 81 - Consumo energético da nave do edifício com climatização.	82
Figura 82 - Evolução mensal do consumo energético da nave do edifício com climatização	83
Figura 83 - Condições de conforto da nave do edifício com climatização.	83
Figura 84 - Ventilação mecânica.	84
Figura 85 - Alteração da área de envidraçados relativamente à situação real do edifício.	84
Figura 86 - Consumo energético da nave do edifício com climatização.	85
Figura 87 - Evolução mensal do consumo energético da nave do edifício com climatização	85
Figura 88 - Condições de conforto da nave do edifício com climatização	86
Figura 89 - Ventilação mecânica.	86
Figura 90 - Alteração da área de envidraçados relativamente à situação real do edifício.	87
Figura 91 - Consumo energético da nave do edifício com climatização.	87
Figura 92 - Evolução mensal do consumo energético da nave do edifício com climatização	88
Figura 93 - Condições de conforto da nave do edifício com climatização.	88
Figura 94 - Ventilação mecânica.	88
Figura 95 - Alteração da área de envidraçados relativamente à situação real do edifício.	89
Figura 96 - Consumo energético da nave do edifício com climatização.	89
Figura 97 - Evolução mensal do consumo energético da nave do edifício com climatização	90
Figura 98 - Condições de conforto da nave do edifício com climatização.	90
Figura 99 - Ventilação mecânica.	90
Figura 100 - Alteração da área de envidraçados relativamente à situação real do edifício.	91

Figura 101 - Consumo energético da nave do edifício com climatização.....	92
Figura 102 - Evolução mensal do consumo energético da nave do edifício com climatização..	92
Figura 103 - Condições de conforto da nave do edifício com climatização	92
Figura 104 - Ventilação mecânica.....	93
Figura 105 - Alteração da área de envidraçados relativamente à situação real do edifício, note-se a cobertura totalmente transparente	93
Figura 106 - Consumo energético da nave do edifício com climatização, maximizando a área transparente	94
Figura 107 - Evolução mensal do consumo energético da nave do edifício com climatização	94
Figura 108 - Condições de conforto da nave do edifício com climatização	95
Figura 109 - Ventilação mecânica.....	95
Figura 110 - Variação das necessidades energéticas anuais de climatização com a área envidraçada..	96
Figura 111 - Modelo tridimensional da nave da piscina, com 40% de área envidraçada relativamente à envolvente exterior opaca.....	97
Figura 112 - Modelo tridimensional da nave da piscina, com 20% de área envidraçada relativamente à envolvente exterior opaca.....	98
Figura 113 - Variação das necessidade de aquecimento e dos ganhos solares, com a razão entre as áreas transparentes e opacas da nave do edifício	99
Figura 114 - Modelo tridimensional da nave da piscina, com 16% de área envidraçada relativamente à envolvente exterior opaca.....	99
Figura 115 - Variação das necessidade de arrefecimento e dos ganhos solares, com a razão entre as áreas transparentes e opacas da nave do edifício	100
Figura 116 - Modelo tridimensional da nave da piscina, com 2% de área envidraçada relativamente à envolvente exterior opaca.....	100
Figura 117 - Variação das necessidade de aquecimento/arrefecimento e dos ganhos solares, com a razão entre as áreas transparentes e opacas da nave do edifício.....	101
Figura 118 - Modelo tridimensional da nave da piscina, com 18% de área envidraçada relativamente à envolvente exterior opaca	101
Figura 119 - Variação do consumo devido à climatização da nave da piscina relativamente à percentagem da área envidraçada relativamente à área exterior opaca	102

Figura 120 - Variação dos consumos globais da nave da piscina relativamente à percentagem da área envidraçada relativamente à área exterior opaca.....	103
Figura 121 - Modelo tridimensional sem envidraçados.....	104
Figura 122 - Variação dos consumos da nave da piscina relativamente à variação da área envidraçada por orientação.....	105
Figura 123 - Desenho do tabuleiro de medição da taxa de evaporação..	109
Figura 124 - Equipamento utilizado nas medições efetuadas nos tanques interiores.....	110
Figura 125 - Evolução da temperatura e humidade relativa do ar interior da nave, desde as 08:00 às 24:00 do dia 04.09.2012.....	110
Figura 126 - Evolução da temperatura e humidade relativa do ar exterior, desde as 08:00 às 24:00 do dia 04.09.2012.....	111
Figura 127 - Evolução da taxa de evaporação da piscina desportiva, desde as 08:00 às 24:00 do dia 04.09.2012, com a temperatura da água igual a 28 °C.....	111
Figura 128 - Evolução da taxa de evaporação da piscina desportiva com a temperatura do ar, com a temperatura da água da piscina em 27°C.....	112
Figura 129 - Influência da humidade relativa na taxa de evaporação da piscina desportiva..	113
Figura 130 - Curvas ajustadas aos pontos medidos, obtendo com auxílio do Excel as respetivas correlações.....	113
Figura 131 - Evolução da taxa de evaporação teórica da piscina desportiva, desde as 08:00 às 24:00 do dia 04.09.2012.....	117
Figura 132 - Perdas de calor na piscina desportiva.....	118
Figura 133 - Perdas de calor em percentagem na piscina desportiva.....	119
Figura 134 - Consumo global do edifício durante um ano.....	123
Figura 135 - Evolução do Consumo elétrico e de gás propano do edifício mensalmente.....	124
Figura 136 - Evolução mensal das condições de conforto do edifício.....	124
Figura 137 - Emissões de CO2 para a atmosfera..	125
Figura 138 - Desagregação percentual referente à utilização energética no edifício..	126

Índice de tabelas

Tabela 1 - Poupança energética após ações de melhoria nos equipamentos técnicos da piscina [1].	6
Tabela 2 - Dimensões dos tanques das piscinas da nave.....	25
Tabela 3 - Resumo dos ganhos energéticos na instalação solar dedicado às AQS... ..	29
Tabela 4 - Resumo dos ganhos energéticos na instalação solar para as águas quentes da piscina desportiva	32
Tabela 5 - Iluminação existente na nave da piscina e respetiva potência instalada	36
Tabela 6 - Potência dos quatro ventiladores de extração forçada da nave da piscina	37
Tabela 7 - Ocupação de utentes das piscinas, desde 10 de fevereiro de 2012 a 14 de julho de 2012	37
Tabela 8 - Equipamentos de bombeamento de água no edifício	39
Tabela 9 - Equipamentos para climatização e respetiva potência instalada	45
Tabela 10 - Características técnicas das duas caldeiras instaladas na sala técnica	47
Tabela 11 - Características técnicas das quatro desumidificadoras instaladas no piso -1	48
Tabela 12 - Características técnicas da unidade exterior de climatização da <i>HAIER</i>	48
Tabela 13 - Características técnicas da unidade exterior de climatização do ginásio	49
Tabela 14 - Características técnicas da unidade exterior de climatização da esplanada interior	51
Tabela 15 - Características técnicas da unidade de climatização da sala de fitness.....	52
Tabela 16 - Características técnicas das unidade de climatização da sala de cabeleireiro.....	52
Tabela 17 - Características técnicas da unidade de climatização do servidor/ups	53
Tabela 18 - Características técnicas das UTAS	56
Tabela 19 - Consumo energético anual dos equipamentos de climatização instalados.....	57
Tabela 20 - Coeficiente global de transferência de calor da envolvente opaca exterior.	64
Tabela 21 - Coeficiente global de transferência de calor das paredes interiores.....	65
Tabela 22 - Coeficiente global de transferência de calor da cobertura exterior horizontal em terraço	66
Tabela 23 - Área transparente e opaca por orientação solar do edifício e respetivo ganho anual solar	74

Tabela 24 - Área transparente e opaca por orientação solar do edifício e respetivo ganho anual solar.....	82
Tabela 25 - Área transparente e opaca por orientação solar do edifício e respetivo ganho anual solar.....	84
Tabela 26 - Área transparente e opaca por orientação solar do edifício e respetivo ganho anual solar.....	87
Tabela 27 - Área transparente e opaca por orientação solar do edifício e respetivo ganho anual solar.....	89
Tabela 28 - Área transparente e opaca por orientação solar do edifício e respetivo ganho anual solar.....	91
Tabela 29 - Área transparente e opaca por orientação solar do edifício e respetivo ganho anual solar.....	93
Tabela 30 - Consumos mínimos, obtidos por simulação dinâmica, e respetiva área de envidraçados, em cada uma das orientações da nave da piscina municipal de Silves	106
Tabela 31 - Consumo energético obtido por simulação dinâmica do modelo tridimensional de acordo com o edifício existente.....	107
Tabela 32 - Consumo energético em função das tipologias de envidraçados aplicados no edifício.....	107
Tabela 33 - Poupança anual ao aplicar uma cobertura térmica na piscina desportiva	109
Tabela 34 - Auditoria energética ao edifício (consumo elétrico).....	121
Tabela 35 - Auditoria energética ao edifício (consumo gás propano).....	121
Tabela 36 - Consumo elétrico após redução em 20% do tempo de bombagem de água (consumo elétrico).	122
Tabela 37 - Consumo de propano após aplicação do sistema solar para AQS e aquecimento das águas dos tanques.....	122
Tabela 38 - Desagregação dos consumos do edifício com base no ano de 2011.	125

Lista de abreviaturas, siglas e símbolos

AQS - Águas quentes sanitárias;

ASHRAE - *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*;

Clo - Resistência térmica devida ao vestuário usado pelo ser humano [Clothing = $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$];

CNQ - Conselho Nacional da Qualidade;

DGEG - Direção-Geral de Energia e Geologia;

DOE - *Department of Energy* (Departamento de energia dos Estados Unidos da América);

EUA - Estados Unidos da América;

GD - graus dias [$^\circ\text{C} \cdot \text{dias}$];

INGENIUM - Revista trimestral da Ordem dos Engenheiros, "a engenharia Portuguesa em revista";

Met - Unidade metabólica do corpo humano [W/m^2];

PORDATA - Base de dados Portugal contemporâneo;

RSECE - Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios;

RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios;

SPA - "*Sanum Per Acqua*" - Saúde pela água;

tep - tonelada equivalente de petróleo;

UTA - Unidade de tratamento de ar.

Introdução

Este trabalho centrar-se-á no estudo das questões energéticas relacionadas com os processos térmicos que ocorrem em piscinas interiores e em particular com as do edifício que as envolve. Tem como objetivo estudar a influência da área total de vãos envidraçados no balanço energético das piscinas e determinar uma relação ideal entre as áreas opacas e a envolvente transparente, tendo em conta a sua constituição e orientação geográfica, entre outros parâmetros, de modo a reduzir os consumos de energia associados.

Como as piscinas existem em quase todos os municípios de Portugal, sabemos à partida que, qualquer benefício energético que se possa obter de uma otimização das áreas transparentes nestes edifícios terá, com toda a certeza, um elevado impacto económico e ambiental. Daí, a utilidade prática de trabalhos deste tipo ser sempre relevante e, mais ainda, atualmente, dado o estado em se encontra a economia do país.

Portugal tem uma dependência energética profunda, o que o torna frágil economicamente, sendo esta uma das razões principais para o decréscimo da qualidade de vida dos cidadãos que terão, de uma forma ou de outra, pagar a fatura, e o mais grave é comprometer as gerações futuras. O país importa cerca de 85 % de energia primária que consome, o que corresponde a aproximadamente 8,2 mil milhões de euros, dados relativos ao ano de 2010 [editorial INGENIUM, II série, Março/Abril 2011]. Existe uma evolução no que toca à sensibilização por parte dos cidadãos da utilização das energias renováveis, o que se demonstra no gráfico seguinte retirado da DGEG/MEID e PORDATA.

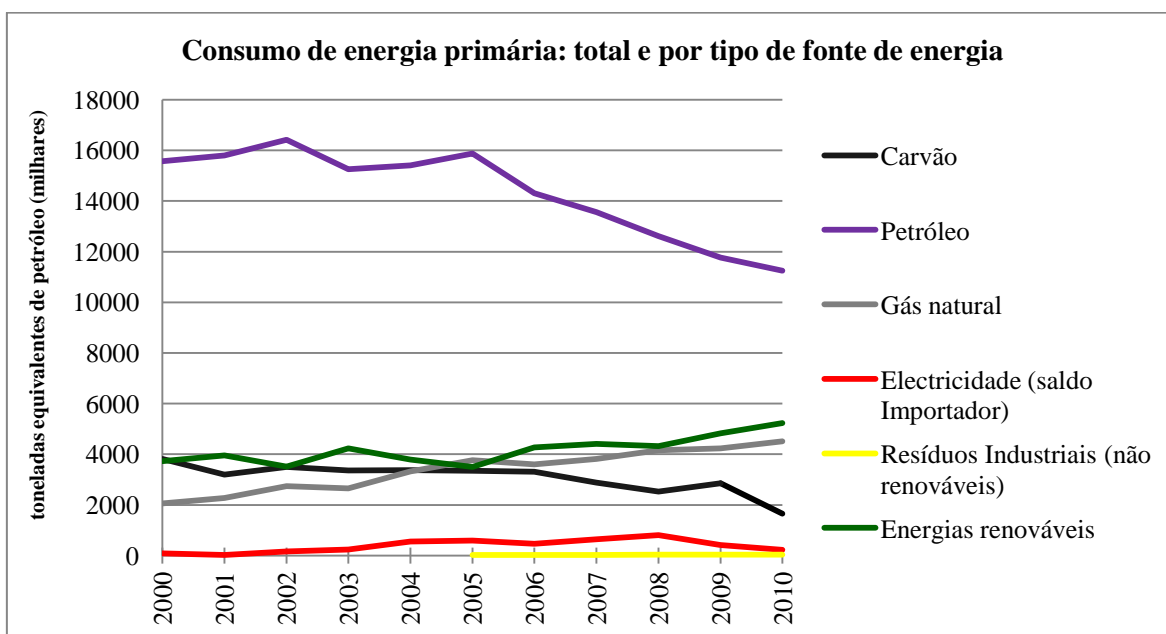


Figura 1 – Tendência do consumo da energia primária em Portugal [PORDATA].

[Escrever texto]

No que toca ao impacto ambiental, a União Europeia quer reduzir as emissões de gases com efeito de estufa até 2020, relativamente ao ano de 1990. Esta medida já não é vista como mera restrição ao uso de combustíveis fósseis. Na verdade, é um importante fator de decisão que aponta no caminho das energias renováveis, assim como para as de maior eficiência energética. Esta mudança de pensamento deve-se, em parte, às alterações climáticas a que temos assistido nos últimos anos, principalmente devido ao aquecimento global do planeta, às secas e inundações cada vez mais frequentes e, claro, às elevadas concentrações de CO₂ e outros gases que contribuem para o efeito de estufa como o metano, o óxido nitroso entre outros, que são responsáveis pelo aumento do buraco de ozono, dificultando, assim, a emissão da radiação infravermelha para o espaço, já que absorvem grande parte dessa radiação proveniente da superfície terrestre.

Tendo em conta estes fatores, por que não pensar em utilizar energias renováveis para o consumo energético de edifícios e, deste modo, evitar ao máximo as importações de energias tipo fóssil e "suja"?

Se pensarmos que bastaria uma hora de energia solar, para fornecer à Terra mais energia do que aquela que toda a população mundial utilizaria num ano inteiro, qual a razão para não se investir nas energias renováveis?

CAPÍTULO I - Enquadramento do trabalho

As piscinas interiores apresentam, em geral, elevados consumos de energia devido às necessidades energéticas requeridas pelo aquecimento da água, pela desumidificação e aquecimento do ar ambiente e pela produção de água quente sanitária (AQS). A estes processos, todos de origem térmica, juntam-se outros dois: a iluminação e a bombagem de água, também com grande expressão no cômputo do consumo global.

Estes consumos são ainda mais significativos no caso das piscinas municipais, devido às maiores dimensões, quer dos tanques de água, quer dos espaços que as envolvem. Estes espaços apresentam elevadas áreas de exposição, onde predominam, em muitos deles, grande parte de superfícies transparentes. O elevado número de utentes será também um fator contributivo para o acréscimo dos consumos, sobretudo pela influência direta que tem no consumo das AQS.

Como é sabido, estes "equipamentos sociais" representam para as Câmaras Municipais, uma fatura elevada, devidos aos custos de exploração e de manutenção, dependendo de consumo de energia elétrica e de gás propano, pelo menos na região do Algarve.

Isto decorre do facto de a temperatura da água ser mantida, durante todo o ano, em valores que rondam os 26 a 28 °C, havendo mesmo, em alguns desses equipamentos, tanques mantidos entre 30 a 32 °C, ao que se junta a manutenção do ar da envolvente a temperaturas da mesma ordem de grandeza. Por outro lado, esse ar requer desumidificação permanente, porque é um dos responsáveis pela evaporação da água a partir das superfícies dos tanques, processo que também exige um elevado consumo de energia, na maior parte das instalações existentes.

Existe um conjunto de soluções tecnológicas que têm vindo a servir as instalações técnicas das piscinas interiores, tanto para o aquecimento da água, como para a desumidificação e o aquecimento do ar. O arrefecimento neste tipo de edifícios, não se coloca com a mesma acuidade, já que se apresenta como pouco tolerado pelos utentes das piscinas, pois este processo pressupõe a insuflação de ar a baixas temperaturas e os utentes não dispõem de qualquer isolamento térmico na superfície do seu corpo.

Desse conjunto fazem parte as caldeiras ou as bombas de calor, para o aquecimento da água dos tanques, e, quase sempre, as bombas de calor para a desumidificação do ar ambiente, bem como para o seu aquecimento, muitas vezes complementadas com caldeiras.

As envolventes destes espaços apresentam grandes áreas de exposição, com muitas superfícies envidraçadas, mas em que a avaliação em termos de balanço energético nem sempre é bem conseguida. Os envidraçados, são em geral, menos "isolantes térmicos" que os elementos opacos da envolvente, mas em simultâneo são contribuintes líquidos para o balanço energético, uma vez

que permitem ganhos solares que ajudam no aquecimento ambiente e também na iluminação natural.

Os regulamentos destinados a garantir a qualidade térmica da envolvente e das instalações de climatização dos edifícios também são aplicáveis aos das piscinas interiores, e nesse sentido há um conjunto de requisitos que deverão, obrigatoriamente, ser cumpridos, os quais serão também avaliados.

Através deste trabalho pretende-se, em primeiro lugar, avaliar o desempenho térmico da envolvente de uma piscina municipal que seja representativa de um universo que no Algarve terá mais do que 15 exemplares, tendo-se escolhido a piscina municipal de Silves. Pretende-se verificar o contributo da área transparente no balanço energético e, por fim, encontrar regras que se possam passar para o projeto de novas instalações, ou para a reconversão das já existentes.

CAPÍTULO II - Revisão bibliográfica

II.1 – A conservação de energia em piscinas

As piscinas interiores aquecidas permitem aos utentes fazer exercício físico e terapêutico, durante todo o ano. No entanto, a construção e a manutenção deste tipo de instalações, que proliferam por todo o território, apesar dos benefícios a nível de saúde e bem estar, têm um elevado custo energético e ambiental. Mas existem maneiras de reduzir esses custos, tanto a nível operacional como em termos de manutenção dos equipamentos, implementando:

- A redução dos consumos de água;
- O empreendimento de medidas de racionalização energética, quando não utilizadas.

Os sistemas de aquecimento solar para a água dos tanques das piscinas, assim como para a produção das AQS, por assentarem numa forma de energia renovável, permitem uma redução importante nos custos de energia, principalmente no consumo de gás propano e contribuem para a redução da emissão de gases responsáveis pelo efeito de estufa.

II.1.1 – Otimização das bombas de circulação e do sistema de filtragem

Num estudo realizado pelo “Center for Energy Conservation at Florida Atlantic University” [1], evidenciou-se a possibilidade de poupar energia, mantendo a temperatura ideal de conforto da água:

- Utilizando bombas de maior eficiência e de menor potência;
- Diminuindo o tempo de funcionamento das bombas por dia.

Neste estudo [1], baseado em 120 piscinas, mostra-se que alguns proprietários conseguiram diminuir as despesas relacionadas com os consumos das bombas em cerca de 75% relativamente aos custos iniciais, isto é, antes de procederem às alterações indicadas pelo estudo.

De seguida, apresenta-se um quadro resumo dos resultados obtidos¹:

¹ - Este estudo foi feito em 2000, logo os custos não estão atualizados ao ano atual.

Tabela 1 – Poupança energética após ações de melhoria nos equipamentos técnicos da piscina [1].

Estado	Consumo de Energia [kWh/ano]	Custo Energético [USD/ano]	Poupança (%)
Original	3000	24000	-
Bombas redimensionadas (menor potência)	1800	14000	40
Redução do tempo de funcionamento (60%)	1200	10000	60
Combinação das duas ações anteriores	720	6000	75

A tabela indica a redução de custos obtidos em piscinas típicas exteriores de moradias unifamiliares, localizadas na Florida. Como se sabe, devido à maior duração da estação de verão, a despesa deste estado é, em média, superior à dos outros estados do país onde foi efetuado o estudo (EUA).

II.1.2 – Dimensionamento das bombas

Existe o conceito errado, nos utilizadores, de que quanto maior for a potência, tanto melhor será a bombagem da água. De facto, é pior, sobretudo quando considerados os seguintes aspetos:

- Maior custo do equipamento (investimento inicial mais elevado);
- Maior consumo de energia;
- Maior custo de manutenção.

Este estudo, para as piscinas típicas utilizadas pelos consumidores comuns no estado de Florida, demonstrou que as bombas a utilizar podiam ter potência inferior a 0,56 kW. Logo, bombas mais "pequenas" levaram à redução dos custos. O estudo comprovou, igualmente, que uma maior redução de custos foi possível graças à diminuição das perdas de energia nas tubagens de circulação do sistema hidráulico da piscina, tanto em termos de resistência, ou perdas de carga, como nos tempos de funcionamento.

A redução das perdas de carga, pode ser feita da seguinte forma:

- Aumentando o diâmetro das tubagens;

- Diminuindo o comprimento total do ramal;
- Evitando curvas a 90 graus, usando para isso tubo flexível e curvas mais suaves e assim diminuir as perdas de carga nas zonas mais críticas;
- Substituindo os filtros inadequados por maiores, de forma a diminuir a resistência ao caudal da água que passa por eles, sem comprometer evidentemente a filtração da água.

Com estas medidas consegue-se uma redução de 40% de consumo de energia elétrica relativo à bombagem da água.

II.1.3 – Tempo de circulação

Outra maneira de reduzir consumos de energia é diminuir o tempo diário de operação das bombas. Na maioria dos casos estudados o tempo de funcionamento das bombas é exagerado atendendo às necessidades reais exigidas. Para mudar esta situação tem de ser explicado aos proprietários as razões que estão por detrás da necessidade de circulação das águas da piscina.

A circulação da água promove a mistura química dos compostos adicionados de forma homogénea à água do tanque, para efetuar, assim, o tratamento bacteriológico da mesma. Enquanto a água circula, os produtos químicos são adicionados e misturados por toda a massa de água do tanque da piscina. Para além disso, a circulação da água promove a filtração de toda a água existente na piscina, eliminando os detritos acumulados ao longo do dia.

Não é necessário repor totalmente a água do tanque para remover os detritos e promover a sua limpeza. Uma recirculação completa dura, geralmente, entre 6 e 12 horas por dia. Mas este tempo é por vezes sobredimensionado, já que a maioria dos restos de sujidade ou detritos flutuam, ou então depositam-se no fundo dos tanques das piscinas, podendo ser removidos por uma escumadeira ou utilizando um sistema de vácuo. Tudo isto em piscinas privadas, já que nas públicas os tempos de recirculação são mais curtos.

A maioria das piscinas possui um par de tomadas de vácuo utilizadas somente para a limpeza da piscina. Essas portas são ligadas a aspiradores da piscina, que funcionam mais ou menos como um aspirador tradicional. As tomadas de vácuo podem ter o seu próprio sistema de bombeamento, mas na maioria das piscinas, são controladas pela bomba principal. Depois de passar pelos vários drenos, a água flui para o estágio de filtração.

Aumentar a circulação diária de água não reduz, necessariamente, o crescimento das algas nestas piscinas. Logo, em vez disso, utilizam-se produtos químicos adequados e auxiliados por uma limpeza das paredes da piscina, esfregando-as manualmente ou com auxílio de utensílios mecânicos.

Estes são os melhores métodos para reduzir o crescimento das algas. Na Florida, o estudo indica que grande parte das pessoas que reduziram o sistema de bombagem para menos de 3 horas por dia continuaram satisfeitas com a qualidade da água.

Em média, estas ações reduzem em 60% o consumo elétrico, isto é, 60% de poupança na fatura anual elétrica. Combinando isto com a redução das potências das bombas utilizadas, redimensionando-as de forma adequada (normalmente são sobredimensionadas), os proprietários das piscinas conseguem poupar cerca de 75% da despesa elétrica.

Uma última medida para poupar na despesa, de maneira muito simples, é utilizar um controlador que permita ativar a bomba várias vezes ao dia em períodos muito curtos de duração de bombeamento, evitando assim, os problemas relacionados com os detritos.

II.1.4 – Sumário de Recomendações

Os proprietários das piscinas podem poupar uma grande quantidade de energia e conseqüentemente conseguir uma redução da despesa com a piscina se:

- Escolherem a bomba de menor potência, e os filtros que menos interfiram com a circulação da água, isto é, maior filtro possível para assim diminuir ao máximo as perdas de carga na passagem da água pelo filtro;
- Diminuírem as perdas de carga na tubagem (aumento do diâmetro dos tubos e diminuição dos cotovelos);
- Reduzirem o tempo de bombeamento de água (tempos de circulação inferiores a 3 horas);
- Instalarem um temporizador (autómato/controlador programável).

No entanto, é preciso ter em mente que todas as piscinas são diferentes. Circunstâncias como limpeza, necessidades de aquecimento, clima e o tamanho da piscina, influenciam de forma acentuada o potencial das poupanças energéticas.

II.2 – Medições e análise da evaporação numa piscina exterior inativa

As taxas de evaporação e as cargas térmicas de uma piscina exterior e inativa, de água aquecida, foram analisadas. A piscina está localizada nos Estados Unidos da América (*Fort Collins, Colorado*).

A temperatura da água da piscina, a temperatura do ar, a humidade, a radiação térmica, a velocidade do vento e as perdas de água devido à evaporação foram medidas em 21 períodos, com durações compreendida entre 1,1 a 16,2 horas, medições feitas entre Agosto e Setembro de 1992.

Todos os dados obtidos foram analisados e comparados com as equações utilizadas para o cálculo das taxas de evaporação de acordo com o recomendado em *Applications Handbook da American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE)*. A taxa de evaporação calculada foi de 72% do valor teórico calculado pela *ASHRAE*, com velocidades do vento de 2,2 m/s [2].

Dois testes realizados à noite mostraram o seguinte:

- Perdas de energia de 56% por evaporação;
- Perdas de energia de 26% por radiação;
- Perdas de energia de 18% por convecção.

Também foi encontrada uma correlação entre as perdas radiativas e a temperatura, de acordo com as gamas utilizadas nos ensaios realizados. Nos EUA existem mais de 5,9 milhões de piscinas aquecidas e SPAS (National SPA and Pool Institute, 1987 & 1988), consumindo anualmente energia a rondar os milhares de milhões de dólares. Devido a estes custos, o “*U.S. Department of energy (DOE)*” lançou uma campanha para redução de custos, a denominada “*Energy Smart Pools*”.

As perdas devidas à evaporação são o elemento chave neste estudo, já que são as perdas mais significativas. Vários técnicos utilizam os métodos de cálculo recomendados pela *ASHRAE*, mas quando aplicados às piscinas, existe alguma diferença de resultados e daí a necessidade de reajuste para este caso específico. Esta diferença deve-se à falta de resultados práticos no cálculo da taxa de evaporação em superfícies de água livre (exemplos: piscinas, spas, etc.). Por este motivo, o *DOE* patrocinou uma série de testes e ensaios para cálculo de cargas térmicas totais e taxas de evaporação em piscinas. Estes ensaios foram conduzidos pela “*Solar Energy Applications Laboratory at Colorado State University*”. Os procedimentos e bases usados nos testes e na análise dos resultados em piscinas exteriores desocupadas, são abordadas em seguida.

II.2.1 – Fundamentos teóricos para o cálculo da taxa de evaporação em piscinas exteriores

A equação utilizada para cálculo de taxas de evaporação retirada da *ASHRAE Handbooks* (1991) foi baseada em experiências, inicialmente por Carrier, em 1918;

$$W = \frac{(95 + 37,4 \times V) \cdot (P_w - P_a)}{Y} \quad (1)$$

W – Taxa de evaporação [lb/hr.ft²];

V – Velocidade de vento sobre a superfície da água [MPH];

P_w – Pressão de vapor saturado para a temperatura da água [in Hg];

P_a – Pressão parcial de vapor à temperatura da ar [in Hg];

Y – Calor latente de mudança de fase líquido-vapor da água à temperatura da piscina [Btu/lb].

A equação em unidades do sistema internacional tem a seguinte forma:

$$\frac{\dot{m}}{A} = \frac{(42,6 + 37,6 \times V_w) \cdot (P_w - P_a)}{\Delta H_v} \quad (2)$$

$\frac{\dot{m}}{A}$ – Taxa de evaporação [kg/(m².h)];

V_w – Velocidade do vento sobre a superfície da água [m/s];

P_w – Pressão de vapor saturado para a temperatura da água [mm Hg];

P_a – Pressão parcial de vapor à temperatura do ar [kJ/kg];

ΔH_v – Calor latente de mudança de fase líquido-vapor da água à temperatura da água da piscina [kJ/kg].

Na publicação *Applications Handbook da ASHRAE* de 1991 existe uma nota que a equação usada para o cálculo estimativo da evaporação se aplica a piscinas em uso e ativas, já que quando se consideram piscinas noutras condições a evaporação pode descer em cerca de 50% [2].

A precisão da equação da evaporação da *ASHRAE* para piscinas desocupadas e ocupadas foi questionada na sua base por investigadores alemães (Biasin, Von & Krumme, 1974; Reeker, 1978; Labohm, 1971). Os relatórios destes autores foram baseados nos condensados retirados por desumidificadores em função da diferença de pressão entre a água da piscina e o ar sobre a água da piscina.

Estes autores indicam valores de condensados recuperados para piscinas desocupadas substancialmente menores que a evaporação determinada usando a equação acima mencionada (1). No entanto a quantidade de condensados recuperados pelos desumidificadores, podem ser considerados menores que a evaporação devido às perdas por ventilação e condensação nas paredes do edifício (superfícies interiores do edifício com temperaturas tais que permitam a condensação do ar quando em contacto com estas).

Testes feitos no “*Colorado State University*” em Abril de 1992 numa piscina interior (Smith, 1992) em que foram medidos, em condições constantes e controladas, as taxas de evaporação. Estes ensaios foram feitos em vários períodos que excederam as 50 horas, observando-se o seguinte resultado:

- 74% dos valores obtidos estão de acordo com a equação da *ASHRAE* (comparando os resultados práticos com os resultados teóricos da equação da *ASHRAE* para o cálculo da taxa de evaporação).

Para o caso de piscinas exteriores, (Root, 1993) estimou-se na Florida a energia envolvida a partir de alguns resultados. Nas piscinas exteriores relativamente às interiores temos:

- Elevada taxa de evaporação;
- Elevadas perdas por radiação;
- Elevadas perdas por convecção.

Esta diferença entre as piscinas exteriores e interiores, prende-se com a velocidade do vento, como pode ser observado na equação recomendada pela *ASHRAE* (quanto maior a velocidade do ar, mais elevada será a taxa de evaporação) e pela *Carrier Corporation*.

Rower et al desenvolveram em laboratório, com medições feitas, coeficientes aplicados à velocidade do vento. Baseado em seis referenciais, o gráfico seguinte mostra a influência da velocidade do vento na taxa de evaporação.



Figura 2 – Influência da velocidade do vento na taxa de evaporação de uma piscina [2].

Existe uma tendência linear em todos os modelos de cálculo, verificando-se o aumento da taxa de evaporação à medida que a velocidade do ar aumenta.

II.3 – Comportamento térmico de piscinas cobertas - controlo da evaporação

II.3.1 – Conforto e trocas de calor

As piscinas cobertas têm um problema associado ao elevado consumo energético sendo a causa deste comportamento a necessidade de manter a temperatura de conforto da água da piscina, assim como a ventilação do espaço da envolvente.

No balanço energético deste tipo de estruturas, a temperatura e a humidade do ambiente interior, necessárias por razões de conforto dos banhistas, em conjunto com a já mencionada temperatura da água, levam a perdas de calor, devidas principalmente à evaporação da água. Para manter estas condições de forma permanente é necessário remover o vapor de água que é transferido por evaporação para o ar ambiente interior, evitando assim condensações dessa massa de ar quando em contacto com a envolvente que se encontra a temperaturas mais frias.

Para as piscinas cobertas aquecidas, as temperaturas recomendadas situam-se ente 24 e 27 °C. A temperatura do ar interior é, normalmente superior a estas em 1 ou 2 °C. A humidade relativa deverá ter um valor que não conduza a desconforto dos banhistas e, em simultâneo, não constitua risco de condensação de vapor de água sobre as superfícies envolventes. As condições de

temperatura e de humidade do ambiente interior são extremamente influentes no valor das perdas por evaporação a partir da superfície da piscina, podendo mesmo afirmar-se que apenas deste ponto de vista, seria possível garantir condições no ambiente interior da piscina que evitassem a evaporação. No entanto, estas condições não seriam adequadas para o conforto dos banhistas, nem tão pouco seriam energeticamente vantajosas, em virtude da elevada diferença de temperaturas entre o ambiente interior e o exterior, que daí resultaria.

A razão pela qual se fala em perdas de calor através da envolvente, tem a ver com o fluxo de calor do interior para o exterior que ocorre com maior preponderância ao longo do ano. No entanto, é sabido que na realidade este fluxo inverte o sentido transformando-se em ganhos, pelo menos em alguns períodos, pelo contributo das áreas transparentes elemento fulcral nos ganhos solares da nave da piscina.

Relativamente às condições de conforto, existe a necessidade de conjugar a humidade relativa, temperatura ambiente interior e temperatura da água da piscina de forma adequada para três diferentes tipos de ocupantes, diferentes tanto em índice de vestuário como no de atividade. Nas piscinas cobertas aquecidas existe a necessidade de ter as condições interiores constantes, sabendo que os ocupantes são os banhistas, os funcionários e ainda os espetadores. Para um banhista com um índice de atividade de 1 Met (58,2 [W/m²]) e um índice de isolamento térmico do vestuário de 0,1 Clo (0,016 [m².°C/W]) é normal adotar uma temperatura do ar entre 27 a 29 °C e uma humidade relativa entre 50 a 60 %. É importante referir que as condições variam drasticamente quando o banhista acaba de dar um mergulho na piscina. Esta variação das condições de conforto deve-se ao efeito do arrefecimento evaporativo na superfície da pele do banhista. Consegue-se minimizar este fenómeno com recurso a sistemas radiativos e de convecção associada à distribuição do ar nas zonas imediatamente próximas das piscinas.

Quanto aos critérios a ter em conta aquando da seleção da temperatura da água das piscinas é importante não esquecer que elas devem ser diferenciadas de acordo com a utilização. Para as piscinas desportivas as temperaturas estão entre os 24 e os 26 °C e para fins de lazer entre 26 e 28 °C. Para fins terapêuticos, os valores são mais elevados chegando a ultrapassar os 30 °C. Os critérios de condições de conforto por tanque e tipo de utilização estão presentes na diretiva CNQ N° 23/93.

Verifica-se que a massa de água troca calor através da sua envolvente, sendo definida pelas paredes e fundo do tanque e pela interface com o ar ambiente interior da nave. As trocas de calor resultam da condução pela envolvente do tanque, da radiação e da evaporação através da interface ar-água. Dentro destas trocas de calor, a que maior relevo tem, é a causada pela evaporação, obrigando ao aquecimento da água do tanque e à desumidificação do ar do ambiente interior da nave. A potência

associada ao aquecimento da água é exclusivamente dependente da taxa de evaporação e é estimada através da seguinte expressão:

$$\dot{Q}_{aq} = \dot{m}_{ag} \cdot h_{fg} \quad (3)$$

em que:

\dot{Q}_{aq} - potência associada ao aquecimento da água;

\dot{m}_{ag} - taxa de evaporação;

h_{fg} - calor latente de vaporização da água à temperatura da piscina.

No que toca à necessidade de controlar a humidade na nave é fundamental que o sistema de climatização remova os ganhos de humidade no interior do espaço. Existem dois sistemas bem distintos para efetuar este controlo. O primeiro, representado na figura 3, consiste na introdução de ar exterior mais seco que o do interior; o segundo tira partido dum processo mecânico de desumidificação, é ilustrado na figura 4.

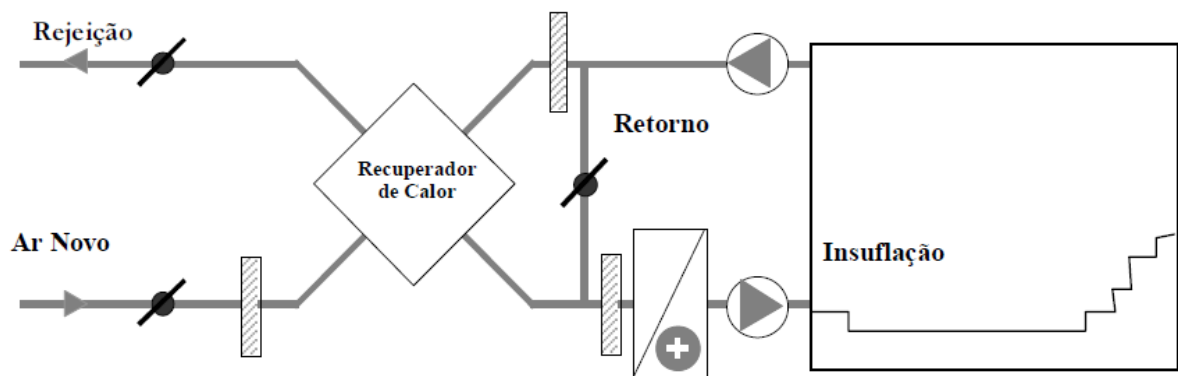


Figura 3 – Sistema com controlo de humidade através da introdução de ar exterior [3].

No primeiro sistema constata-se que apenas é necessário fornecer energia elétrica aos ventiladores para controlo de humidade e calor para aquecimento do ar a insuflar com vista ao controlo da temperatura ambiente. Normalmente estes sistemas têm recuperação de calor entre o ar novo e o ar rejeitado.

No segundo sistema ilustrado abaixo, o ar a insuflar no ambiente é composto por uma mistura de ar novo e de ar recirculado, ao qual é desumidificado e depois aquecido com vista ao controlo do

estado higrométrico do ambiente da piscina. Este sistema é baseado num ciclo frigorífico, o qual recupera o calor do condensador para aquecer o ar e/ou, a água da própria piscina.

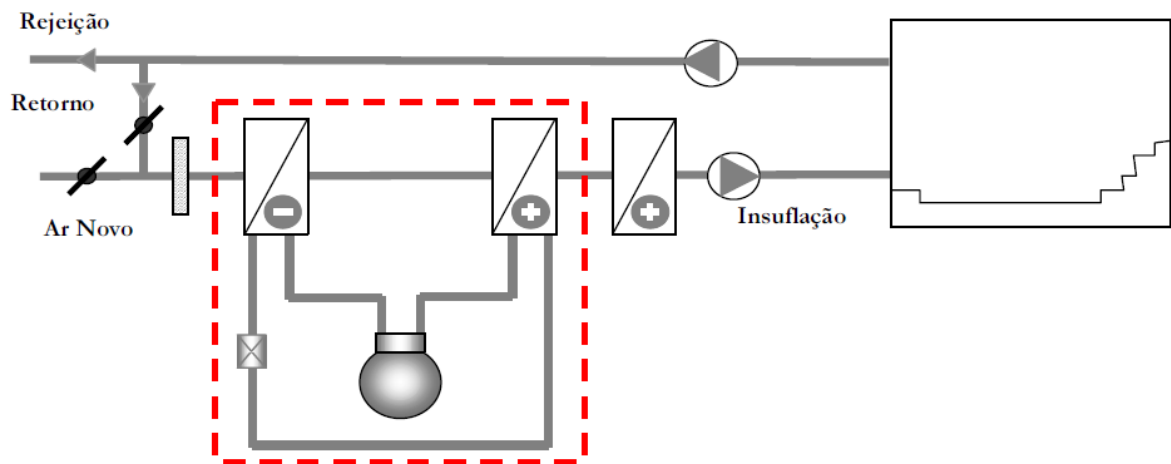


Figura 4 – Sistema com controlo de humidade através de desumidificação [3].

Relativamente à quantidade de ar novo movimentado, há que referir que os sistemas diferem entre si: o primeiro garante, com elevada eficiência, as necessidades de ventilação do próprio ambiente, já que durante grande parte do tempo, utiliza apenas ar exterior; no segundo sistema essas necessidades são, em geral, satisfeitas através de um caudal fixo de ar novo.

Ainda é possível utilizar um sistema misto que tire vantagens de cada um dos sistemas anteriores.

II.3.2 – Evaporação na interface água-ar

A diferença de concentrações de vapor de água entre a interface água-ar e o ar ambiente, considerando uma região afastada da influência do plano de água, é o motor de transferência de massa associada à evaporação. Os mecanismos que influenciam a sua intensidade são os de convecção e de difusão em forma combinada. A convecção resulta da ação mecânica de distribuição de ar e da diferença de densidades. A difusão, por sua vez, depende do gradiente de concentrações de vapor de água acima da referida película. Constata-se que a influência da difusão poderá ser significativa apenas no caso em que não exista ventilação mecânica e que o gradiente de densidade do ar segundo a altura seja negativo.

Para determinar a quantidade de água evaporada, por unidade de superfície molhada, em kg/s.m², pode-se usar a equação seguinte:

$$\dot{m}_{ag} = \frac{(0,0887 + 0,07815 \cdot v)}{h_{fg}} \cdot (P_w - P_a) \quad (4)$$

em que:

m_{ag} - taxa de evaporação em kg/s ;

v - velocidade do ar, em m/s, para valores entre 0,05 e 0,15 m/s;

h_{fg} - calor latente de vaporização da água à temperatura da piscina em kJ/kg;

P_w - pressão de vapor saturado à temperatura da piscina em kPa;

P_a - pressão de vapor no ar ambiente interior em kPa.

A equação (4) é uma correlação adequada para calcular o fluxo de massa transferido desde a superfície da piscina até ao ar ambiente interior, devido ao mecanismo de convecção. Existem outras equações idênticas obtidas experimentalmente, incluindo as mesmas variáveis conduzindo a valores semelhantes.

Foi tomado como exemplo um piscina com temperatura da água de 26 °C e velocidade do ar sobre a superfície da água de 0,1 m/s. Os resultados teóricos obtidos usando esta correlação e variando o estado higrométrico do ar interior, são os seguinte:

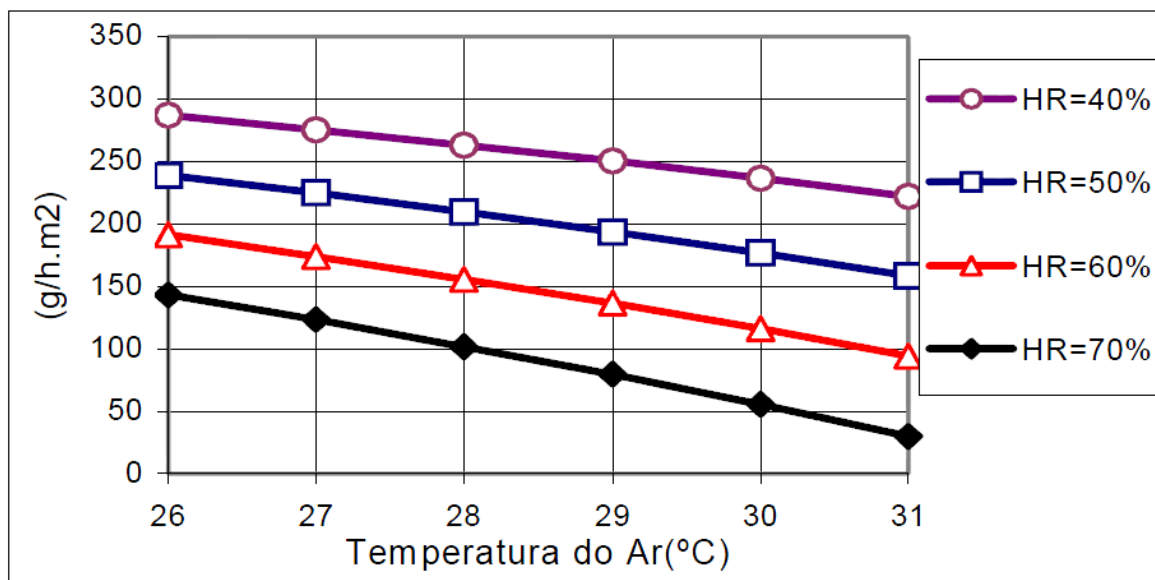


Figura 5 – Taxa de evaporação obtida através da equação 4, para $v = 0,1$ m/s [3].

Agora para uma velocidade do ar de 0,05 m/s e utilizando a mesma correlação obtém-se:

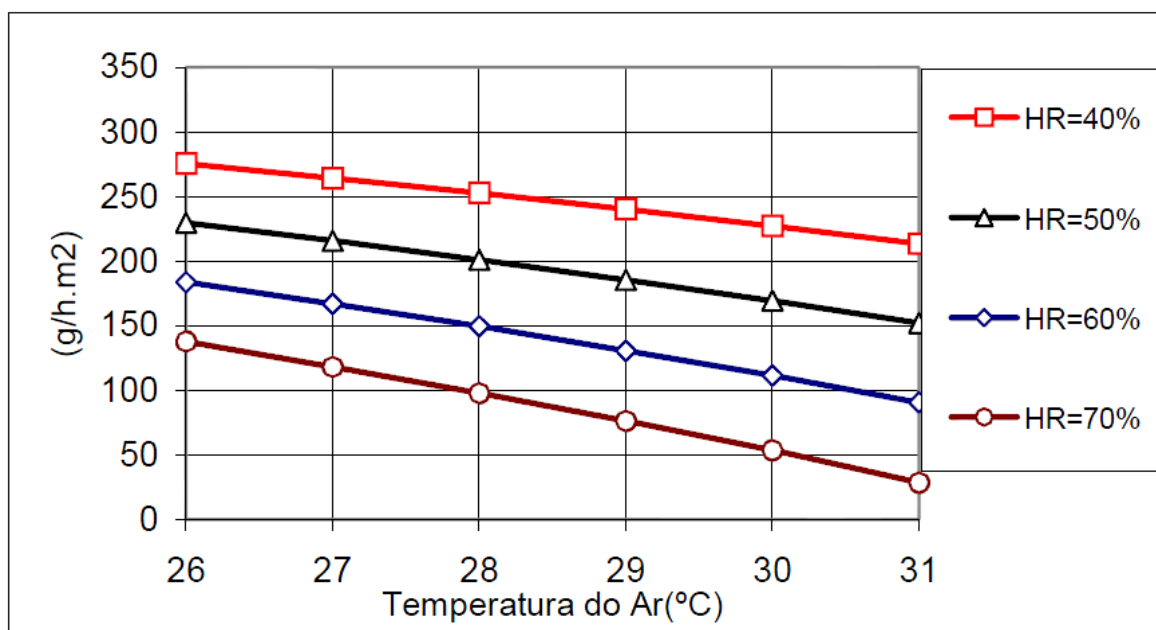


Figura 6 – Taxa de evaporação obtida através da equação 4, para $v = 0,05$ m/s [3].

Observando os gráficos da figura 5 e 6, pode concluir-se que a taxa de evaporação depende, de forma clara, do estado higrométrico do ar interior, que é caracterizado pelo binómio humidade relativa e temperatura do ar interior. Ficou evidente que a velocidade do ar tem uma pequena influência na evolução da taxa de evaporação, ou seja, à medida que aumenta a velocidade do ar, a taxa de evaporação também aumenta, mas não de forma significativa. Em ambos os gráficos podemos concluir que à medida que a humidade relativa interior desce, mantendo a temperatura do ar interior e a da água da piscina constantes, a taxa de evaporação aumenta de forma acentuada. Mantendo a humidade relativa constante, variando apenas a temperatura do ar interior, observa-se que a taxa de evaporação diminui com o aumento da temperatura do ar interior, tomando em atenção a manutenção constante da temperatura da piscina, assim como a humidade relativa.

As condições higrométricas indispensáveis para que se verifique apenas fenómenos difusivos de troca de massa em regimes de baixas velocidades do ar são as que graficamente se podem deduzir através da análise do gráfico seguinte. Neste gráfico aparece bem destacada uma linha de volume específico contante do ar húmido cujo valor é de $0,858$ m³/kg, para o caso particular da água da piscina se encontrar a 26°C.

Para este caso, todos os pontos localizados à direita desta linha conduzem a situações estáveis, do ponto de vista da obtenção da difusão de massa por oposição aos pontos localizados à esquerda da referida linha.

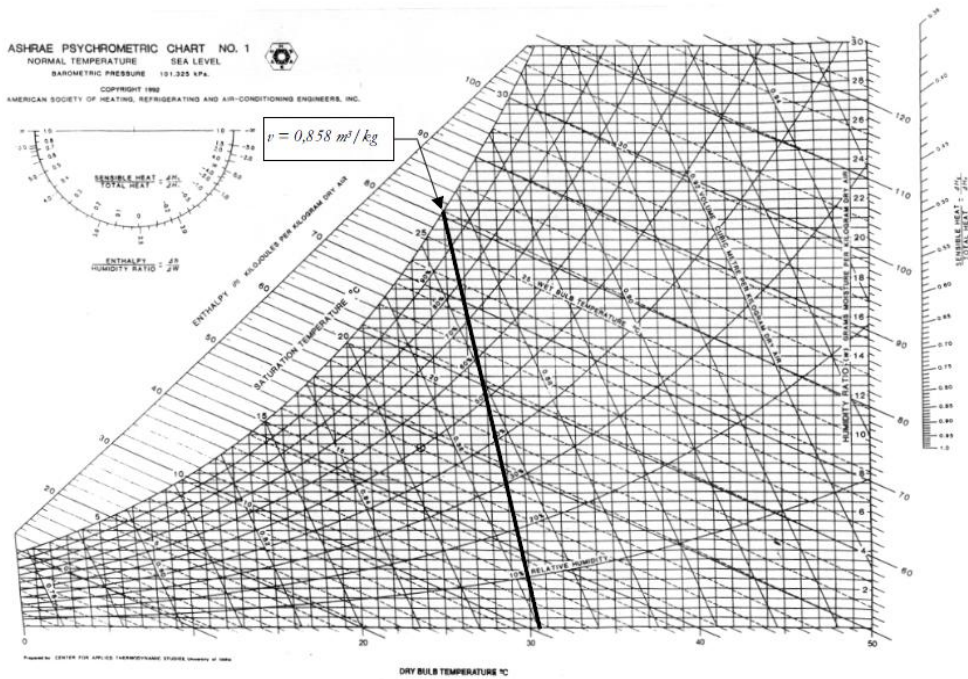


Figura 7 – Diagrama psicrométrico representando uma linha de volume específico constante [3].

Nas curvas apresentadas no gráfico da figura 8, caracterizou-se experimentalmente uma piscina sem atividade, com a temperatura de água constante, 26 °C, para variadas condições interiores.

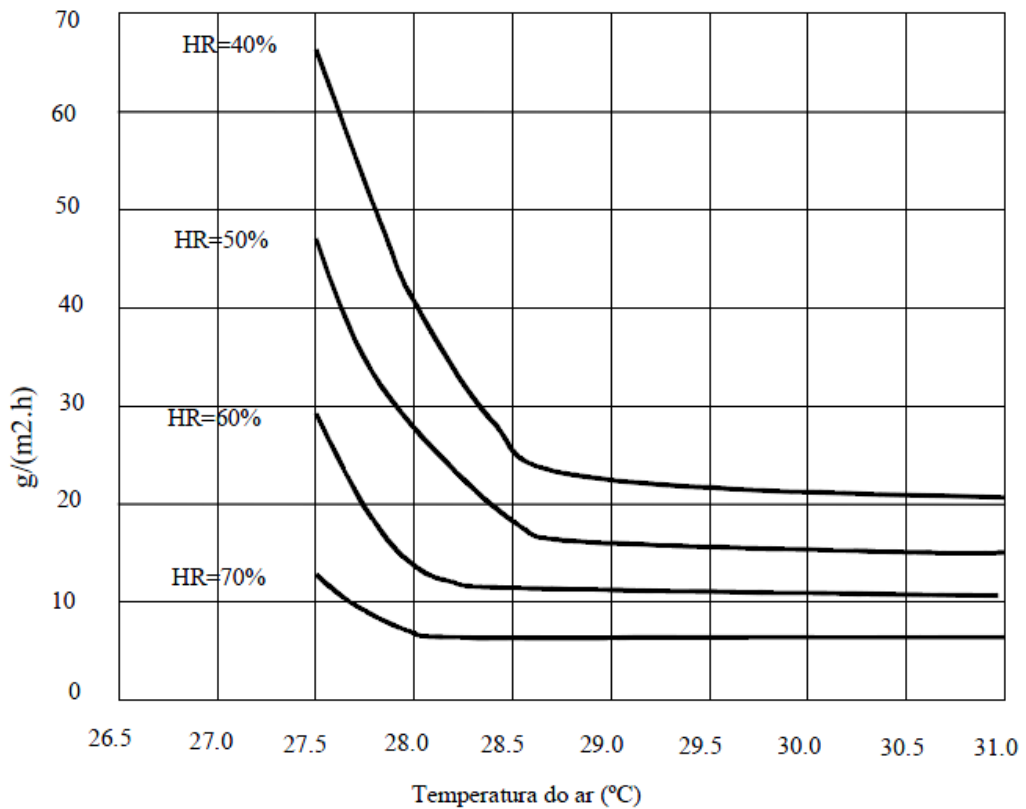


Figura 8 – Taxa de evaporação obtidas a partir da referência [4].

Analisando o último gráfico, verifica-se que à medida que vai aumentando a temperatura do ar interior, mantendo-se uma humidade relativa constante, o potencial para a troca de massa diminui e, por sua vez, a taxa de evaporação decresce. A diminuição da taxa de evaporação tende para um mínimo constante e o facto desse valor estabilizar, pode dever-se à inversão dos gradientes de densidade do ar tornando os fenómenos difusivos preponderantes.

CAPÍTULO III

Neste capítulo apresenta-se um resumo dos consumos energéticos da piscina municipal de Silves, desde o ano 2008 até meados de julho de 2012. Depois desta análise, faz-se um levantamento das possíveis alternativas energéticas pelas quais se poderá optar, a fim de evitar os elevados consumos energéticos que este tipo de instalações normalmente apresenta por todo o território nacional. Esta análise foi feita entre os meses de julho e setembro de 2012, tendo sido disponibilizado, por parte dos responsáveis, total acesso às instalações das piscinas municipais de Silves para o levantamento necessário à elaboração do estudo.

III.1 – Consumos gerais de eletricidade e propano das piscinas municipais de Silves

Depois do levantamento feito nos livros de registo interno, assim como nos dados da faturação e consumo disponibilizados pela equipa da manutenção, verificou-se que a faturação do gás propano é o que maior peso tem na unidade. Na figura 9 faz-se a representação dos consumos anuais de energia, em termos energia primária, desde 2008, até ao mês de Julho de 2012.

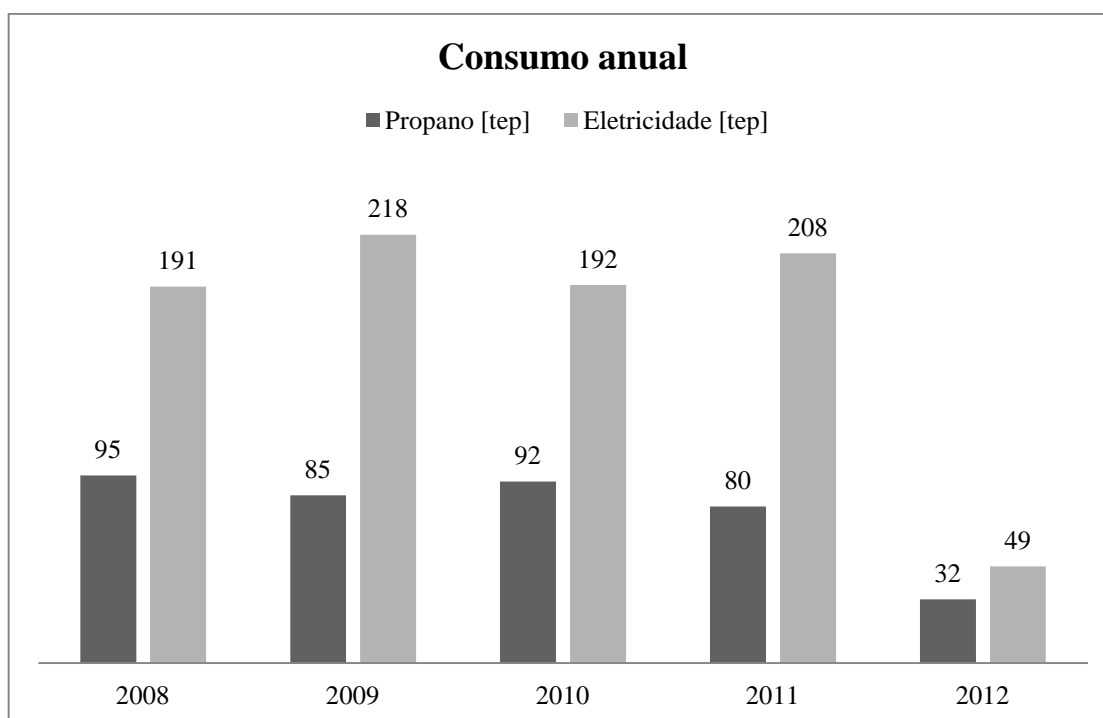


Figura 9 – Consumo anual de gás propano e eletricidade convertido em toneladas equivalentes de petróleo.

Como se observa, a quantidade equivalente de petróleo devido à energia elétrica, é muito superior à do gás propano, logo as emissões de CO₂ para a atmosfera causados pela eletricidade são, neste caso, superior. Os valores oscilam entre 80 tep e 95 tep para o gás propano e entre 191 tep e 218 tep correspondentes ao consumo elétrico. O consumo global anual em toneladas equivalentes de

petróleo da unidade fica então compreendida ente os 284 tep e os 303 tep. Podemos concluir que existe uma estabilidade nos consumos energéticos entre o ano 2008 e 2011, com uma variação de 6% considerando o ano de maior consumo.

Relativamente ao impacto económico nos custos associados a estas duas fontes de energia, a figura 10 evidencia os valores gastos nos períodos anteriormente referidos.

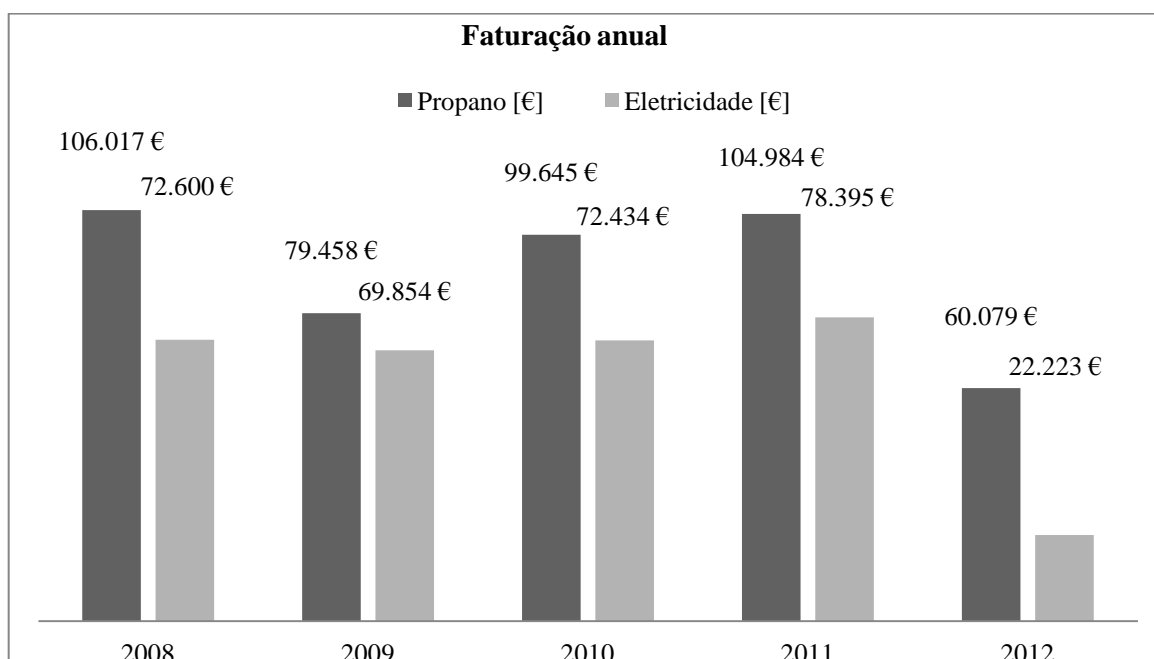


Figura 10 – Faturação da energia elétrica e gás propano entre 2008 e julho de 2012.

O valor total gasto desde 2008 em consumo energético para o edifício ascende aos 760000 €. Daí, a importância capital em arranjar alternativas energéticas para este tipo de edifícios. Elas existem, mas é preciso haver vontade política para mudar, por exemplo, para energias renováveis, ausentes de emissões de gases de efeito estufa para o ambiente.

Efetuando um pequeno cálculo, somando a totalidade dos custos da energia elétrica e propano ao longo deste período, temos o seguinte resultado em peso percentual:

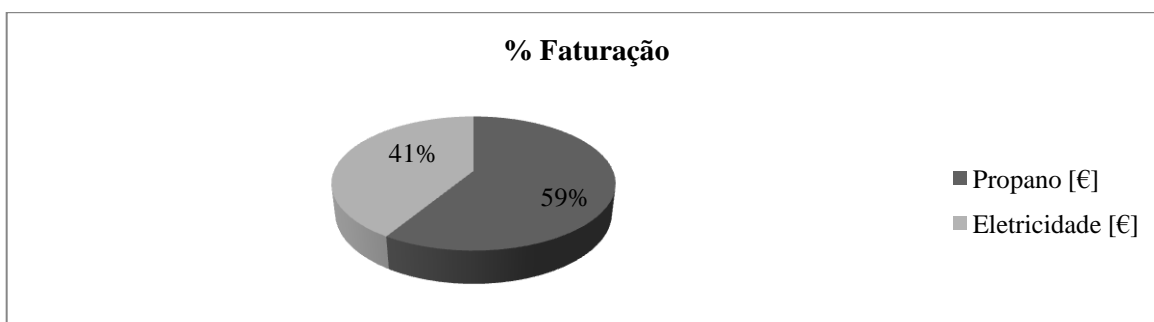


Figura 11 – Percentagem do custo da energia elétrica e gás propano entre 2008 e julho de 2012.

O contributo desde 2008 até julho de 2012 em faturação de gás propano foi de 59%; portanto, o maior peso nos custos energéticos deste edifício de utilidade pública é o consumo de gás propano.

Em termos de energia final, a figura seguinte mostra a contribuição do gás propano e de eletricidade, em kWh, para as necessidades energéticas do edifício das piscinas municipais de Silves.

Na figura 12, mostra-se a percentagem, em kWh, da energia total consumida desde 2008 a julho de 2012.

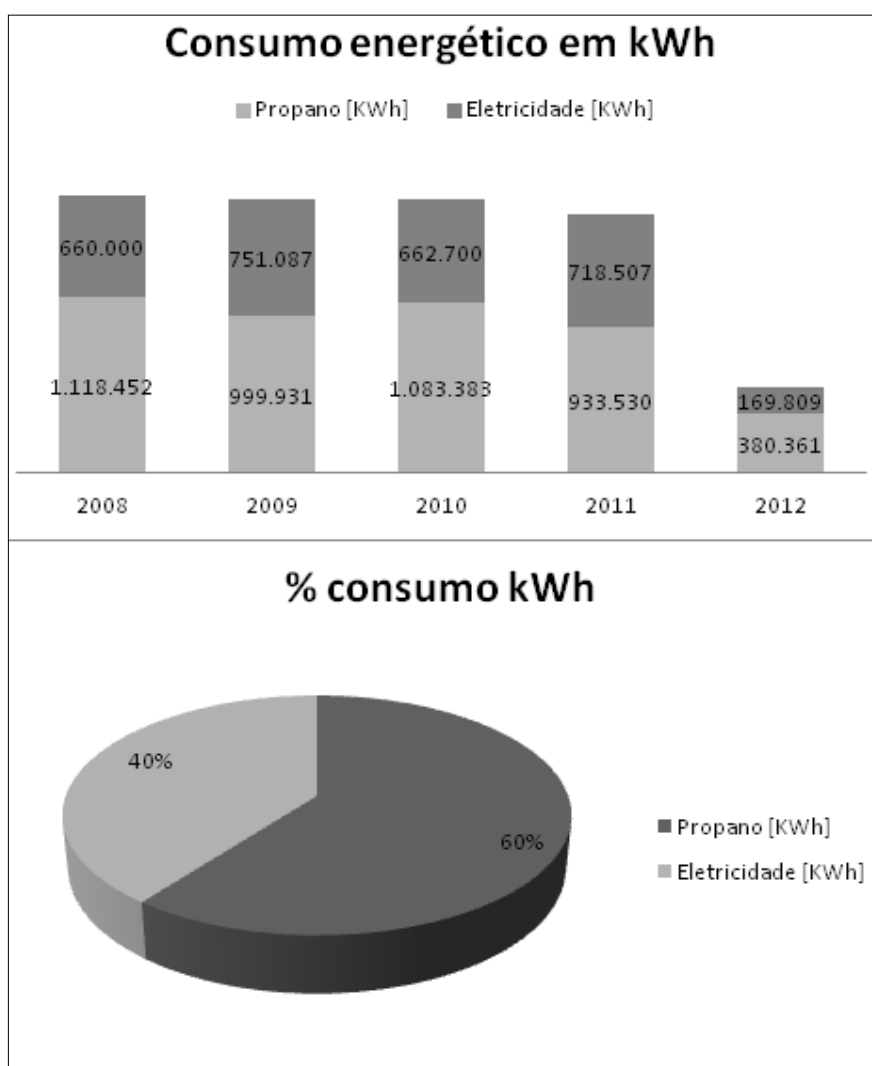


Figura 12 – Consumo energético em kWh.

É importante salientar que o consumo do gás propano é devido às necessidade das águas quentes sanitárias, do aquecimento das águas dos tanques da piscina desportiva, da piscina de aprendizagem, do chapinheiro, do jacuzzi e climatização. No jacuzzi a renovação total da água é feita diariamente, implicando uma quantidade diária de necessidades de aquecimento da água nova para a renovação desse tanque. Também a água quente alimentada pelas caldeiras vai fornecer

calor ao ar das utas², o qual é responsável pela climatização dos balneários e vestiários masculinos, dos balneários femininos, da zona da sauna e jacuzzi. Os desumidificadores responsáveis pela desumidificação do ar da nave da piscina também são recetores de água quente proveniente das caldeiras.

III.2 – Energia solar para AQS e aquecimento dos tanques das piscinas

Este edifício não tem painéis solares o que denota desconhecimento sobre as vantagens que daí advêm. Para provar essas vantagens, apresenta-se uma pequena simulação do que se poderia poupar, caso fossem instalados. A simulação foi feita com o *software SOLTERM versão 5.0 do INETI*.

Relativamente ao consumo das AQS, foi feito um levantamento com base nos dados registados pela responsável dos serviços de manutenção, que se apresenta no gráfico da figura 13. Os valores do consumo das AQS apresentados são compreendidos entre 2009 e 2012.

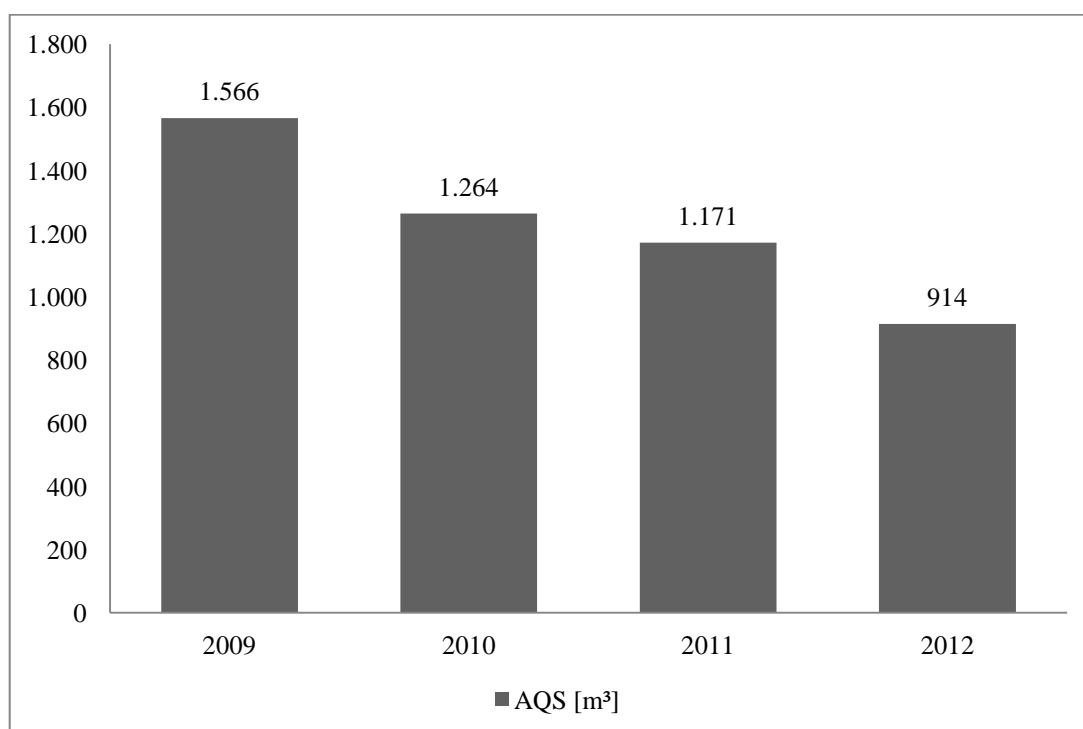


Figura 13 – Consumo de águas quentes sanitárias entre 2009 e 2012.

O consumo diário introduzido no programa SOLTERM para o cálculo da área de coletores relativamente ao consumo das AQS foi de 4000 litros/dia, valor inferior ao registado em 2009.

² - Unidades de tratamento de ar usadas em variados tipos de edifícios. Estes equipamentos utilizam água proveniente de uma fonte fria ou quente para transferir energia para o ar, que por sua vez circulará nas condutas, climatizando os espaços interiores do edifício.

Escolheu-se o ano mais gravoso em consumo de águas quentes sanitárias, com 4290 litros/dia. O ano 2010 teve um consumo de 3463 litros/dia, o de 2011 ficou em 3200 litros/dia e, finalmente, o ano em curso de 2012, até ao presente, em 2504 litros/dia. Logo, existe uma tendência para a redução dos consumos de AQS entre 2009 e 2011 como verifica no figura 13, tendência essa que será invertida no ano 2012, porque os dados relativamente a esse ano foram registados até o dia 12.07.2012, prevendo-se, comparativamente aos anteriores, um aumento do consumo de AQS do ano em curso.

Apresentam-se, na tabela seguinte, as dimensões dos tanques instalados na nave da piscina para utilizar nos dados da simulação. Também se apresentam os depósitos de AQS existentes na sala técnica e os coletores de ida e retorno com o respetivo volume de inércia (figura 14 e 15 respetivamente). A água aquecida pela caldeira é usada para as águas quentes sanitárias, para as baterias de aquecimento das unidades de desumidificação que climatizam o ar ambiente da nave das piscinas e para as unidades de tratamento de ar responsáveis pela climatização dos balneários e jacuzzi.

Tabela 2 – Dimensões dos tanques das piscinas da nave.

	Comprimento [m]	Largura [m]	Profundidade [m]	Área [m ²]	Volume [m ³]
Desportiva	25	12	2	300	600
Aprendizagem	12	8	1	96	96
Chapinheiro	8	8	0,8	64	51,2
Jacuzzi	3	2	1	6	6
TOTAL				466	753,2



Figura 14 – Depósito de inercia com 3600 litros instalado na sala técnica, com temperatura de acumulação de 60 °C (2 unidades).



Figura 15 – Coletores de ida e retorno de distribuição das águas quentes.

Os consumos de água dos tanques das piscinas são apresentados no figura 16, de acordo com o levantamento feito na instalação durante a elaboração deste trabalho. Relativamente ao jacuzzi, considerou-se a renovação total da água diária, porque é assim que os serviços de manutenção a executam evitando, deste modo, problemas de contaminação. Já relativamente aos outros tanques consideraram-se os registos reais de consumo.

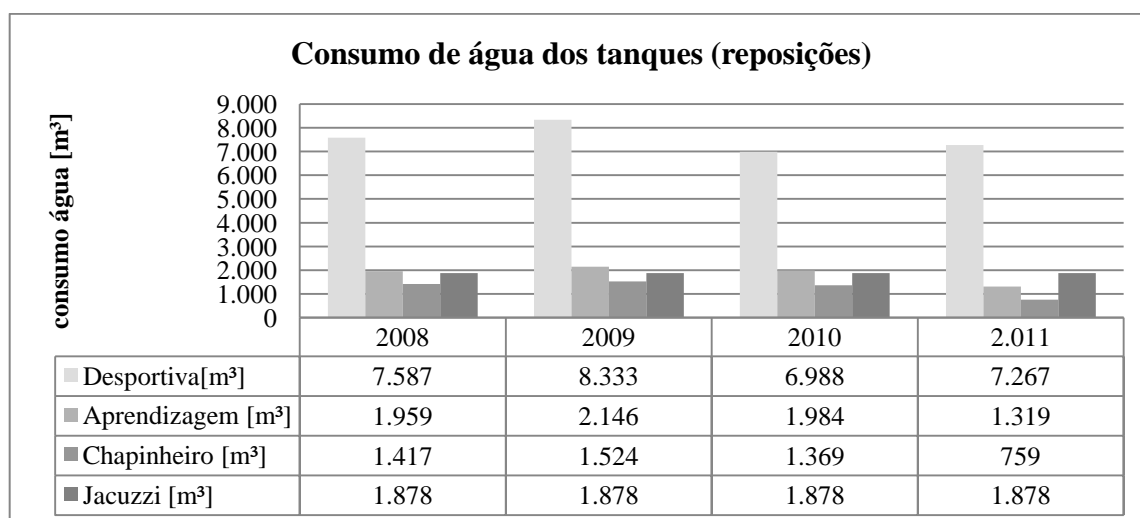


Figura 16 – Consumo de água quente para a reposição nos tanques da nave da piscina de Silves.

Considerou-se a média dos consumos totais dos quatro anos acima indicados, obtendo-se um consumo de 34358 litros/dia, dado esse, utilizado na simulação das águas quentes das piscinas para o cálculo dos painéis solares a instalar.

III.2.1 – Simulação com auxílio do programa *SOLTERM*

Para iniciar a simulação das necessidades das AQS escolhe-se a localidade no painel principal como mostra a figura 17.

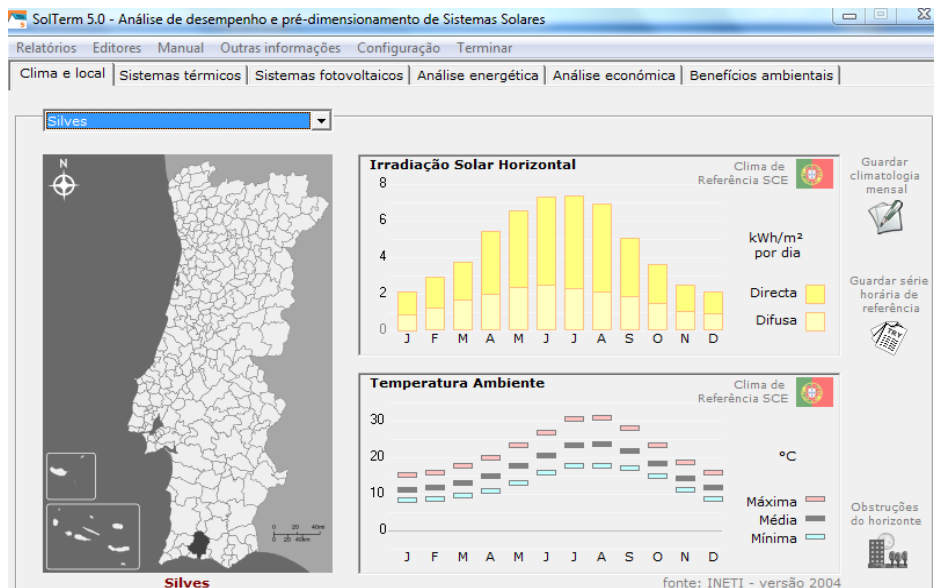


Figura 17 – Painel de seleção do clima e local do edifício em estudo³.

O passo seguinte é a escolha do coletor a utilizar, assim como o número de coletores necessários para fazer o aquecimento das AQS, considerando 4000 litros/dia de consumo. Cada coletor, em média, pode aquecer 120 litros/dia de AQS; então, chegamos a um valor aproximado de 33 coletores. Para aumentar a fração solar, aumenta-se em mais 3 coletores.

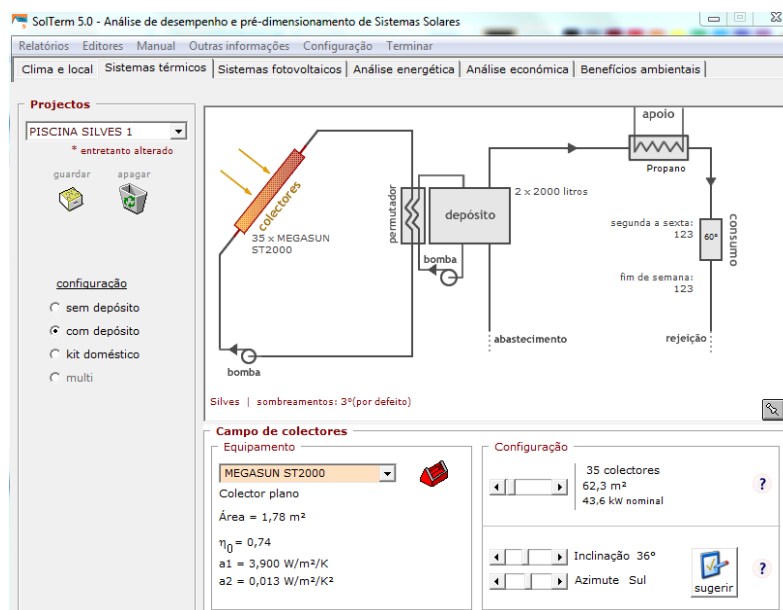


Figura 18 – Painel inicial de seleção do tipo coletores solares considerados na instalação solar.

Após este passo, introduz-se o perfil de consumos horários dos utilizadores das piscinas de acordo com o consumo total diário. Este consumo é colocado em função da ocupação média da nave da piscina.

³ - Piscina Municipal de Silves.

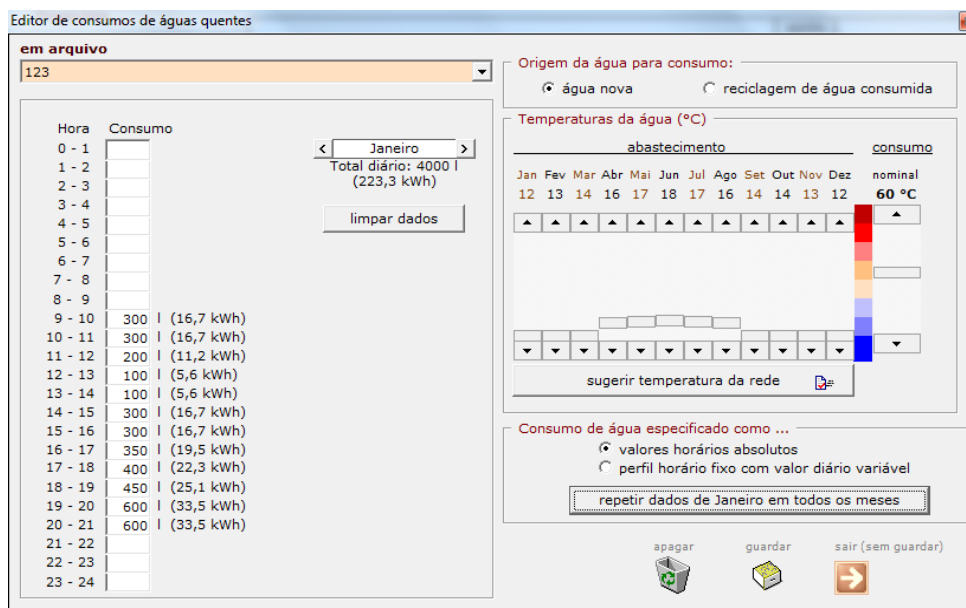


Figura 19 – Perfil de consumo horário das AQS.

Passa-se então ao cálculo energético, cujo resultado se apresenta no painel ilustrativo da figura 20. O rendimento anual do sistema é de 42% e a fração solar de 64,9%.

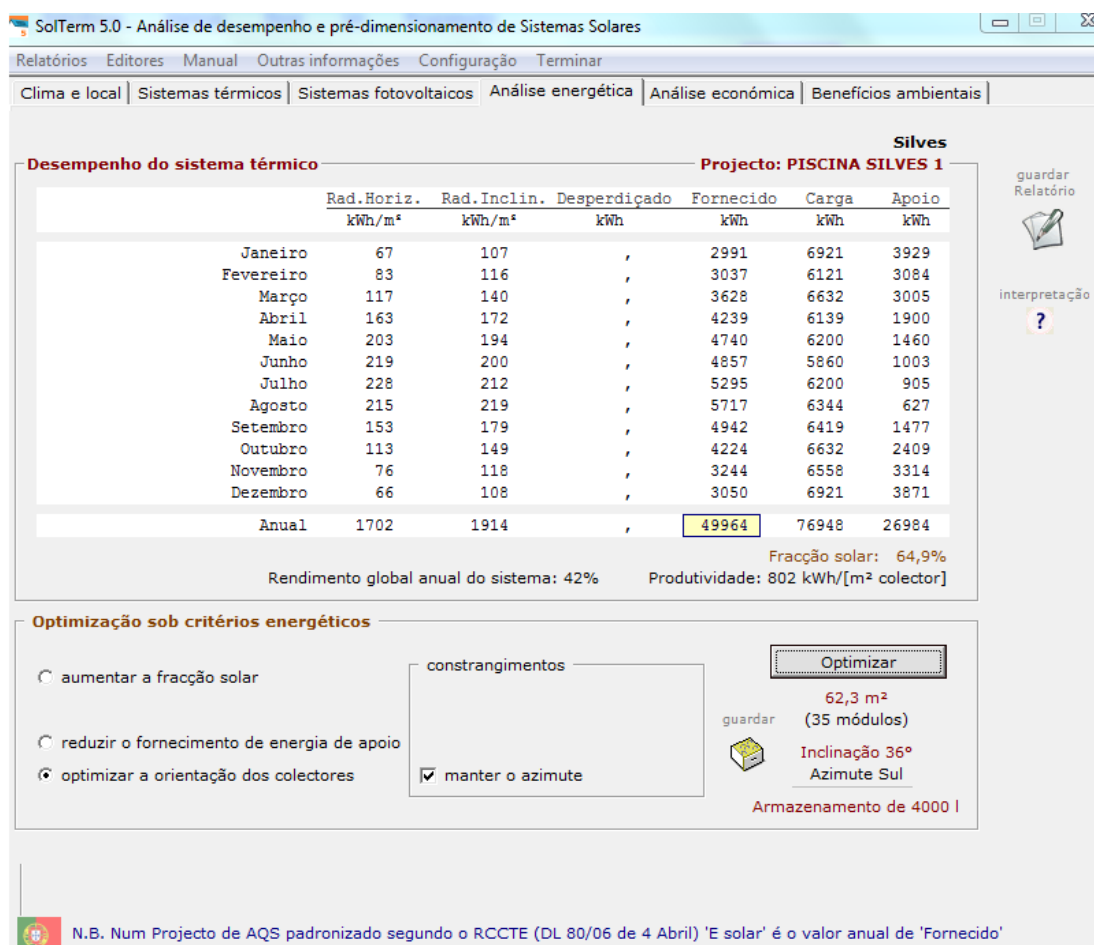


Figura 20 – "Output" do programa Solterm para o considerado.

Finalmente, calculam-se as emissões atmosféricas que se evitam, caso se enverede por esta solução.

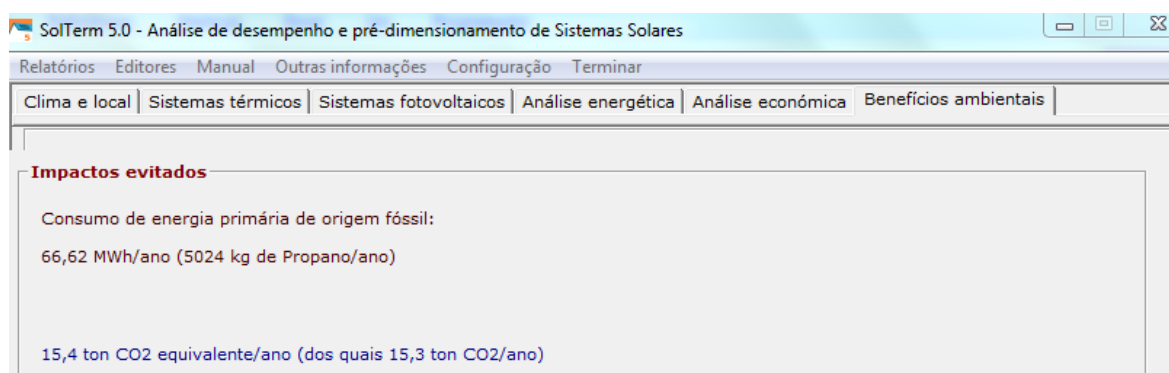


Figura 21 – Emissões de CO₂ evitadas com o uso dos coletores solares para o aquecimento das AQS.

Em seguida apresenta-se o quadro resumo da energia envolvida no aquecimento das AQS. Os coletores captam anualmente 76948 kWh proveniente da radiação solar, sendo só necessário utilizar o sistema de apoio (o gás propano) para fornecer o remanescente, 26984 kWh por ano. Evitar-se-ão, desta forma, gastos inúteis e também 15 toneladas de emissões de CO₂ para a atmosfera, no caso de ser utilizado este sistema.

Tabela 3 – Resumo dos ganhos energéticos na instalação solar dedicado às AQS.

Sistema	Área de Colectores [m ²]	Carga Anual [kWh]	Energia Captada [kWh]	Fracção Solar [%]
AQS	62,30	76.948	49.964	64,9

III.2.2 – Simulação das necessidades de aquecimento dos tanques das piscinas com auxílio do *SOLTERM versão 5.0 do INETI*

Centra-se o cálculo apenas na piscina desportiva, considerando-se, à partida, a área de coletores igual a aproximadamente 70% da área do plano de água da piscina desportiva, isto é, 210 m² para uma área de 300 m² de plano de água. O cálculo da área de coletores é baseado num método empírico muito utilizado no dimensionamento dos painéis solares, já que a experiência acumulada demonstra uma forte razoabilidade no dimensionamento dos painéis solares para o aquecimento das águas dos tanques deste tipo de infraestruturas.

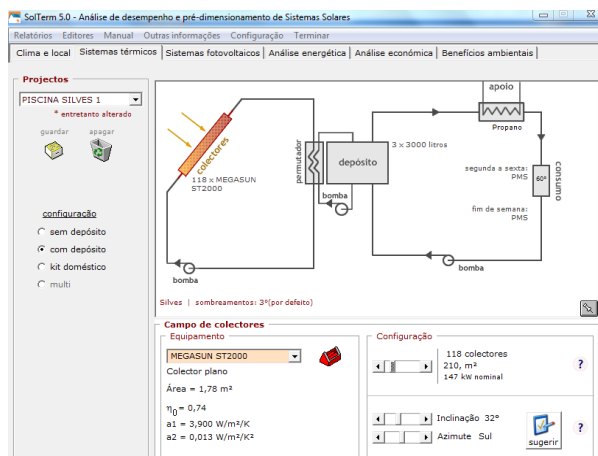


Figura 22 – Painel de seleção do tipo de coletores solares considerado na instalação das necessidades de aquecimento das águas quentes do tanque da piscina desportiva.

Quanto à taxa de ocupação da piscina desportiva, foi feito o registo hora a hora entre Março e Junho do corrente ano, usando uma média horária para fins de simulação no *SOLTERM*. Para fixar o valor da percentagem de renovação da água no tanque da piscina, teve-se em conta o consumo real devido às reposições diárias, sendo estas de 22830 litros/dia referentes ao ano de maior consumo registado, o de 2009. Logo, atendendo ao volume da piscina desportiva que corresponde a 600 m³, a taxa de renovação média diária referente ao ano de 2009 foi de 3,8%. A temperatura do ar ambiente interior é de 30 °C, a humidade relativa de 60% e a temperatura da água do tanque de 29 °C. Estes dados foram introduzidos no programa, não esquecendo o volume da piscina e a área do plano de água.

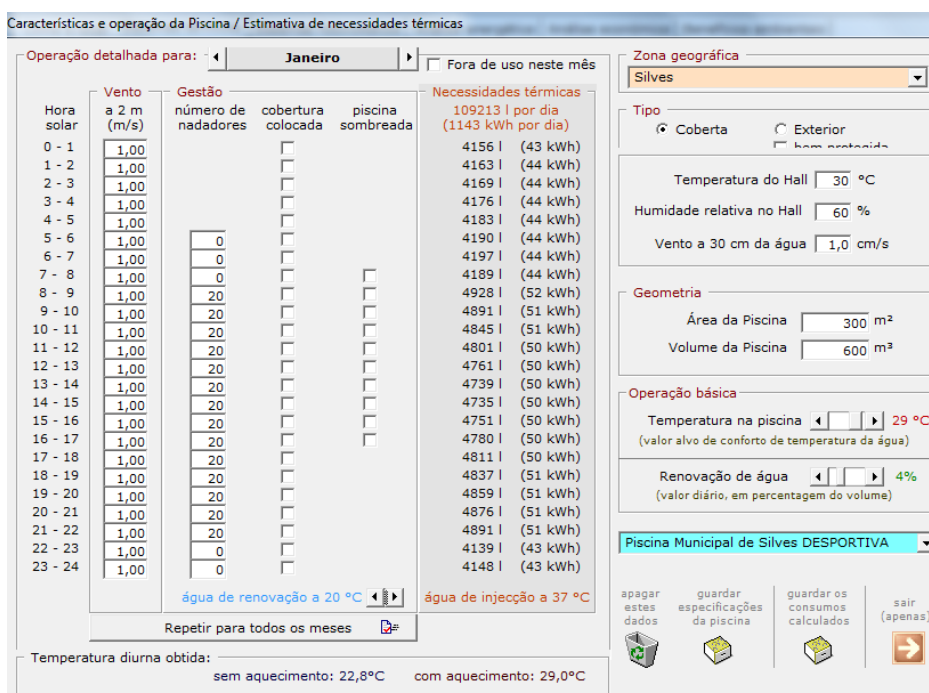


Figura 23 – Perfil das necessidades de aquecimento da piscina desportiva.

Depois, passa-se ao cálculo energético, resultando no painel ilustrativo na figura 24. O rendimento anual do sistema é de 39 % e a fração solar de 42,6%.

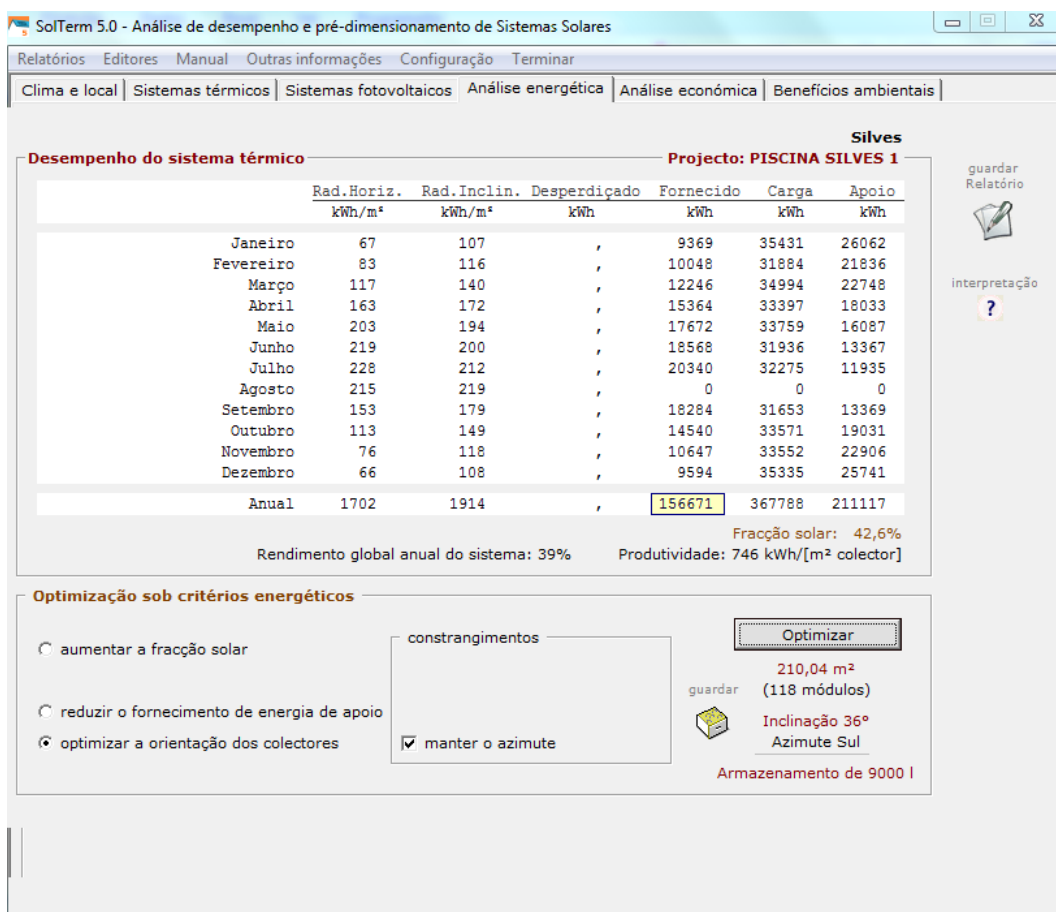


Figura 24 – Análise energética quanto ao contributo solar no aquecimento das águas da piscina desportiva.

Finalmente, calculam-se as emissões que se evitaram para a atmosfera utilizando o recurso energético renovável.

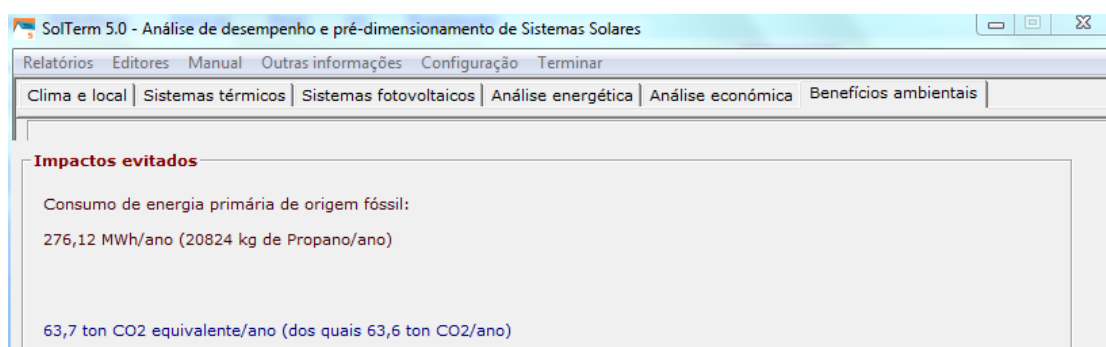


Figura 25 – Emissões de CO₂ evitadas com o uso dos painéis solares para o aquecimento das águas da piscina desportiva.

Em seguida, apresenta-se o quadro resumo da energia envolvida no aquecimento da água do tanque da piscina desportiva. O sistema capta anualmente 156671 kWh proveniente da radiação solar,

sendo necessário recorrer ao sistema de apoio a gás propano para fornecer o remanescente, que são 211117 kWh por ano. Para além da poupança anual obtida com este investimento, reduzem-se as emissões de CO₂ em aproximadamente 64 toneladas.

Tabela 4 – Resumo dos ganhos energéticos na instalação solar para as águas quentes da piscina desportiva.

Sistema	Área de Colectores [m ²]	Carga Anual [kWh]	Energia Captada [kWh]	Fracção Solar [%]
Águas quentes desportiva	210,00	367.778	156.671	42,6

III.2.3 – Análise económica

Para se ter uma ideia do impacto económico deste investimento apresenta-se um estudo com base na simulação do *SOLTERM*. Aqui apresentam-se o investimento inicial e o período de retorno e, deste modo, dá-se uma ideia simplificada do tempo em que o próprio sistema paga o custo do investimento inicial.

III.2.3.1 – Análise económica AQS

Para a produção de AQS, temos então um investimento inicial de 28635 €, tendo em conta a vida útil do sistema de 25 anos, o tempo de retorno situa-se em aproximadamente 5 anos o que parece bastante razoável. Somando as horas totais de funcionamento e a energia captada para as AQS, o valor poupado durante a sua vida útil seria de 137401 € para estas instalações (considerando-se 0,11 €/kWh, valor médio apresentado nas faturas de gás propano de Silves para esta infraestrutura).

The screenshot shows the SolTerm 5.0 software interface for economic analysis. Key data points visible are:

- Dados técnico-económicos:**
 - Área do painel: 62,3 m²
 - Preço do sistema solar: 28635 €
 - Componente fixa: 600 €
 - Componente variável: 450 €/m²
 - Incentivos: 0 €
 - Vida útil do sistema solar: 25 anos
 - Manutenção anual: 0,8% do custo do sistema
 - Renovação de componentes: 4,0% do custo do sistema
 - Valor residual: 5,0% do custo do sistema
 - Preço do Propano substituído: 1,40 €/kg (0,141 €/kWh)
- Analisar interesse...:**
 - Radio buttons for comparing against a secure alternative application or a bank loan.
- Cenário financeiro sobre 25 anos:**
 - Inflação: 2,5% ao ano
 - Deriva do preço da energia substituída: 2,0% acima da inflação
 - Rendimento de aplicação segura alternativa: 4,5% ao ano
- Análise do investimento em termos financeiros:**
 - Sistema solar:**
 - Investimento inicial: -28635 €
 - Valor residual: 2654 €
 - Custos energéticos evitados: 313459 €
 - Reinvestimentos: 185670 €
 - Manutenção: -8020 €
 - Reparações: -1579 €
 - Saldo final: 463549 €
 - Recuperação do capital em 5 anos
 - VAL: 221399 €
 - Rentabilidade: 11,7% ao ano
 - Aplicação alternativa:**
 - Capital: -28635 €
 - Restituição: 28635 €
 - Rendimentos: 57426 €
 - Saldo final: 86061 €
 - VAL: 17785 €
 - Rentabilidade: 4,5% ao ano

Figura 26 – Análise económica para as AQS do edifício em estudo.

III.2.3.2 – Análise económica das necessidades de águas quentes no tanque desportivo

Para as necessidades de aquecimentos das águas do tanque da piscina desportiva, temos então um investimento inicial de 95118 €. Tendo em conta a vida útil do sistema de 25 anos, o tempo de retorno situa-se aproximadamente em 5 anos, o que parece bastante aceitável. Somando as horas totais de funcionamento e a energia captada, o valor poupado durante a sua vida útil seria de 790788 € (considerando 0,11 €/kWh).

SolTerm 5.0 - Análise de desempenho e pré-dimensionamento de Sistemas Solares

Relatórios Editores Manual Outras informações Configuração Terminar

Clima e local | Sistemas térmicos | Sistemas fotovoltaicos | Análise energética | Análise económica | Benefícios ambientais

Dados técnico-económicos

Área do painel 210,0 m²

Preço do sistema solar: **95118 €**

Componente fixa 600 €

Componente variável 450 €/m²

Incentivos: **0 €**

Componente fixa 0 €

Componente variável 0 €/m²

Vida útil do sistema solar 25 anos

Manutenção anual 0,8% do custo do sistema

Renovação de componentes 4,0% do custo do sistema

Valor residual 5,0% do custo do sistema

Preço do Propano substituído 1,40 €/kg (0,141 €/kWh)

Analisar interesse...

...versus uma aplicação financeira segura alternativa

...de contrair um empréstimo bancário

Cenário financeiro sobre 25 anos

Inflação 2,5 % ao ano

Deriva do preço da energia substituída 2,0 % acima da inflação

Rendimento de aplicação segura alternativa 4,5% ao ano

Análise do investimento em termos financeiros

Sistema solar	Aplicação alternativa
Investimento inicial: -95118 €	Capital: -95118 €
Valor residual: 8817 €	Restituição: 95118 €
Custos energéticos evitados: 982297 €	Rendimentos: 190753 €
Reinvestimentos: 580601 €	
Manutenção: -26642 €	
Reparações: -5245 €	
Saldo final: 1444710 €	Saldo final: 285871 €
Recuperação do capital em 5 anos	
VAL: 684145 €	VAL: 59078 €
Rentabilidade: 11,4 % ao ano	Rentabilidade: 4,5% ao ano

Avaliação: Investimento em energia solar compensador nestas condições e atractivo (melhor que aplicação alternativa) mas verifique bem a razoabilidade dos cenários usados

Optimização

Figura 27 – Análise económica para o aquecimento do tanque da piscina desportiva.

CAPÍTULO IV

Neste capítulo faz-se o levantamento da iluminação e equipamentos existentes no edifício. É descrita, com maior detalhe, a nave da piscina, ficando em anexo todas as outras zonas do edifício.

O registo real da ocupação da nave da piscina foi realizado entre Fevereiro e Julho de 2012 sendo apresentado na tabela 7.

São descritos os perfis de iluminação utilizados e, por fim, é mencionado o consumo de energia devido ao sistema de bombagem de água dos tanques da piscina, de acordo com o seu tempo de funcionamento.

IV.1 – Nave da piscina (Piso 0)

A nave da piscina tem um pé direito médio de 6 metros com a área total de 1818,9 m². O aquecimento das AQS, da água dos tanques das piscinas, spa e jacuzzi é assegurado por duas caldeiras alimentadas a gás propano. Estas caldeiras estão instaladas na sala técnica, contribuindo também para o aquecimento do ar ambiente interior. No piso -1 estão instaladas quatro unidades de desumidificação que garantem as condições do ar ambiente no interior da nave. Estas unidades têm baterias de aquecimento incorporadas, ajudando, quando necessário, a reaquecer o ar para posterior insuflação na nave. O ar é insuflado a partir de difusores localizadas ao nível do pavimento, junto às parede das bancadas e de outra linha de difusores junto aos envidraçados, formando duas linhas paralelas de insuflação de sentido de baixo para cima (figura 28). Esta solução tradicionalmente aplicada em edifícios idênticos, resulta da necessidade de insuflar ar quente junto às zonas mais frias evitando-se, assim, a condensação do ar quando em contacto com superfícies frias como os envidraçados. O ar de retorno é extraído por tubagens situadas por cima das piscinas e o ar de extração com auxílio de quatro ventiladores helicoidais de placas localizados acima dos envidraçados (figura 29).



Figura 28 – Difusores de insuflação de ar situados no solo da nave da piscina.



Figura 29 – Conduitas de extração do ar da nave para retorno às UTA'S e ventiladores helicoidais de extração e rejeição de ar da nave.

Esta zona é iluminada naturalmente pelos envidraçados e também com auxílio de luz artificial discriminada na tabela seguinte.

Tabela 5 – Iluminação existente na nave da piscina e respetiva potência instalada.

Piso	Zona	A (m ²)	Pé direito [m]	Número de lâmpadas	P [W]	P TOTAL [W]	tipo	[W/m ²]
0	Nave da piscina	1818,9	6	6	18	108	PL-C fluorescente	10,03
				21	18	378	PL-C fluorescente	
				29	250	7250	Projektor halogéneo	
				25	400	10000	Projektor halogéneo	
				14	36	504	TL-D fluorescente T8	

A iluminação é ligada das 07H00 às 09H00 e das 17H00 às 21H00, de segunda a sexta-feira; das 07H00 às 09H00 e das 17H00 às 19H00, aos sábados, e encontra-se totalmente desligada aos domingos e feriados. Têm-se então 1708 horas de funcionamento (considerando o ano de 2011), correspondendo a 31153,92 kWh de consumo energético durante um ano. A potência elétrica

devido à iluminação considerando tudo ligado é de 18,24 kW. O calor libertado devido à iluminação, contribui para a variação da temperatura de bolbo seco do ambiente interior, sendo apresentado esse valor aquando da simulação do edifício.

De seguida, é apresentada a potência de todos os equipamentos que contribuem também para a carga térmica sensível no espaço referido.

Tabela 6 – Potência dos quatro ventiladores de extração forçada da nave da piscina.

Piso	Equipamento	A (m ²)	Quantidade	P [W]	P TOTAL [W]	[W/m ²]
0	Ventilador de extração de ar	1818,9	4	250	1000	0.55

Considerando que a climatização da zona da nave está ligada durante 24 horas por dia, os ventiladores de extração de ar têm 6624 horas de funcionamento anual, o que corresponde a 6624 kWh. Este ano é atípico, já que com a redução de verbas disponibilizadas para este tipo de edifícios foi preciso tomar decisões drásticas que levaram à necessidade de desligar todo o sistema de climatização e aquecimento das águas dos tanques durante todo o mês de Agosto.

A contribuição da ocupação para a carga sensível e latente também tem de ser considerada. Após o registo diário de ocupação da nave (banhistas) no mês de Abril de 2012, obteve-se uma taxa de ocupação de 5124 pessoas/mês. Na tabela 7 apresentam-se as taxas de ocupação nos meses de 2012 em que se fez a contagem dos banhistas.

Tabela 7 – Ocupação de utentes das piscinas, desde 10 de fevereiro de 2012 a 14 de julho de 2012.

ocupação real 2012	Número de utentes				
	Piscina desportiva	Jacuzzi	Piscina de aprendizagem	Chapinheiro	TOTAL
Fev. 2012*	1677	372	1186	290	3525
Mar. 2012	3225	625	2495	172	6517
Abr. 2012	2497	474	1936	217	5124
Mai. 2012	2968	637	2577	216	6398
Jun. 2012	2286	419	1701	267	4673
Jul. 2012**	971	193	655	86	1905
SUBTOTAL	13624	2720	10550	1248	28142

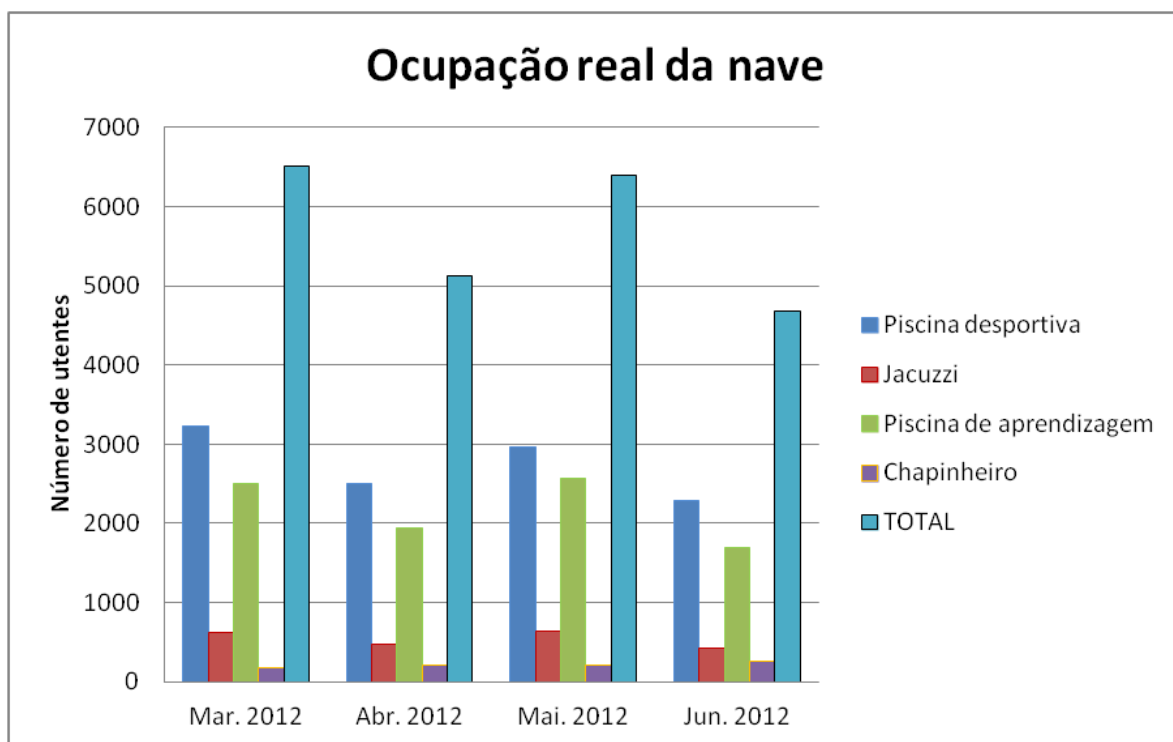


Figura 30 – Ocupação real da nave da piscina, contabilizada entre Março e Junho de 2012.

IV.2 – Sistema de bombagem de água

O consumo total de energia por parte das unidades de bombagem de água nas piscinas é de 258875 kWh (tabela 8), o que perfaz aproximadamente 36% da energia elétrica consumida em toda a instalação, tomando em consideração o consumo elétrico de 718507 kWh, referente ao ano de 2011. Considerando a percentagem global de consumo energético de propano e eletricidade no referido ano, a parcela referente à bombagem das águas cifra-se em 16% do consumo total, consumo esse que foi de aproximadamente 1652037 kWh.

Em seguida, apresenta-se a tabela que discrimina o equipamento instalado e respetiva potência associada, assim como as horas de funcionamento ao longo de um ano típico.

Atendendo ao valor consumido apenas nas bombas de circulação e recirculação, é óbvio que qualquer ação corretiva em tempos de utilização e redimensionamento de potência dos equipamentos, levará a uma poupança de custos considerável em toda a instalação.

Tabela 8 –Equipamentos de bombeamento de água no edifício.

Zona	Marca	Modelo	Potência elétrica [KW]	Consumo [KWh]	Observações	Horas funcionamento anual
Piso -1	PSH	FD - 129H	5,5	36.564	Bomba recirculação desportiva	6648
Piso -1	PSH	FD - 129H	5,5	36.564	Bomba recirculação desportiva	6648
Piso -1	PSH	FD - 129H	5,5	36.564	Bomba recirculação desportiva	6648
Piso -1	PSH	FD - 129H	5,5	36.564	Bomba recirculação desportiva	reserva
Piso -1	PSH	FD - 128H	4	26.592	Bomba recirculação aprendizagem	6648
Piso -1	PSH	FD - 128H	4	26.592	Bomba recirculação aprendizagem	6648
Piso -1	PSH	AF - 6T	1,8	11.966	Bomba recirculação chapinheiro	6648
Piso -1	PSH	AF - 6T	1,8	11.966	Bomba recirculação chapinheiro	6648
Piso -1	SNTE	10502 T	1,8	11.966	Bomba recirculação Jacuzzi	6648
Piso -1	ONGA	462 E	0,25	1.662	Bomba recirculação Jacuzzi	6648
Sala térmica	WILLO	IPN50/200 - 1,1/4	1,1	7.313	Bomba circuladora retorno	6648
Sala térmica	WILLO	IPN50/200 - 1,1/4	1,1	7.313	Bomba circuladora retorno	6648
Sala térmica	WILLO	IPN 40/200 - 0,75/4	0,75	4.986	Bomba circuladora chapinheiro	6648
Sala térmica	WILLO	IPN 40/200 - 0,75/4	0,75	4.986	Bomba circuladora aprendizagem	6648
Sala térmica	WILLO	IPN50/200 - 1,1/4	1,1	7.313	Bomba circuladora desportiva	6648
Sala térmica	WILLO	IPN 40/200 - 0,75/4	0,75	4.986	Bomba circuladora desumidificador 1 e 2	6648
Sala térmica	WILLO	IPN 40/200 - 0,75/4	0,75	4.986	Bomba circuladora desumidificador 3 e 4	6648
Sala térmica	WILLO	IPN 40/200 - 0,75/4	0,75	2.835	Bomba circuladora UTA M, F e J	6648
Sala térmica	WILLO	IPN 40/200 - 0,75/4	0,75	2.835	Bomba circuladora sanitárias	3780
Sala térmica	WILLO	IPL 40/160 - 0,37/4	0,37	1.399	Bomba de circulação depósitos AQS	3780
Sala térmica	WILLO	IPN 40/125 - 0,55/4	0,55	2.079	Alimentação Chuveiros	3780
Piso -1	GRUNDFOS	S1074AM1511	0,25	945	eletrobomba submersível	3780
Piso -1	GRUNDFOS	S1074AM1511	0,25	945	eletrobomba submersível	3780
Piso -1	GRUNDFOS	SV014B1D501P	0,25	945	eletrobomba submersível	3780
Piso -1	GRUNDFOS	SV014B1D501P	0,25	945	eletrobomba submersível	3780
Piso -1	CRELEC	HB - 429	1,49	1.360		913
Piso -1	CTX	CLASS PROPOR	0,04	37	Bomba doseadora PH (desportiva)	913
Piso -1	CTX	CLASS COMBI PH	0,04	37	Bomba doseadora cloro (desportiva)	913
Piso -1	SEKO	ACL 902 ASP0000	0,04	37	Bomba doseadora floculante (desportiva)	913
Piso -1	CTX	CLASS COMBI RX	0,04	37	Bomba doseadora cloro (apendizagem)	913
Piso -1	CTX	CLASS COMBI PH	0,04	37	Bomba doseadora PH (apendizagem)	913
Piso -1	SEKO	ACL 602 ASP0000	0,04	37	Bomba doseadora floculante	913
Piso -1	CTX	CLASS COMBI RX	0,04	37	Bomba doseadora cloro (chapinheiro)	913
Piso -1	CTX	CLASS COMBI PH	0,04	37	Bomba doseadora PH (chapinheiro)	913
Piso -1	SEKO	ACL 602 ASP0000	0,04	37	Bomba doseadora floculante (chapinheiro)	913
Sala térmica	LAMBORGHINI	PDPH 2,7 - 20	3,5	1.939	Bomba doseadora inibidora corrosão	554

TOTAL 50,72 KW 258.875 KWh

Os equipamentos de bombeamento de água estão instalados no piso -1 e na sala técnica, de seguida apresentam-se algumas dessas bombas.



Figura 31 – Bombas de circulação da piscina desportiva, de aprendizagem e chapinheiro (da esquerda para a direita).

Para controlo da qualidade da água nos tanques das piscina, estão instalados sistemas de ultravioleta, conforme se ilustra na figura 33. Estes sistemas fazem a desinfecção da água apenas com o recurso à luz ultravioleta, com o comprimento de onda apresentado na figura 32. Com a passagem da água pelo equipamento são lançados feixes de luz ultravioleta promovendo-se, assim, a destruição de microrganismo e compostos orgânicos causadores de desconforto, bem como, problemas de saúde a todos os banhistas.

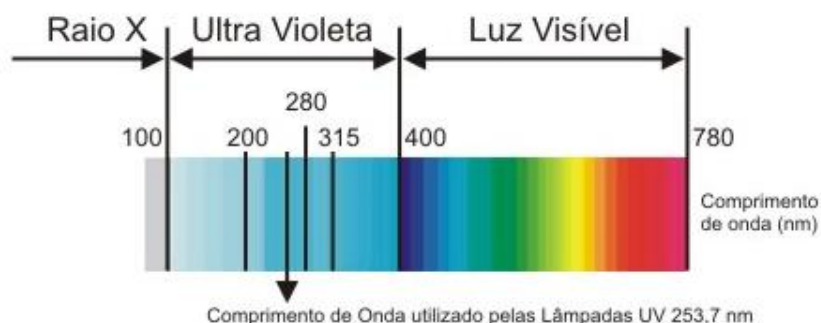


Figura 32 – Comprimento de onda da luz ultravioleta para a desinfecção das águas dos tanques das piscinas e jacuzzi.



Figura 33 – Ultravioletas da piscina desportiva, chapinheiro e de aprendizagem (da esquerda para a direita).



Figura 34 – Depósitos de retorno, ida e bombas de recirculação.

CAPÍTULO V

Neste capítulo faz-se uma breve descrição dos equipamentos de climatização assim como o seu funcionamento.

V.1 – Climatização do edifício

Relativamente ao sistema de climatização existente no edifício, há que referir três unidades de tratamento de ar da *CIAT*.

Duas dessas unidades estão colocados na cobertura. Uma delas faz a climatização dos balneários masculinos e do fraldário, e a outra assegura a climatização do balneário feminino.

A terceira unidade situa-se na sala técnica e garante a climatização da casa de banho do piso -1 assim como do jacuzzi e da sauna, situados no piso 0.

Estas unidades asseguram apenas o aquecimento das zonas referidas, para o que são auxiliadas por duas caldeiras alimentadas a gás propano instaladas na sala técnica.

Na cobertura está instalada uma máquina exterior, tipo bomba de calor *VRV* da *HAIER*, que faz a climatização de nove espaços úteis distintos. Os espaços localizados no piso 0 são os seguintes:

Arrecadação da limpeza, sala de fitness, sala reuniões/juventude e posto médico; os do piso 1 são:

Gabinete administrativo, sala de reuniões, gabinete do coordenador e gabinete da manutenção.

Foram instaladas unidades interiores, tipo cassete de duas vias, em cada um dos espaços acima indicados. O gabinete administrativo tem duas destas unidades, enquanto as restantes oito zonas têm uma unidade cada. A máquina acima referida permite tanto o aquecimento como o arrefecimento das zonas a climatizar, mas de acordo com os dados obtidos pela responsável da manutenção, esta máquina não consegue trabalhar em regimes diferentes por zonas: quer se trate de aquecimento ou arrefecimento, fá-lo indiferenciadamente em todas elas, isto é, aquece ou arrefece todas as zonas, o que causa graves problemas no conforto dos trabalhadores e utilizadores dos espaços.

O ginásio que se encontra no piso 1 é climatizado apenas por uma unidade, tipo bomba de calor da *Mitsubishi*, sendo o ar insuflado por uma conduta circular instalada junto ao teto do espaço. Nesta zona, é feito aquecimento e arrefecimento de acordo com as condições de conforto dos utentes.

A esplanada interior que dá apoio ao bar, espaço utilizado também para visualizar as atividades a decorrer nas piscinas, é aquecida ou arrefecida por uma máquina tipo bomba de calor (*Roca York*) que insufla o ar através de difusores de alta indução colocados no teto.

A sala de *fitness*, situada no piso 0, é climatizada por uma máquina tipo bomba de calor *VRV* da *HAIER* que faz aquecimento e arrefecimento através da unidade instalada no interior, tipo cassette de duas vias. A climatização deste espaço é complementada por uma unidade interior, também da *HAIER*.

Existem duas máquinas tipo bomba de calor (*split*) que fazem a climatização da sala de cabeleireiro localizada no piso 0.

Na cobertura está instalada uma máquina de ar condicionado da *SHARP* (tipo *split*) para climatizar o servidor/*UPS* localizado no posto médico no piso 0.

Em seguida apresentam-se, na tabela 9, os equipamentos de climatização instalados no edifício. Na parte final da tabela, está indicada a potência total elétrica, de aquecimento e de arrefecimento.

Tabela 9 – Equipamentos para climatização e respetiva potência instalada.

Zona onde instalada	Máquina	Marca	P el. [KW]	P aquec. [KW]	P arref. [KW]	Zona a climatizar
Sala térmica	Ventilador de extração	TROIA	0,37			Sala térmica
Sala térmica	Ventilador de extração	AREM	0,25			Sala térmica
Nave da piscina	Ventilador de extração	AREM	0,25			Nave da piscina
Nave da piscina	Ventilador de extração	AREM	0,25			Nave da piscina
Nave da piscina	Ventilador de extração	AREM	0,25			Nave da piscina
Nave da piscina	Ventilador de extração	AREM	0,25			Nave da piscina
Arrecadação	UTA	CIAT	0,55	28		Sauna, Jacuzzi e WC do piso -1
Cobertura	UTA	CIAT	0,75	34		Balneário e vestiário Homens
Cobertura	UTA	CIAT	2,2	47		Balneário e vestiário Mulheres
Cobertura	Ventilador de extração	TROIA	0,75			
Cobertura	Ventilador de extração	TROIA	1,1			
Arrecadação	Ventilador de extração	TROIA	0,37			
Piso -1	Desumidificador	CIAT	17,5	27,2		Nave da piscina
Piso -1	Desumidificador	CIAT	17,5	27,2		Nave da piscina
Piso -1	Desumidificador	CIAT	17,5	27,2		Nave da piscina
Piso -1	Desumidificador	CIAT	17,5	27,2		Nave da piscina
Cobertura	AC	HAIER	7,5	29	28	9 unidade interiores
Bar	AC	ROCA YORK	5,7	17,8	16	Esplanada do bar
Enfermaria	AC	SHARP	1,8	4	3,5	Servidor/UPS da enfermaria
Cobertura	AC	MITSUBISHI	6,7	28	25	Ginásio
Cobertura	AC	HAIER	5,5	10,5	12	Sala de fitness
Cobertura	AC	Daikin	1,46	5,2	4	Cabeleireiro
Cobertura	AC	Daikin	1,29	4,3	2,8	Cabeleireiro
		TOTAL	107,29 KW	316,60 KW	91,30 KW	

V.2 – Descrição simplificada dos equipamentos de climatização instalados

De seguida caracterizam-se os equipamentos e descreve-se o funcionamento das máquinas e especificam-se suas características técnicas.

V.2.1 – Caldeiras

As caldeiras instaladas na sala técnica fornecem calor às desumidificadoras e às UTA'S. As desumidificadoras climatizam a nave da piscina, desumidificando o ar e aquecendo-o por intermédio de uma bateria de aquecimento, enquanto as UTA'S sem controlo de humidade climatizam os balneários e vestiários masculinos, os balneários e vestiários femininos, a sauna e jacuzzi, e ainda o WC, este último localizado no piso -1. Para além desta funcionalidade, também têm de fornecer calor para as AQS e também o aquecimento das águas dos tanques das três piscinas da nave e jacuzzi. É importante referir que existem dois depósitos de AQS instalados na sala técnica com 3500 litros cada de capacidade volumétrica.



Figura 35 – Caldeiras *MEGAPREX* para AQS e climatização localizadas na sala técnica do piso 0.

As caldeiras convencionais lançam os fumos a uma temperatura suficientemente elevada de forma a evitar a condensação do vapor existente nos fumos. O motivo prende-se com o fato de os compostos NO_x e SO_x , quando reagem quimicamente com a água no estado líquido, formarem um ácido, o que provoca uma rápida corrosão nos materiais e acessórios da caldeira, levando a fissuras e fugas na instalação. No entanto, o aproveitamento do calor da condensação da água permite obter uma eficiência térmica mais elevada. Este princípio é utilizado nas caldeiras de condensação, como as que estão instaladas na sala técnica. Por norma, as caldeiras de condensação são fabricadas para potências até cerca de 900 kW e para a produção de água quente até temperaturas que rondam os 95 °C [6]. Para além do tubular normal, dispõem dum permutador de calor (gás-água) antes da chaminé, onde se dá o arrefecimento dos gases resultantes da queima (de forma a permitir a condensação do vapor de água) e o aquecimento da água, no seu trajeto de retorno à caldeira. A evacuação dos condensados dos vapores que se formam ao atravessar o permutador é efetuada por um dreno inferior, seguindo os gases para a respetiva chaminé. Note-se que a eficiência destas caldeiras é tanto maior quanto menor for a temperatura que atravessa o condensador no seu retorno à caldeira como seria lógico.

Tabela 10 – Características técnicas das duas caldeiras instaladas na sala técnica.

Equipamento	Marca	Modelo	Rendimento (%)	Combustível	Potência térmica [KW]
Caldeira	<i>Lamborghini</i>	<i>Megaprex 580</i>	92,6	gás propano	581,4

V.2.2 – Desumidificadores

Existem quatro unidades de desumidificadores instalados no piso -1, fazendo-se a insuflação do ar no interior da nave da piscina através de grelhas difusoras instaladas ao nível do pavimento da nave da piscina (piso 0). Estas máquinas de climatização têm um painel de controlo constituído por quatro interruptores dispostos na vertical e localizados na parte frontal com as seguintes funções (figura 36):



Figura 36 – Painel de controlo das desumidificadoras instaladas no piso -1.

- comando do ventilador;
- comando de desumidificação (compressores);
- comando de aquecimento;
- registo de ar novo.

Os desumidificadores estão providos de uma sonda de temperatura e humidade na conduta do ar de retorno (ar que é extraído do interior da nave por condutas circulares situadas acima das piscinas, junto ao teto, como se observa na figura 29). Esta sonda mede estes parâmetros e tenta impor na nave da piscina as condições ideais para os utilizadores, que neste caso são de 30 °C para a

temperatura do interior da nave e de 60% para a humidade relativa do ar (estes são os valores para os quais a equipa de manutenção diz serem ideais atendendo ao registo da opinião dos utentes ao longo do ano).

Caso a temperatura do ar de retorno não atinja os 25 °C, os compressores não arrancam, evitando assim o congelamento da serpentina de evaporação do fluido frigorigéneo. Os compressores do segundo andar só arrancam quando a diferença de humidade entre o set-point (60%) e a leitura (humidade relativa medida pela sonda de retorno), for superior a 40%.

Na tabela 11 descrevem-se as características técnicas das quatro desumidificadoras que climatizam a nave da piscina.

Tabela 11 – Características técnicas das quatro desumidificadoras instaladas no piso -1.

Equipamento	Marca	Modelo	Potência elétrica [KW]	Potência aquecimento [KW]	Capacidade de desumidificação [Kg/h]	Caudal máximo de ar novo [m³/h]	Caudal máximo de ar insuflado [m³/h]
Desumidificadora	CIAT	PCP 165 2	17,5	27,2	35	2600	10300

V.2.3 – Unidade de climatização tipo bomba de calor *inverter split VRV* (*variable refrigerant volume*)

Na cobertura encontra-se uma máquina de climatização que faz o aquecimento e arrefecimento de nove espaços úteis do edifício. Na tabela seguinte descrevem-se as características técnicas dessa máquina:

Tabela 12 – Características técnicas da unidade exterior de climatização da *HAIER*.

Equipamento	Marca	Modelo	Potência elétrica [KW]	Potência aquecimento [KW]	Potência arrefecimento [KW]	Caudal máximo de ar insuflado [m³/h]
Bomba de calor VRV	HAIER	MRV - AU 96 NFTAHA	7,5	29	28	10000

A arquitetura da climatização feita pela unidade exterior é esquematizada de seguida na figura 37.

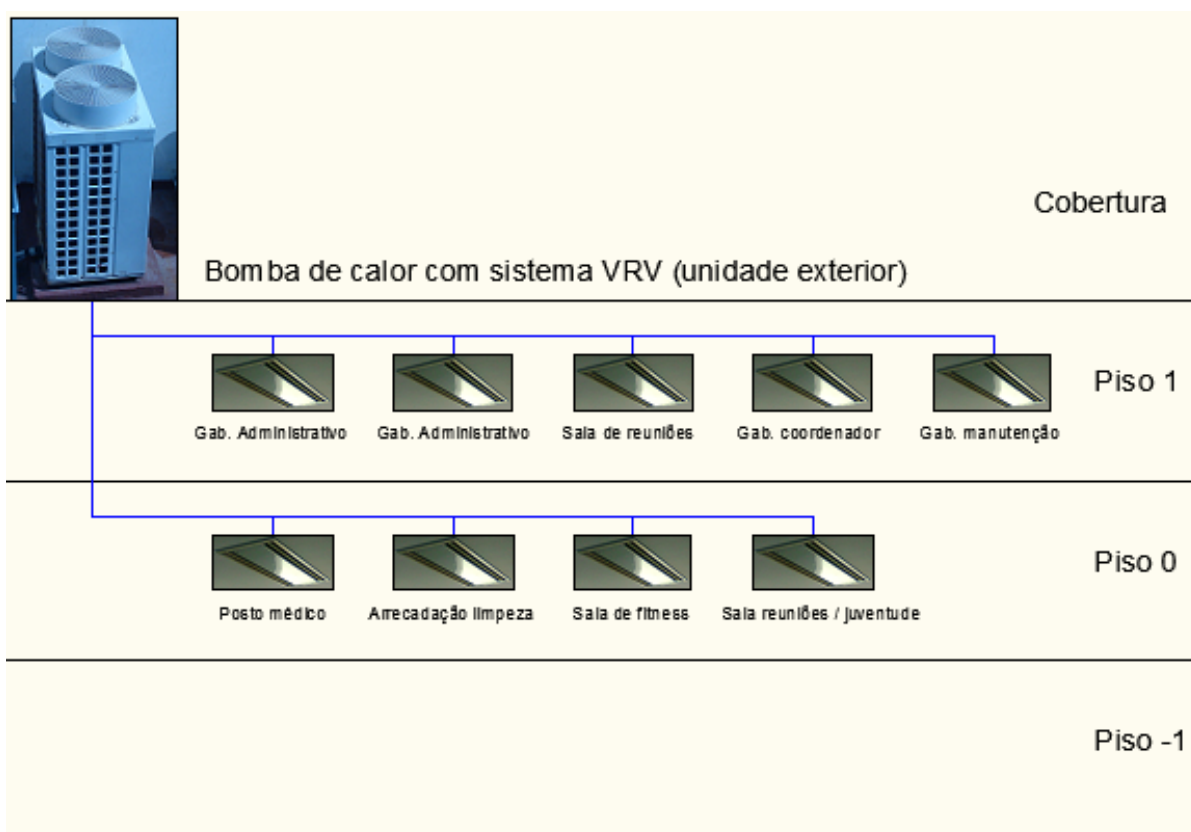


Figura 37 – Climatização dos nove espaços úteis distribuídos pelo edifício.

A insuflação nos espaços interiores é feita através de unidades interiores tipo cassete de duas vias, como se vê na figura 37, aquecendo ou arrefecendo, de forma independente cada uns dos espaços a climatizar.

V.2.4 – Unidade de climatização tipo bomba de calor

Esta unidade compacta faz toda a climatização do ginásio no piso 1, sendo o ar insuflado na sala através de uma conduta circular como se vê na figura 38. De seguida, apresentam-se as características técnicas do equipamento.

Tabela 13 – Características técnicas da unidade exterior de climatização do ginásio.

Equipamento	Marca	Modelo	Potência elétrica [KW]	Potência aquecimento [KW]	Potência arrefecimento [KW]	Caudal máximo de ar insuflado aquec. [m³/h]	Caudal máximo de ar insuflado arref. [m³/h]
Bomba de calor	mitsubishi	FDCA1001HES	6,7	28	25	10800	13200

A conduta de insuflação está no centro do ginásio percorrendo a maior dimensão e junto ao teto, como se mostra na fotografia seguinte. Esta conduta tem 600 mm de diâmetro e incorpora difusores retangulares de 600x120 mm [largura x comprimento].

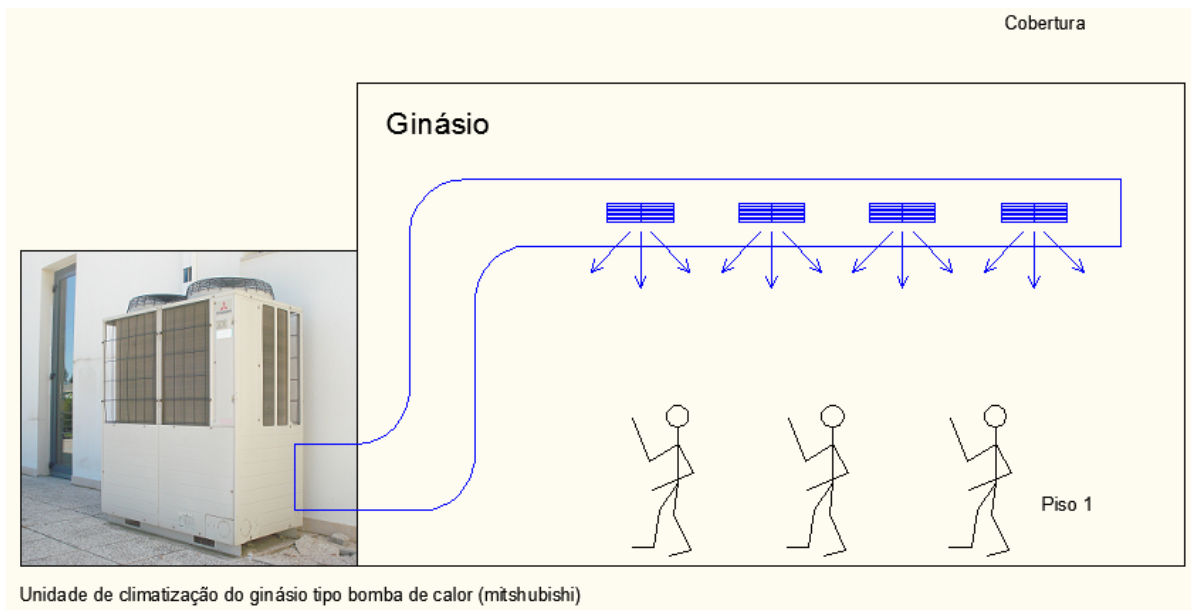


Figura 38 – Climatização do ginásio localizado no piso 1, ar insuflado por conduta e incorporadas com grelhas de difusão.



Fotografia 39 – Conduto de insuflação do ginásio.

V.2.5 – Unidade de climatização tipo bomba de calor

Esta unidade exterior tipo *split* está instalada na cobertura fazendo o aquecimento ou arrefecimento da esplanada interior do bar, localizada no piso 1. As características das máquina são apresentadas na tabela 14.

Tabela 14 – Características técnicas da unidade exterior de climatização da esplanada interior.

Equipamento	Marca	Modelo	Potência elétrica [KW]	Potência aquecimento [KW]	Potência arrefecimento [KW]	Caudal insuflação [m ³ /h]
Bomba de calor	york roca	BCI - 172/AVO - B	5,7	17,8	16	4000

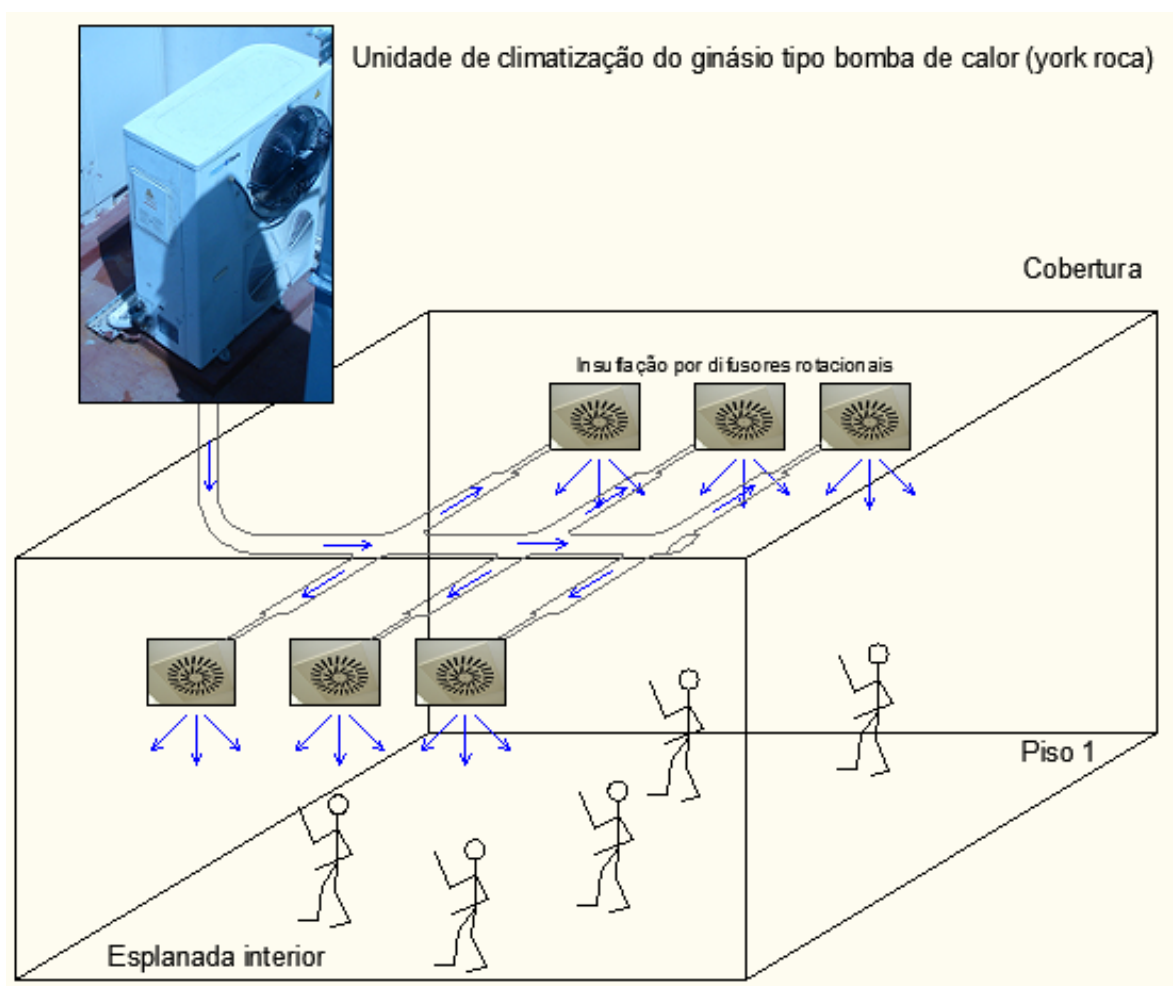


Figura 40 – Climatização da esplanada interior do bar, localizada no piso 1, ar insuflado por conduta e terminais de insuflação tipo difusores rotacionais.

Neste espaço, é importante o conforto térmico das pessoas para que possam usufruir da vista para a nave, assim como consumir produtos à venda no bar com toda a comodidade e conforto, deste modo o uso de difusores rotacionais para impulsionar o ar para o espaço.

V.2.6 – Unidade de climatização tipo bomba de calor

Para climatizar a sala de fitness localizada no piso 0, para além da outra unidade de climatização da *haier VRV* que climatiza o mesmo espaço, está instalada na cobertura uma unidade de climatização que se conecta a uma interior com as características técnicas descritas em seguida. Esta unidade é tipo "split" como se vê na figura 41.

Tabela 15 – Características técnicas da unidade de climatização da sala de *fitness*.

Equipamento	Marca	Modelo	Potência elétrica [KW]	Potência aquecimento [KW]	Potência arrefecimento [KW]	Caudal máximo de ar insuflado [m ³ /h]
Bomba de calor	HAIER	AU 36NAIBEA / AC 36NACBEA	5,5	10,5	12	6000



Figura 41 – Unidade de climatização, exterior e interior, da sala de *fitness*.

V.2.7 – Unidade de climatização tipo bomba de calor

Para climatizar o cabeleireiro estão duas unidades de climatização instaladas na cobertura, as características técnicas são apresentadas na tabela 16.

Tabela 16 – Características técnicas das unidade de climatização da sala de cabeleireiro.

Equipamento	Marca	Modelo	Potência elétrica [KW]	Potência aquecimento [KW]	Potência arrefecimento [KW]	Caudal máximo de ar insuflado [m ³ /h]
Bomba de calor	DAIKIN	RX 535J2V1B / FTXS35J	1,46	5,2	4	684
Bomba de calor	DAIKIN	RX 520J2V1B / FTXS20J	1,29	4,3	2,8	564



Figura 42 – Unidades exteriores de climatização tipo bomba de calor da *daikin*.

V.2.8 – Unidade de climatização tipo bomba de calor

Existe um pequeno espaço destinado aos servidores e *UPS* que se encontram num armário aberto no posto médico, localizado no piso 0. Para a climatização desta zona recorre-se a uma unidade de climatização tipo bomba de calor instalada na cobertura. As características técnicas são apresentadas na tabela 17.

Tabela 17 – Caraterísticas técnicas da unidade de climatização do servidor/*ups*.

Equipamento	Marca	Modelo	Potência elétrica [KW]	Potência aquecimento [KW]	Potência arrefecimento [KW]	Caudal máximo de insuflação [m ³ /h]
Bomba de calor	sharp	AEX12JR / AY-XPC12JHR	1,8	4	3,5	582



Figura 43 – Unidade exterior de climatização tipo bomba de calor da *sharp*.

V.2.9 – Unidades de tratamento de ar

Na cobertura estão instaladas duas unidades como se observa na figura 44. A máquina designada por UTA M, faz a climatização dos balneários das mulheres, enquanto que a UTA H faz a climatização dos balneários dos homens, assim como um espaço que serve de arrecadação também localizado no piso 0.

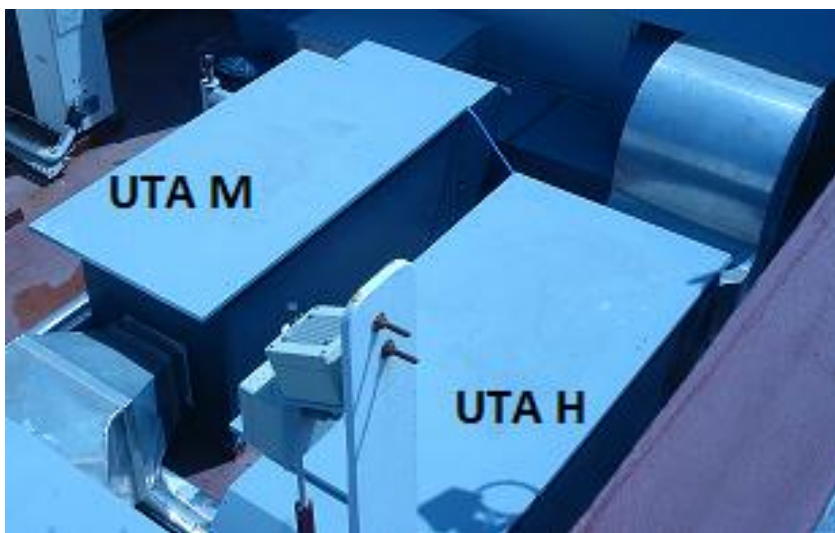


Figura 44 – Unidades de tratamento de ar instaladas na cobertura (UTA M e UTA H).

A terceira unidade está instalada na sala técnica (UTA J) que faz a climatização do jacuzzi e sauna, e da casa de banho localizada no piso -1.



Figura 45 – Unidade de tratamento de ar instalada na sala técnica (UTA J).

Estas unidade têm uma bateria de aquecimento a água quente, água essa aquecida pela caldeira, promovendo-se, assim, o aquecimento do ar novo para posterior insuflação nas zonas a climatizar. Apresenta-se um desenho esquemático simplificado dos componentes das três unidades de tratamento de ar e a sua disposição referente à circulação do ar.

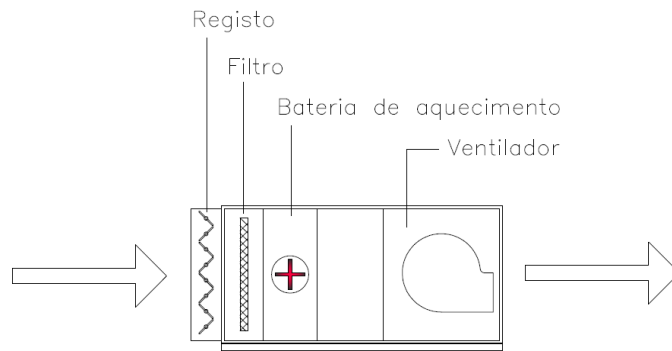


Figura 46 – Esquema simplificado da UTA H, UTA M e UTA J.

Como se pode observar na figura 47, a UTA H climatiza o espaço colorido a vermelho, a UTA M o espaço colorido a verde e finalmente a UTA J o espaço colorido a azul.



Figura 47 – Zonas climatizadas pelas unidade de tratamento de ar (a vermelho UTA H, a verde UTA M e a azul UTA J).

De seguida, apresentam-se as características técnicas das unidade de tratamento de ar.

Tabela 18 – Caraterísticas técnicas das UTAS.

Equipamento	Marca	Modelo	Potência elétrica [KW]	Potência aquecimento [KW]	Caudal máximo de insuflação [m³/h]
UTA J	CIAT	Climaciat Compact 50	0,55	28	2925
UTA H	CIAT	Climaciat Compact 50	0,75	34	3550
UTA M	CIAT	Climaciat Compact 50	2,2	47	5170

Tabela 19 – Consumo energético anual dos equipamentos de climatização instalados.

Máquina	Marca	P el. [KW]	Horas funcionamento anual	Consumo anual [KWh]	Zona a climatizar
Ventilador de extração	TROIA	0,37	3780	1.399	Sala térmica
Ventilador de extração	AREM	0,25	3780	945	Sala térmica
Ventilador de extração	AREM	0,25	3780	945	Nave da piscina
Ventilador de extração	AREM	0,25	3780	945	Nave da piscina
Ventilador de extração	AREM	0,25	3780	945	Nave da piscina
Ventilador de extração	AREM	0,25	3780	945	Nave da piscina
UTA	CIAT	0,55	3780	2.079	Sauna, Jacuzzi e WC do piso -1
UTA	CIAT	0,75	3780	2.835	Balneário e vestiário Homens
UTA	CIAT	2,2	3780	8.316	Balneário e vestiário
Ventilador de extração	TROIA	0,75	3780	2.835	
Ventilador de extração	TROIA	1,1	3780	4.158	
Ventilador de extração	TROIA	0,37	3780	1.399	
Desumidificador	CIAT	17,5	2742	47.985	Nave da piscina
Desumidificador	CIAT	17,5	2742	47.985	Nave da piscina
Desumidificador	CIAT	17,5	2742	47.985	Nave da piscina
Desumidificador	CIAT	17,5	2742	47.985	Nave da piscina
AC	HAIER	7,5	3780	28.350	9 unidade interiores
AC	ROCA YORK	5,7	3780	21.546	Esplanada do bar
AC	SHARP	1,8	7392	13.306	Servidor/UPS do posto médico
AC	MITSUBISHI	6,7	3780	25.326	Ginásio
AC	HAIER	5,5	2280	12.540	Sala de fitness
AC	Daikin	1,46	2216	3.235	Cabeleireiro
AC	Daikin	1,29	2216	2.859	Cabeleireiro
TOTAL		107,29 KW		326.847	KWh

A energia total dedicada à climatização do edifício corresponde a cerca de 20% da energia consumida anualmente no edifício. Tomando como referência o ano de 2011 verifica-se que, para um consumo anual de 1652037 kWh (figura 12) temos, dedicados à climatização, 326847 kWh (tabela 19) de energia anual consumida.

CAPÍTULO VI

Neste capítulo é feita a descrição do edifício, apontada a localização e o realiza-se o levantamento da sua envolvente. É também feita a descrição da sua orientação relativamente aos pontos cardeais.

VI.1 – Localização, caracterização e orientação solar do edifício

O edifício em estudo está localizado no concelho de Silves, como se documenta com a seguinte imagem obtida por satélite.



Figura 48 – Localização da piscina municipal de Silves, Google Earth em 01 de agosto de 2012.

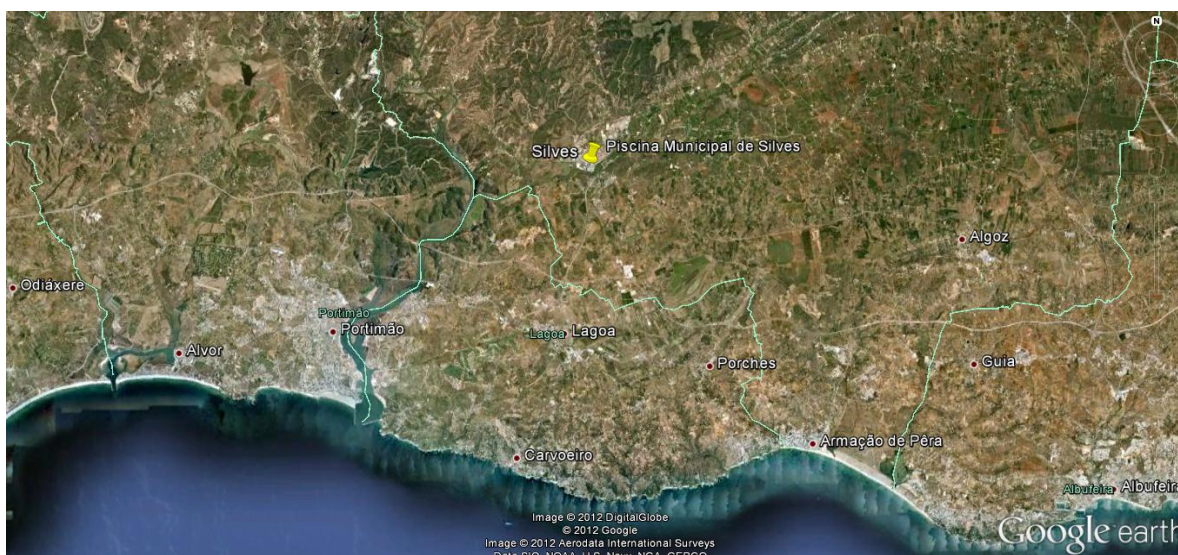


Figura 49 – Localização de Silves relativamente à costa marítima (aproximadamente 10 km).

O edifício está localizado na zona climática II-V2 Sul, com 5,7 meses de duração da estação de aquecimento e com 1180 graus-dia. A temperatura exterior de projeto é de 33 °C com uma amplitude térmica de 12 °C. [7]

De acordo com o Decreto-Lei nº 79/2006, de 4 de Abril, designado por *RSECE* (regulamento dos sistemas energéticos de climatização em edifícios), este edifício pertence à tipologia de "clubes desportivos com piscina". [8]

O edifício situa-se a 25 m de altitude, onde a pressão atmosférica é de 101025 Pa.

Este edifício é composto por três pisos; o piso -1, o piso 0 e o piso 1. O pé-direito médio ponderado do edifício é de 3,5 metros e área total é de 5336,4 m².

A orientação do edifício é ilustrada na figura seguinte:

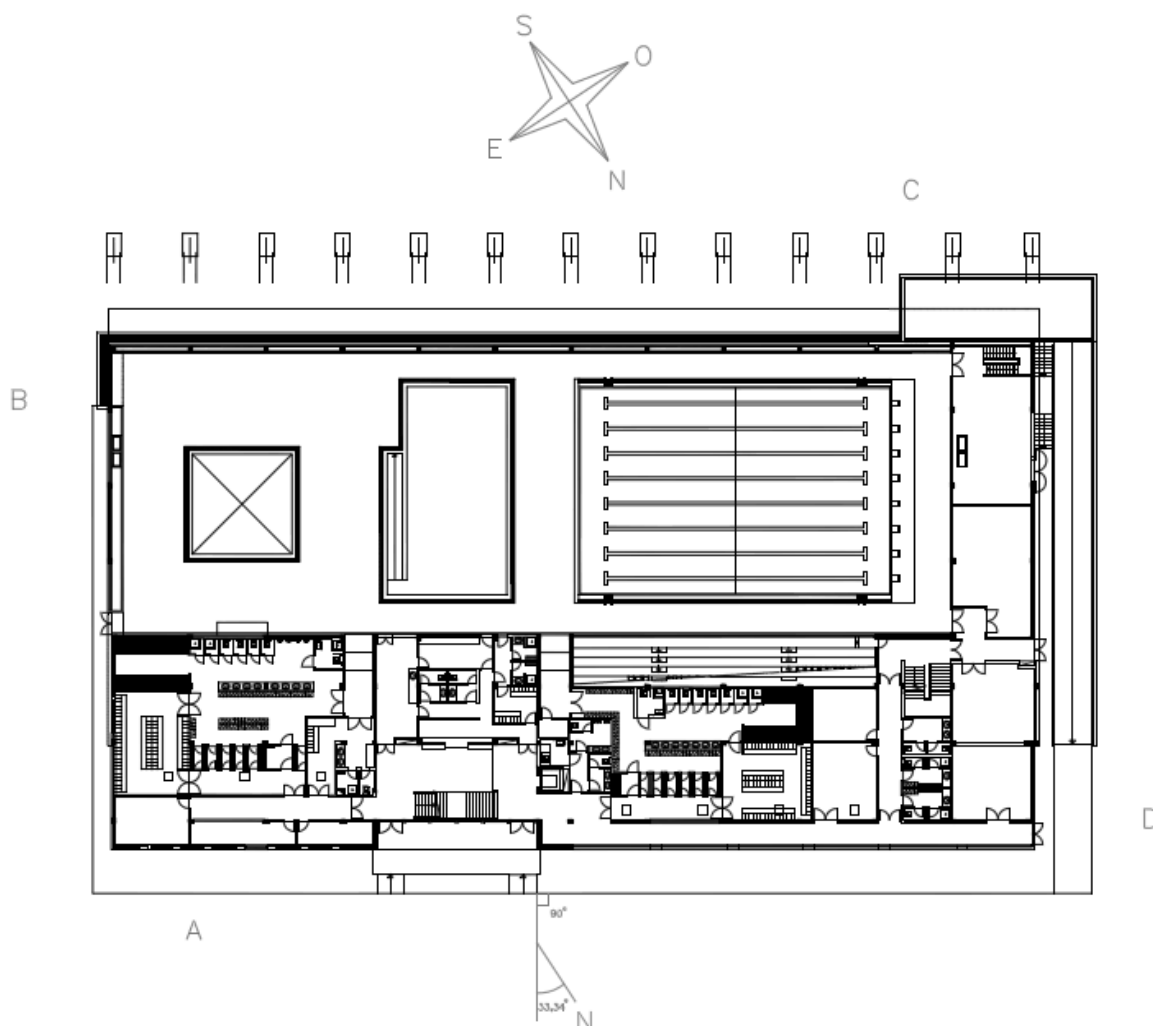


Figura 50 – Orientação do edifício segundo os eixos cardeais.

A fachada principal está assinalada na figura 50. Considera-se principal, porque é onde se encontra a entrada do edifício. Esta fachada está orientada para nordeste (NE).



Figura 51 – Fachada principal da piscina municipal de Silves (A).

Esta fachada é a que menos problemas tem para o balanço energético do edifício. Isto, quando considerando a radiação solar nesse cálculo, já que, durante a estação fria (inverno), nunca está exposta diretamente à radiação solar; apenas a componente difusa lhe incide a partir da abóbada celeste. Relativamente à estação quente (verão), a radiação incidente é pequena (baixa fração solar) com poucas horas de exposição no início da manhã e ao fim da tarde.

A figura 52 representa a envolvente orientada para sudeste.



Figura 52 – Fachada lateral orientada para sudeste (B).

Como o nascer do Sol se dá aproximadamente nesta direção (sudeste, durante a estação fria (inverno), a fração de radiação incidente é muito pouca, já que tem pouco tempo de exposição. Unicamente no período da manhã é que essa pequena fração de radiação incide, sendo o seu ângulo de incidência muito reduzido. Quanto à estação quente (verão), a captação de energia solar é maximizada, já que os ângulos de incidência são quase perpendiculares à fachada, o que é bastante danoso em termos térmicos nessa altura do ano (ganhos térmicos excessivos). O nascer do Sol dá-

se na orientação nordeste e fica durante um longo período a incidir de forma direta no período da manhã.

A fachada representada pela figura 53 é a que mais contribui para a iluminação natural da nave da piscina e também a que mais preponderância tem nos ganhos solares para o edifício (nomeadamente para a zona da nave da piscina).



Figura 53 – Fachada orientada para sudoeste com pala de sombreamento e maior área de vãos transparentes (C).

Comparada com as outras fachadas, esta é a que recebe a maior quantidade de radiação solar e simultaneamente a mais fácil de sombrear, com recurso a palas horizontais de sombreamento.

Na estação fria (inverno), como o sol se move em azimutes muito próximos do sul geográfico e ao mesmo tempo com menores alturas no horizonte, isso contribui com ganhos solares importantes, o que trás vantagens bastante apreciáveis em termos energéticos. No inverno, é importante ter os ganhos solares otimizados para evitar ao máximo o recurso às energias não renováveis para o aquecimento do edifício. Na estação quente (verão), como o percurso do sol do nascer ao ocaso (de nordeste para noroeste) é mais próximo do zénite, o ângulo de incidência com a normal é elevado, logo, é solucionável, nesta fachada, a atenuação da radiação solar com o auxílio de palas de sombreamento horizontais.

Por último, a fachada lateral orientada para noroeste (figura 54), tem um fator negativo, a temperatura do ar exterior quando sujeita a radiação solar. É em tudo idêntica à fachada representada na figura 52, mas com o problema acrescido do período do dia em que está sujeita à radiação, já que é no período da tarde que ocorrem as maiores temperaturas do ar no exterior. Na estação fria (inverno), os efeitos da radiação são reduzidos, já que esta incide durante poucas horas durante a tarde e os ângulos de incidência são elevados. Daí a reduzida contribuição da radiação solar nesta fachada, durante o inverno, o que é uma desvantagem quando precisamos de ter ganhos térmicos. Relativamente à estação quente (verão), temos longas horas de exposição à radiação solar

no período da tarde, desde o meio dia até ao pôr do sol. Esta é a fachada com maiores problemas no verão, já que contribui com elevadas cargas térmicas, o que requer um cuidado especial quanto à área transparente e sombreamento a utilizar.



Figura 54 – Fachada lateral orientada para noroeste (D).

No gráfico que se segue apresentam-se os valores da radiação obtida para a cidade de Silves. Verifica-se que nas fachadas a sul, durante o inverno, há um maior contributo em ganhos solares o que é vantajoso, enquanto que no verão é necessário recorrer a palas de sombreamento para minorar os ganhos indesejáveis nessa altura do ano. Este gráfico foi retirado da base de dados do *SOLTERM*, referente à cidade de Silves.

Os valores da radiação são medidos ao longo de um ano.

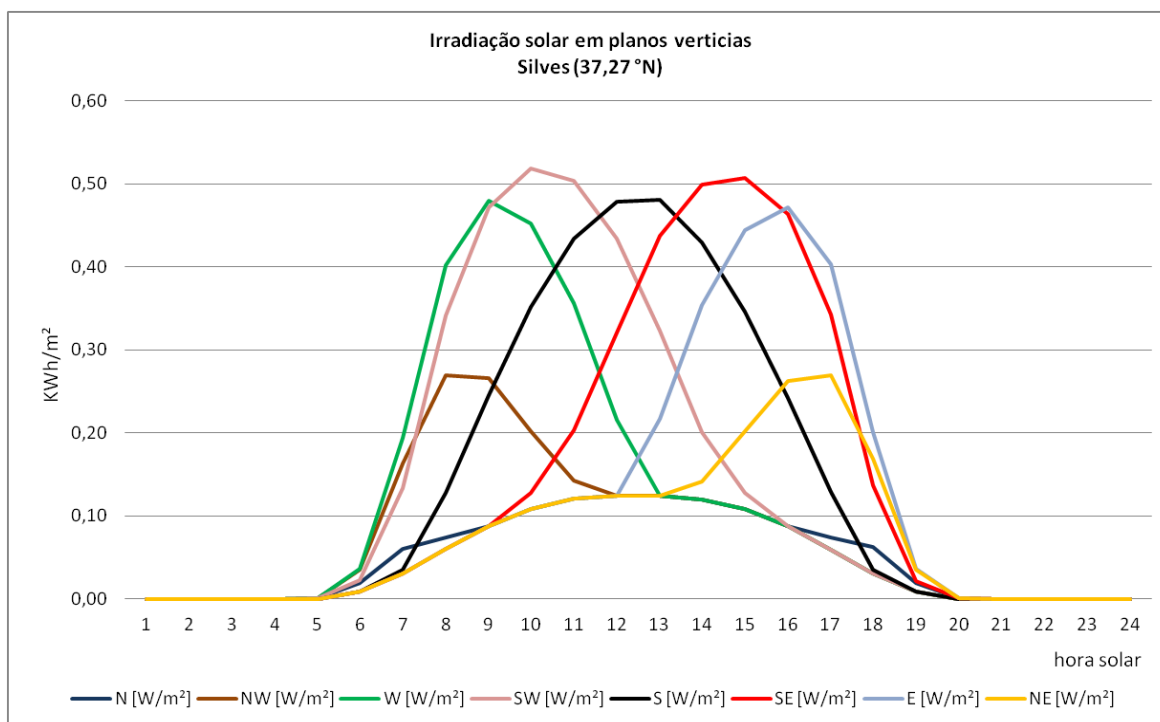


Figura 55 – Radiação solar medida em Silves relativamente a um plano vertical.

VI.1.1 – Caracterização da envolvente do edifício

Inicia-se a descrição das envolventes do edifício e das respetivas constituições e da quantificação de alguns parâmetros como os coeficientes de transmissão de calor, valores que, posteriormente entrarão na simulação dinâmica do edifício através do programa *Designbuilder*, versão 2.3.6.005.

Assumir-se-á que as características dos diversos elementos construtivos é a que resulta da informação recolhida no local e também com os elementos do projeto de implementação da obra disponibilizado pelo gabinete técnico da piscina municipal de Silves.

VI.1.1.1 – Envolvente exterior opaca

A espessura da envolvente opaca exterior é de 40 cm, sendo, de acordo com o projeto de construção, formada por tijolo de alvenaria, caixa de ar, isolamento de poliestireno extrudido, estuque no interior e reboco no exterior. Os valores para o cálculo do coeficiente global de transferência de calor são apresentados na tabela número 20. Para isso, foi realizada uma análise aos elementos construtivos de forma individual, de acordo com a auditoria técnica feita às instalações durante os meses de junho, julho, agosto e setembro, e partindo dos valores do ITE-50 do laboratório nacional de engenharia civil, versão de 2006.

Tabela 20 – Coeficiente global de transferência de calor da envolvente opaca exterior.

Envolvente opaca exterior			
	espessura [m]	K [W/(m.°C)]	R [(m².°C)/W]
h ext	-		0,040
reboco	0,002	1,300	0,002
tijolo 15	0,150		0,390
caixa de ar	0,070	0,180	0,160
isolamento XPS	0,030	0,037	0,811
tijolo 15	0,150		0,390
estuque	0,002	0,300	0,007
h int	-		0,130
U [W/m².°C]	0,40		0,52

O valor obtido do coeficiente global de transferência de calor para a envolvente opaca exterior para introduzir no *Designbuilder* a fim de simular o edifício é 0,52 W/m².°C.

Na figura 56 apresenta-se a solução construtiva utilizada na envolvente opaca do edifício.

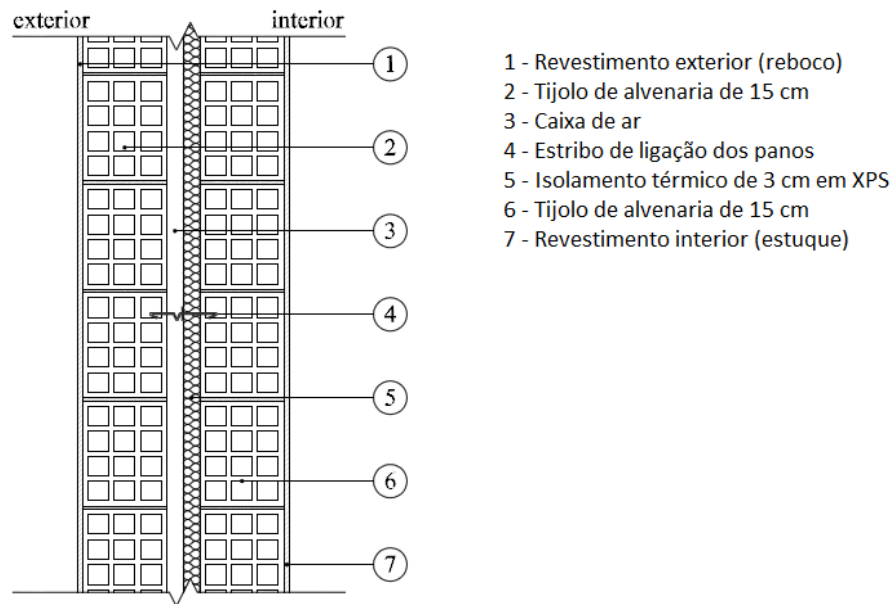


Figura 56 – Solução construtiva da envolvente opaca exterior do edifício.

VI.1.1.2 – Paredes interiores

Seguindo o mesmo raciocínio nas envolturas interiores e tendo como referência o projeto de construção, obtemos os resultados apresentados na tabela 21. A espessura das paredes interiores é de 15 cm sendo constituídas por tijolo de alvenaria, estuque e reboco.

Tabela 21 – Coeficiente global de transferência de calor das paredes interiores.

Paredes interiores			
	espessura [m]	K [W/(m.°C)]	R [(m².°C)/W]
h ext	-		0,120
reboco	0,002	1,30	0,002
tijolo 15	0,150		0,390
estruque	0,002	0,300	0,007
h int	-		0,120
U [W/m².°C]	0,15		1,57

O valor obtido do coeficiente global de transferência de calor das paredes interiores para introduzir no *Designbuilder* a fim de simular o edifício é 1,57 W/m².°C.

Na figura 57 apresenta-se a solução construtiva utilizada na construção das paredes interiores do edifício.

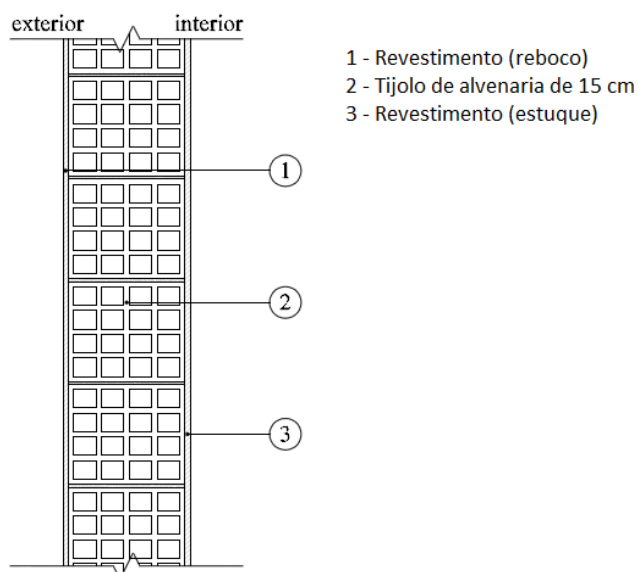


Figura 57 – Solução construtiva das paredes interiores do edifício.

VI.1.1.3 – Cobertura exterior

A cobertura, no projeto designada por solário, é constituída de acordo com a tabela 22. Note-se que, devido ao facto de a convecção natural ser diferente no inverno e no verão, consoante a resistência térmica superficial interior e exterior, apresenta dois valores distintos. O valor adotado para a simulação foi de $1,09 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

Tabela 22 – Coeficiente global de transferência de calor da cobertura exterior horizontal em terraço.

Cobertura exterior			Inverno	Verão
	espessura [m]	K [W/(m·°C)]	R [(m²·°C)/W]	R [(m²·°C)/W]
h ext	-		0,04	0,04
granito	0,020	2,80	0,01	0,01
reboco	0,002	0,34	0,01	0,01
laje maciça	0,250	2,00	0,13	0,13
betão leve	0,040	1,35	0,03	0,20
isolamento XPS	0,020	0,04	0,54	0,54
estruque	0,020	0,30	0,07	0,07
h int	-		0,10	0,17
U [W/m²·°C]	0,35		1,09	0,86

Na figura 58 apresenta-se a solução utilizada na construção da cobertura horizontal exterior em terraço.

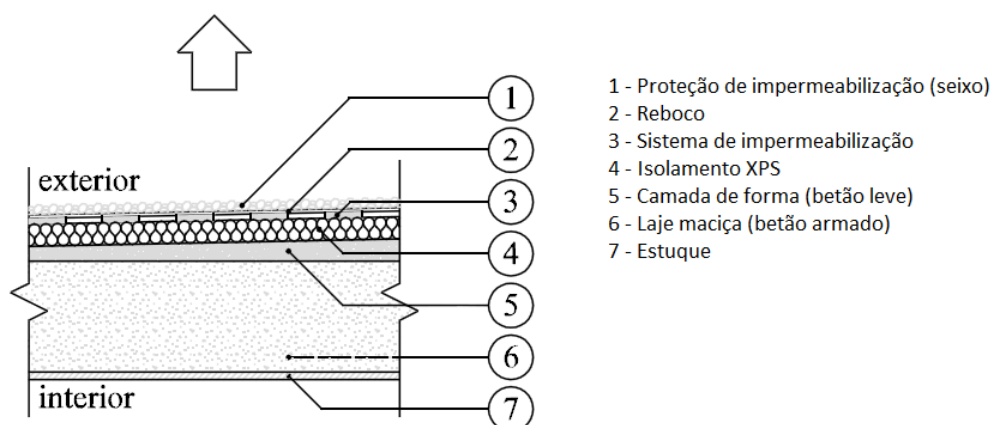


Figura 58 – Solução construtiva da cobertura exterior em terraço.

VI.1.1.3 – Cobertura da nave da piscina

A cobertura que envolve superiormente toda a zona da nave é composta por *paineis sandwich* com 40 mm de espessura com um coeficiente global de transferência de calor de $0,73 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

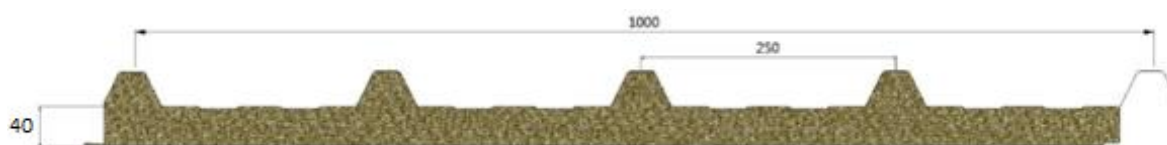


Figura 59 – Solução construtiva da cobertura da nave da piscina.

VI.1.1.4 – Envidraçados

Existem três tipologias, apresentadas na figura 60, de vãos envidraçados aplicados no edifício: a série de batente *BX* sem rotura térmica, a de correr *BW* sem rotura térmica e a de batente *B90* também sem rotura térmica, todas da marca *SAPA*. O vidro usado apresenta a seguinte composição: vidro exterior de 6 mm temperado, caixa de ar de 8 mm e vidro interior de 6 mm também temperado. A utilização do vidro temperado justifica-se pela amplitude térmica existente no interior e exterior do edifício, dando origem a elevadas tensões térmicas no vidro, evitando, assim, a rotura do material.

O coeficiente global de transferência de calor do vidro duplo, aplicado nos caixilhos existentes na piscina municipal de Silves, foi calculado com o programa da *saint-gobain glass, calumen II*, usado para cálculos desta natureza na maioria das vidreiras na europa. Apresenta-se, em anexo, o relatório deste cálculo.

O coeficiente global de transferência de calor usado para os cálculos energéticos foi de $4 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, dado o estado em que se encontram as caixilharias, em que o silicone está mal aplicado e algum já inexistente, este valor tenderá, certamente, a ser mais elevado do que aquele que os ensaios, em condições ideais, fornecem.

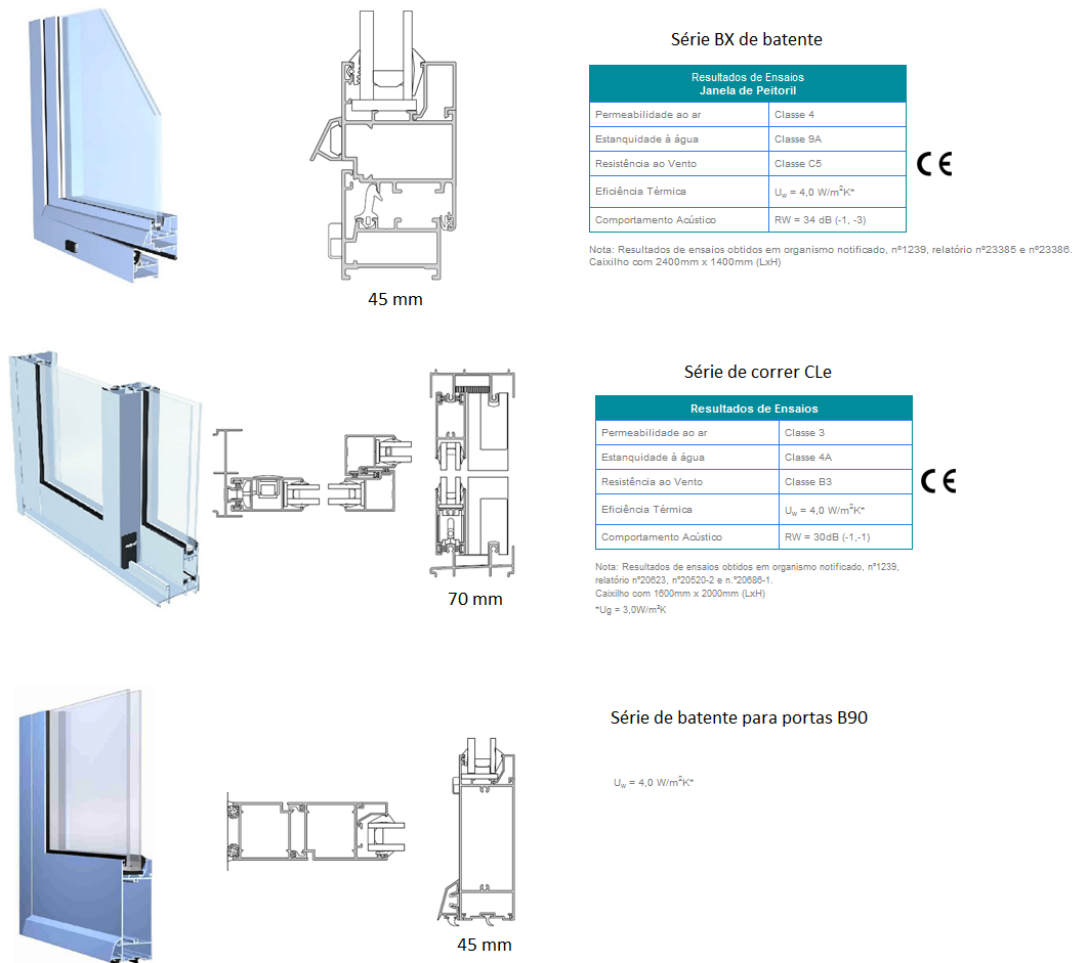


Figura 60 – Sistemas de alumínio aplicados no edifício em estudo [9].

VI.1.1.5 – Dispositivos de proteção solar

Estes dispositivos, denominados palas de sombreamento horizontais, existem na fachada orientada a sudoeste. Na fachada a nordeste também está construído um desses dispositivos, mas com menor área de proteção, como se pode verificar nas fotos seguintes. As palas de sombreamento são construídas do mesmo material da cobertura da nave das piscinas, isto é, em *painel sandwich*.



Figura 61 – Palas de sombreamento horizontais, à esquerda a fachada SO e à direita a NE.

VI.2 – Balanço energético da nave

No que respeita à zona fronteira ilustrada na figura 62, há a considerar, no balanço energético, os ganhos/perdas de calor sensível pelos envidraçados, cobertura, parede exterior, iluminação e ocupação. Quanto à ocupação, os ganhos para além de sensíveis são também latentes.

Por último, salientam-se as trocas de calor, sensíveis e latentes, da água das piscinas com o ar ambiente interior, através dos processos de evaporação, convecção e radiação.

As condições de conforto utilizadas para o ambiente interior da nave são: 60% de humidade relativa, 30 °C de temperatura interior e 29 °C de temperatura da água do tanque da piscina desportiva. São estes valores aplicados nas instalações pela equipa de manutenção e, para a análise ser mais aproximada da realidade, serão também usados para as simulações energéticas que se seguem.

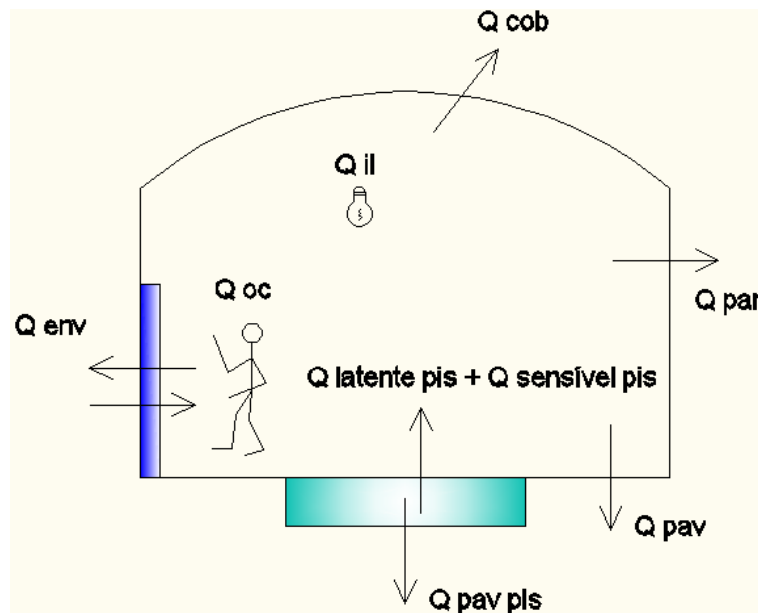


Figura 62 – Esquema simplificado das trocas de calor entre a nave da piscina e a envolvente.

O programa que se utilizará para os balanços energéticos deste trabalho tem por base o seguinte algoritmo (equação 5):

$$C_z \frac{dT_z}{dt} = \sum_{i=1}^{N_{si}} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{N_{superfícies}} h_i \cdot A_i \cdot (T_{si} - T_z) + \sum_{i=1}^{N_{zonas}} m_i \cdot C_p \cdot (T_{zi} - T_z) + m_{inf} \cdot C_p \cdot (T_{\infty} - T_z) + \dot{Q}_{sistema} + \dot{Q}_{lapis} + \dot{Q}_{senspis} \quad (5)$$

em que,

$$\sum_{i=1}^{N_{si}} \dot{Q}_i - \text{ganhos internos devido à convecção;}$$

$\sum_{i=1}^{N_{superficies}} h_i \cdot A_i \cdot (T_{si} - T_z)$ - transferência de calor das superfícies da zona por convecção;

$\sum_{i=1}^{N_{zonas}} m_i \cdot C_p \cdot (T_{zi} - T_z)$ - transferência de calor por mistura de ar entre zonas vizinhas;

$m_{inf} \cdot C_p \cdot (T_{\infty} - T_z)$ - transferência de calor devido às infiltrações do ar exterior;

$Q_{sistema}$ - transferência de calor fornecido pelo sistema de climatização;

Q_{latpis} - transferência de calor latente do tanque da piscina para o ar ambiente interior;

$Q_{senspis}$ - transferência de calor sensível do tanque da piscina para o ar ambiente interior;

$C_z \frac{dT_z}{dt}$ - energia armazenada por zona.

É a partir desta equação que os balanços são feitos, zona a zona, para o edifício e/ou para a zona a simular. Para iniciarmos a simulação do edifício, temos de importar inicialmente os ficheiros em *dxf* do *software Autocad* para depois modelar o edifício tridimensionalmente. De seguida, introduzem-se as características das envolventes do edifício, paredes exteriores, interiores, cobertura, pavimento, envidraçados e dispositivos de sombreamento. O passo a seguir é dar o input por zona do sistema de climatização, da ocupação, dos equipamentos e da iluminação.

Nos separadores existentes no painel principal do programa são introduzidos os dados referentes ao edifício, neste caso, em concreto, os referentes à nave. Os separadores são designados por, *activity*, *construction*, *openings*, *lighting* e *hvac*.

Os dados para a simulação real da nave das piscinas mostram-se nas figuras abaixo.

"*Activity*" é um separador onde se introduzem o tipo de atividade, a densidade ocupacional, a densidade da iluminação, o consumo das águas quentes sanitárias e a quantidade de ar novo a insuflar no espaço.

Quanto ao separador "*constuction*" os dados a fornecer ao programa são: a caracterização térmica dos elementos construtivos que compõem o edifício, como por exemplo os dispositivos de sombreamento, as paredes exteriores e interiores, etc. O separador "*openings*" serve para caracterizar os vãos envidraçados, cortinados, grelhas de ventilação, portadas aplicados no edifício.

O "lighting" identifica, em matéria de iluminação, a potência por área e os perfis de utilização.

Por fim, temos o separador "hvac", que dá a indicação ao programa acerca dos equipamentos de climatização a funcionar no edifício, assim como o aquecimento das AQS .

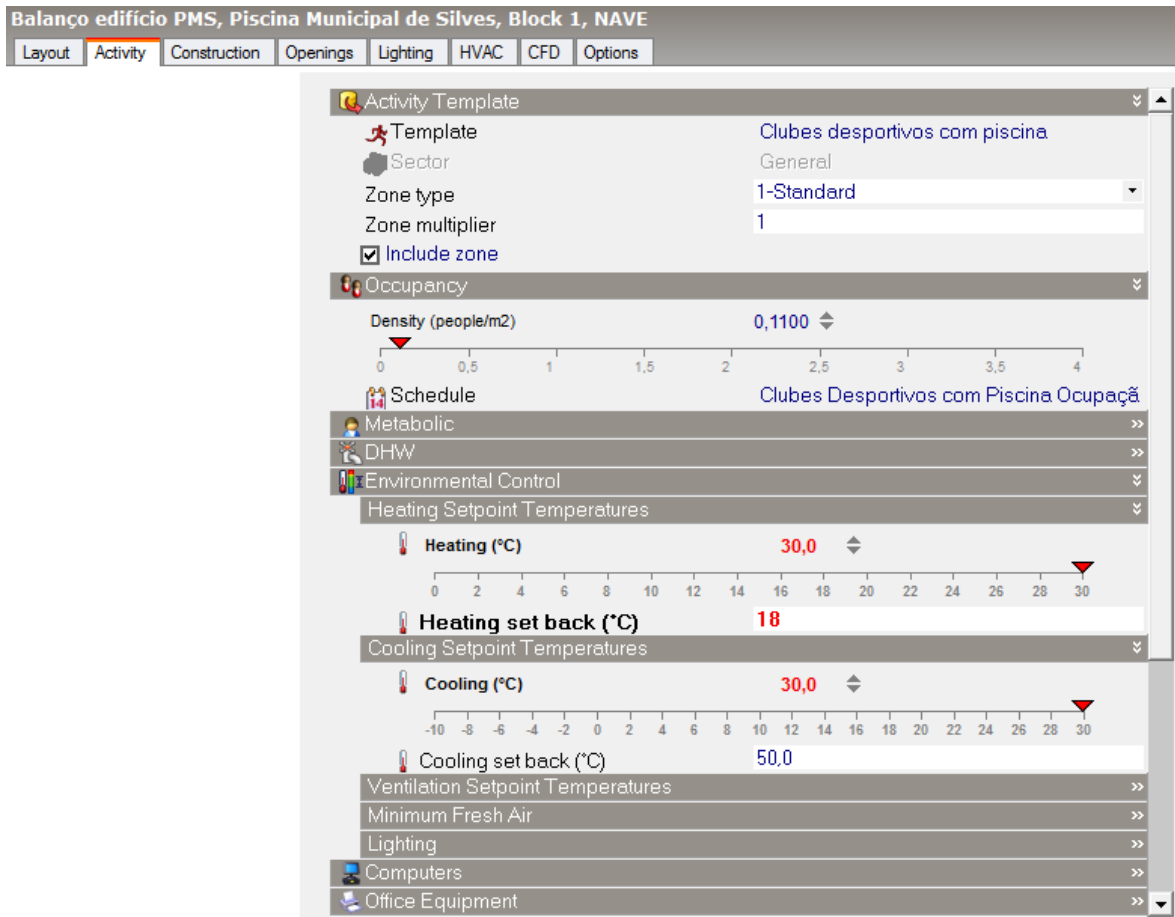


Figura 63 – Dados de entrada referentes ao painel "activity".

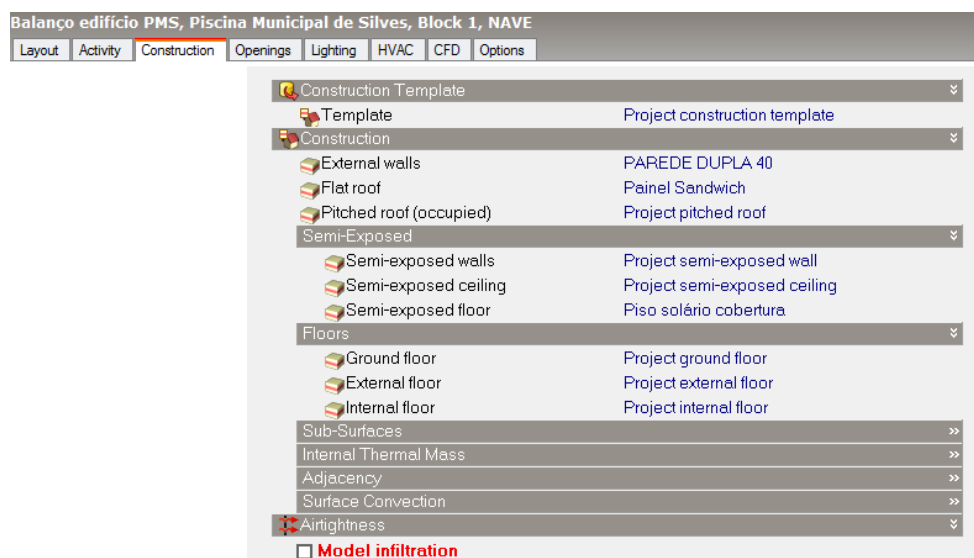


Figura 64 – Dados de entrada referentes ao painel "construction".

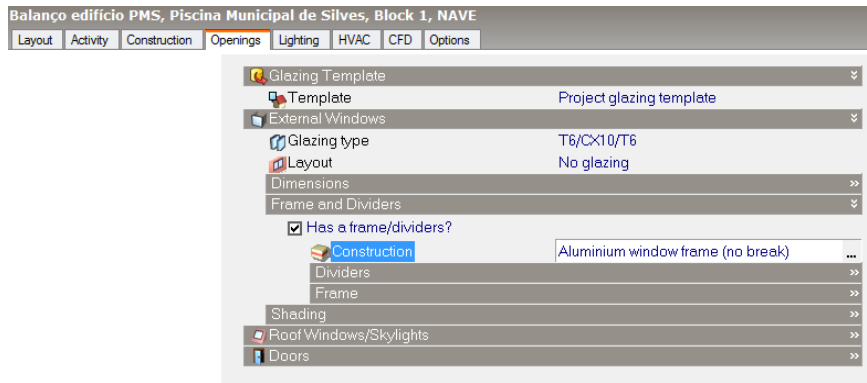


Figura 65 – Dados de entrada referentes ao painel "openings".

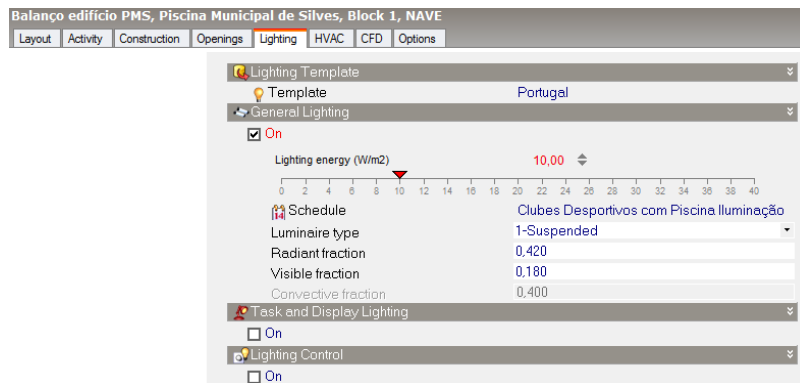


Figura 66 – Dados de entrada referentes ao painel "lighting".

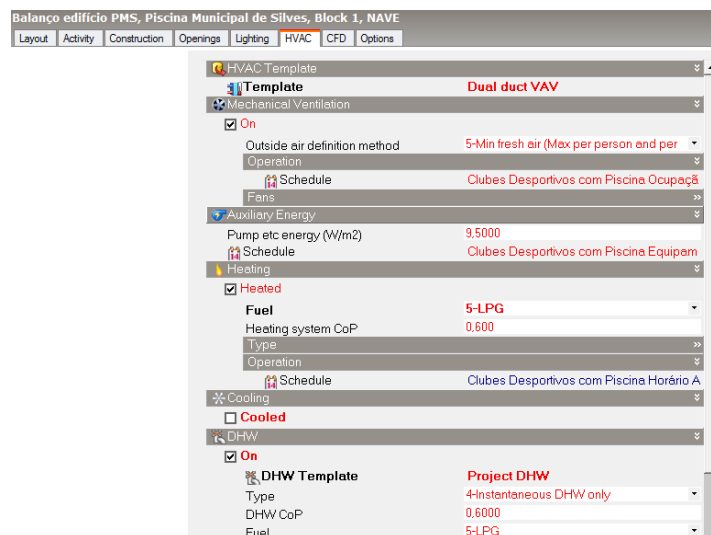


Figura 67 – Dados de entrada referentes ao painel "hvac".

Os perfis de utilização foram retirados do decreto lei n.º 79/2006 de 4 de abril (RSECE).

É importante salientar que os perfis do RSECE se aproximam dos que foram objeto de recolha no local.

Segue-se o modelo tridimensional do edifício, usado para as simulações efetuadas.

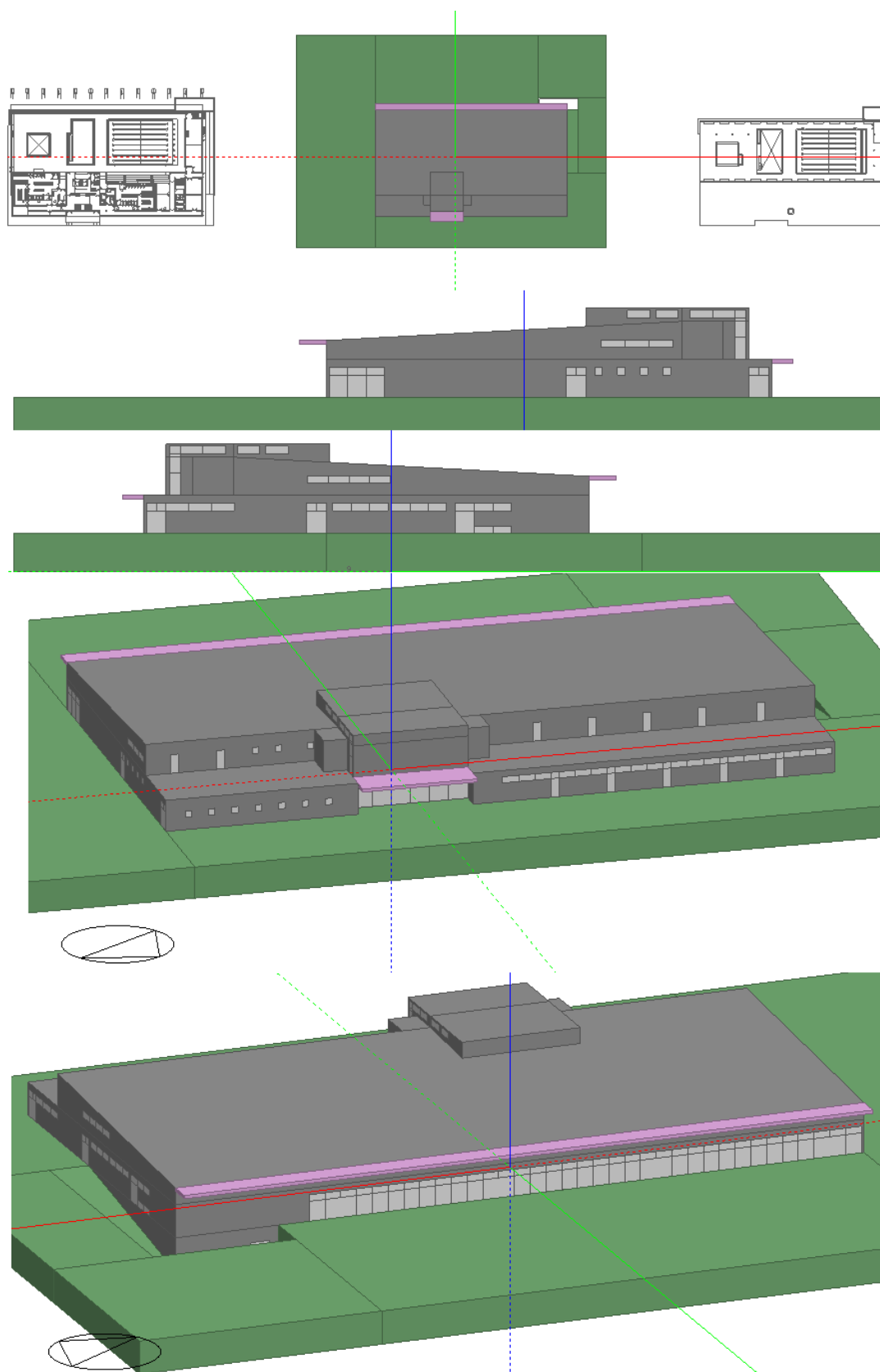


Figura 68 – Planta e alçados SE, NO, NE, SO do modelo tridimensional desenhado no *Designbuilder* (vendo de cima para baixo).

VI.2.1 – Consumo da nave sem climatização

A figura 69 apresenta o modelo tridimensional gerado pelo programa *Designbuilder* a partir das informações constantes nos ficheiros em *Autocad* existentes na piscina e também do levantamento dimensional realizado no local.

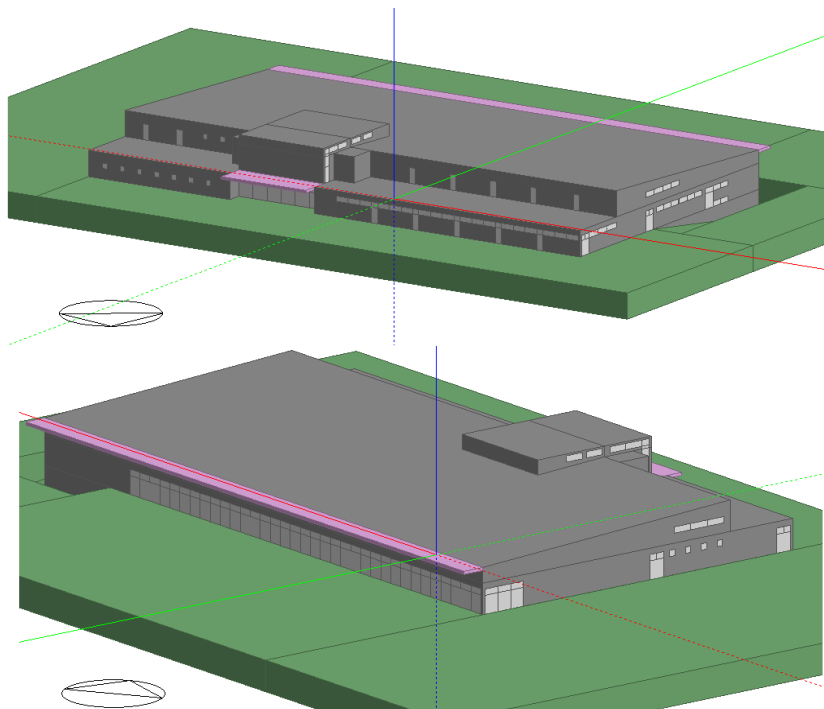


Figura 69 – Modelo tridimensional do edifício gerado pelo programa *Designbuilder*.

O edifício está apenas sujeito às condições exteriores, não se encontrando acionada a climatização.

A orientação e áreas de envolvente exterior opaca e transparente estão de acordo com o edifício existente.

A tabela que se segue mostra as áreas separadas por orientação, tendo também sido calculados os ganhos anuais solares globais da nave da piscina. Esta simulação serve para verificar as condições de conforto do edifício, assim como os ganhos internos associados, causados pela ocupação, iluminação e pelos envidraçados.

Tabela 23 – Área transparente e opaca por orientação solar do edifício e respetivo ganho anual solar.

Fachada	Orientação	A par [m ²]	A co [m ²]	A eo [m ²]	A env [m ²]	Q solar [KWh]
A	NE	73,5	1.703,1	2.127,0	11,0	60.816,85
B	SE	113,2			11,5	
C	SO	237,3			118,8	
D	NO	0,0			0,0	
[(A env / A eo)x100 = 6,6 %]						

Como se pode observar na simulação da nave da piscina, para o caso, sem climatização, os ganhos internos devidos à ocupação são aqueles que maior valor apresentam, logo seguidos pelos ganhos solares, e por fim, pelos ganhos inerentes à iluminação (figura 70). Os ganhos da ocupação resultam do somatório dos ganhos latentes e sensíveis enquanto que os ganhos solares e da iluminação são apenas sensíveis.

No figura 71 mostra-se a evolução mensal das condições interiores, verificando-se uma amplitude térmica anual média no interior da nave de aproximadamente 10 °C, variando a sua temperatura interior desde os 20 °C, em janeiro até aos 30 °C, em agosto. A humidade relativa tem o valor médio mínimo, no mês de junho de 63 % e máximo em outubro de 76 %. Os valores apresentados são médias mensais, já que a temperatura e, principalmente, a humidade relativa sofrem grandes oscilações ao longo do dia. Considerou-se uma taxa de ventilação igual a 0,76 rph⁴.

Nesta simulação não foram considerados os ganhos energéticos desde a superfície da água do tanque para o ar ambiente interior.

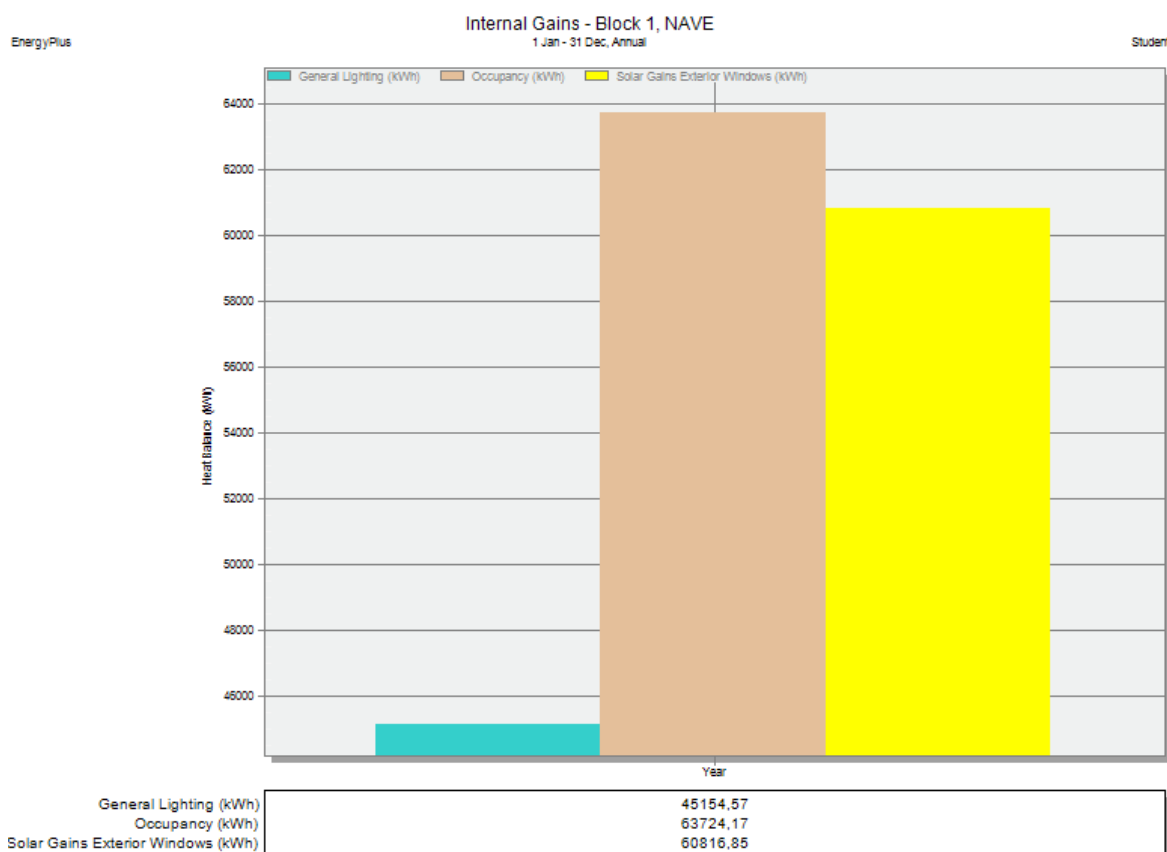


Figura 70 – Consumo energético da nave da piscina sem climatização.

⁴ Renovações de ar por hora.

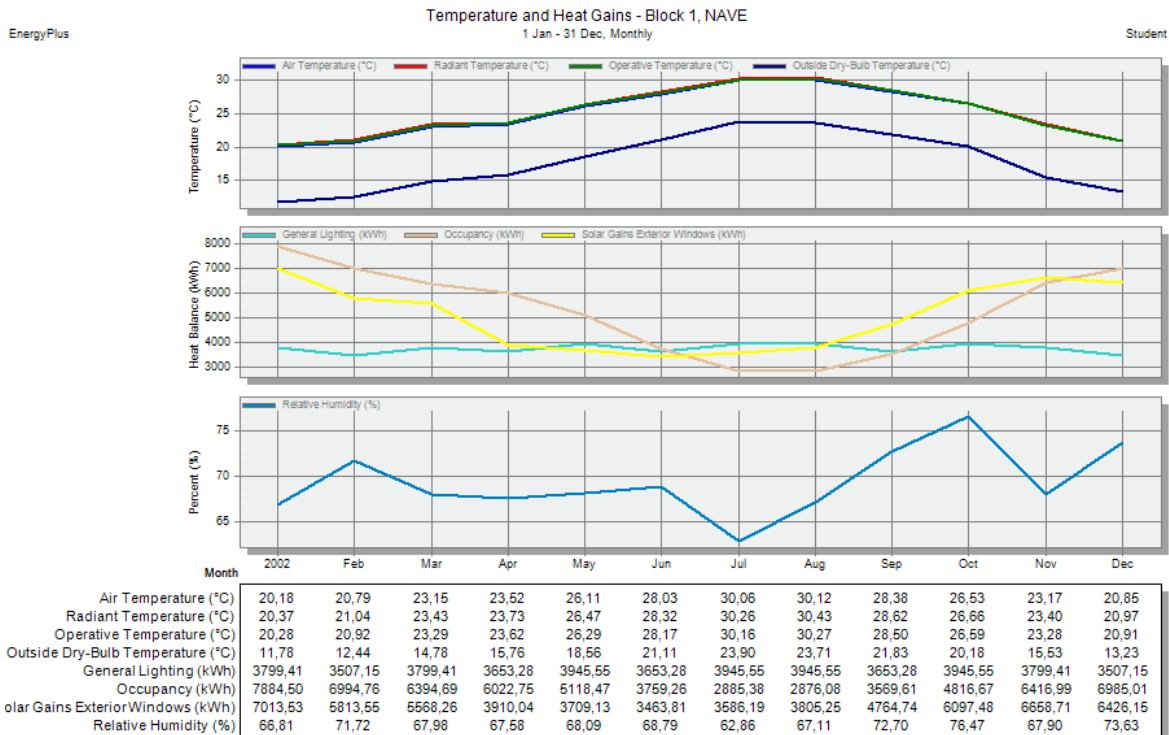


Figura 71 – Condições de conforto da nave da piscina sem climatização.

VI.2.2 – Consumo da nave sem climatização com acionamento do efeito dos tanques das piscinas

Nesta simulação manteve-se a climatização desligada e foi acionado o efeito provocado no ambiente interior pela evaporação da água a partir da superfície dos tanques.



Figura 72 – Introdução no programa dos ganhos referentes aos tanques das piscinas.

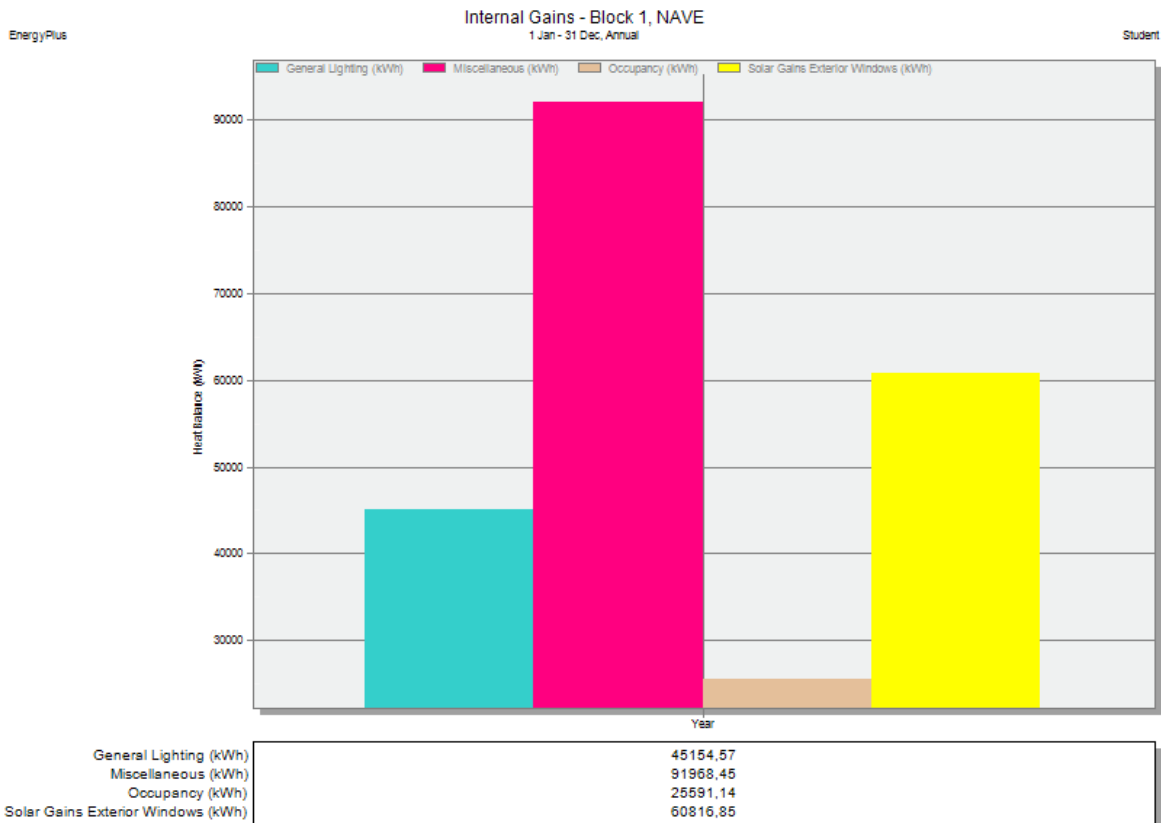


Figura 73 – Consumo energético da nave da piscina sem climatização, considerando ganhos a partir da superfície da água dos tanques.

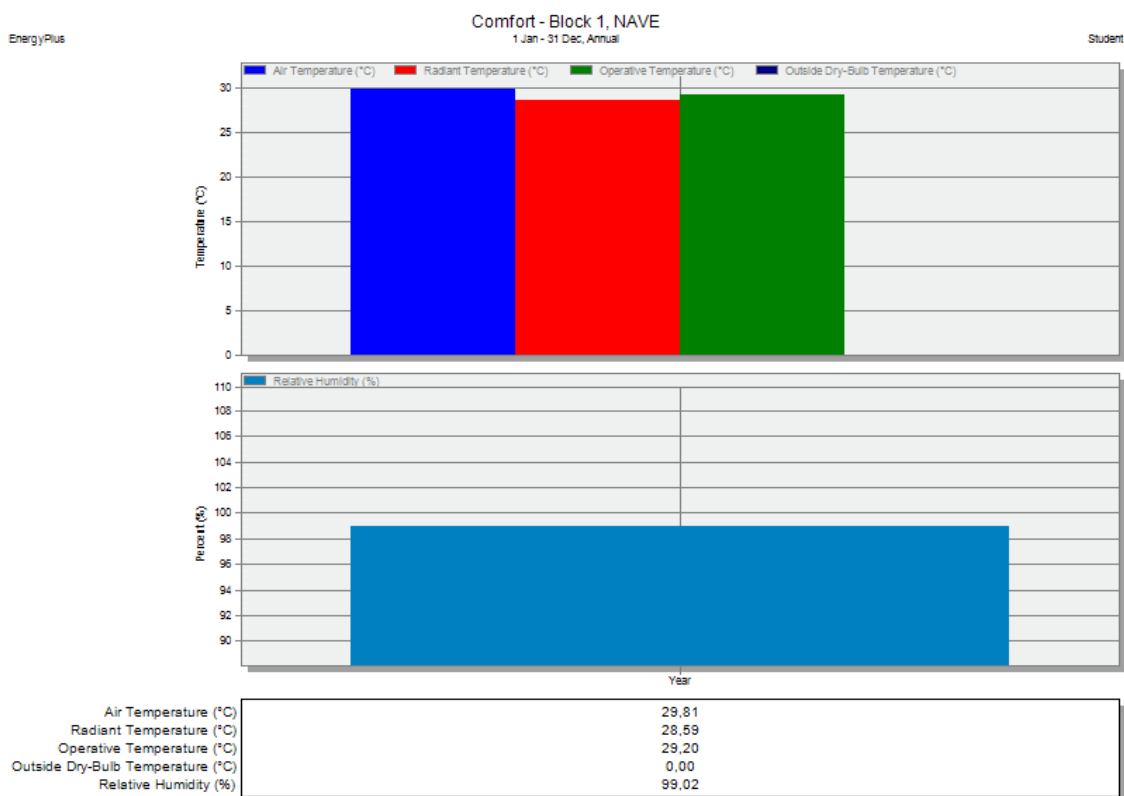


Figura 74 – Valores médios anuais do estado higrométrico do ar.

O que ressalta é o valor elevadíssimo da humidade relativa como seria esperado, o que quer dizer que as piscinas têm um efeito principal nas variações das condições do ar ambiente na nave da piscina. Por isso a necessidade de desumidificação do ar para retirar vapor de água do espaço, insuflando ar que permita diminuir as cargas latentes, assim como manter a temperatura ideal de conforto para os banhistas, isto é, reduzir as cargas sensíveis diminuindo o valor da temperatura de bolbo seco.

No gráfico seguinte mostra-se a evolução mensal das condições médias do ar da nave da piscina. Verifica-se uma variação pouco acentuada na humidade relativa, mantendo-se, esta, sempre acima dos 97% . Quanto à temperatura, como seria de esperar, tem mínimos de 25 °C no inverno (dezembro e janeiro), chegando aos 35 °C no mês de agosto. Na figura 76 fica evidente a componente energética referente à piscina que se mantém praticamente constante ao longo do ano, sendo a mais importante no balanço térmico da nave nas condições da simulação.

É importante salientar, mais uma vez, que os valores apresentados são médias mensais, visto que a temperatura e, acima de tudo, a humidade relativa sofrem acentuadas variações ao longo do dia.

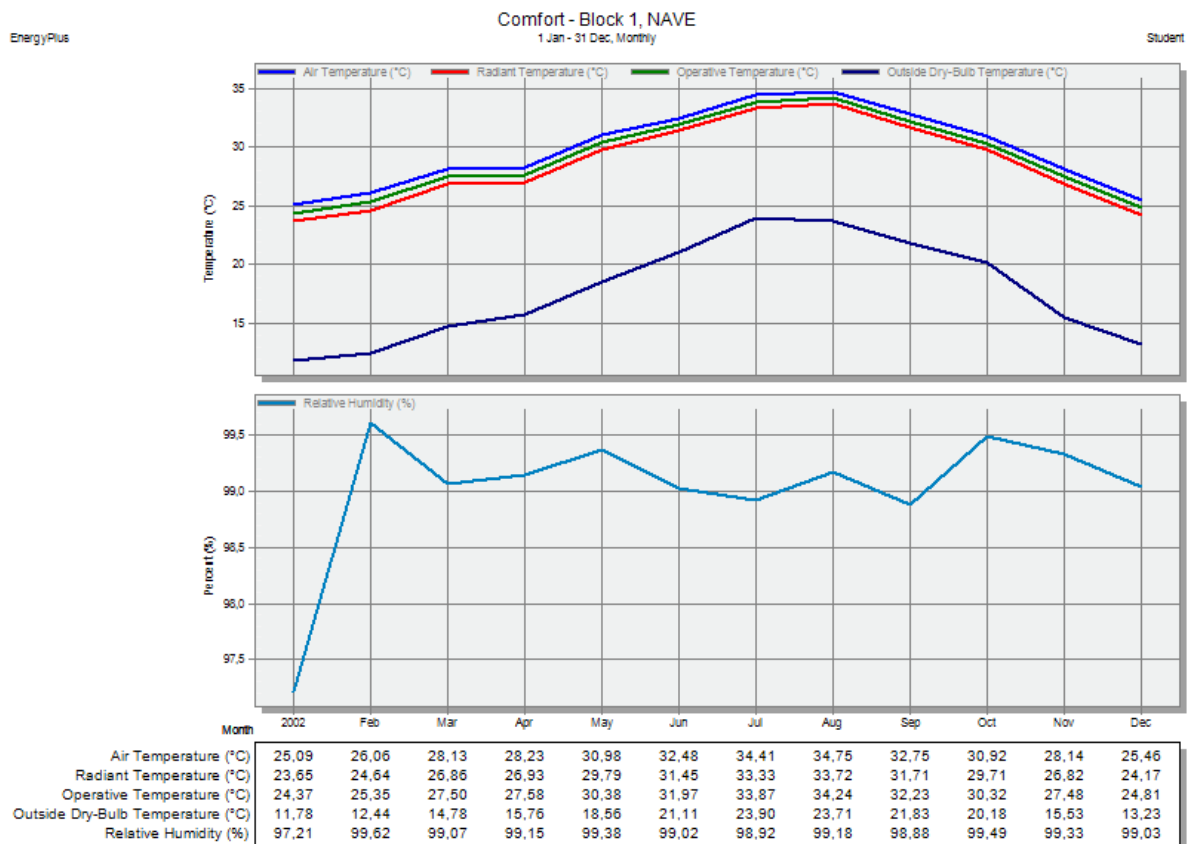


Figura 75 – Condições de conforto da nave do edifício sem climatização.

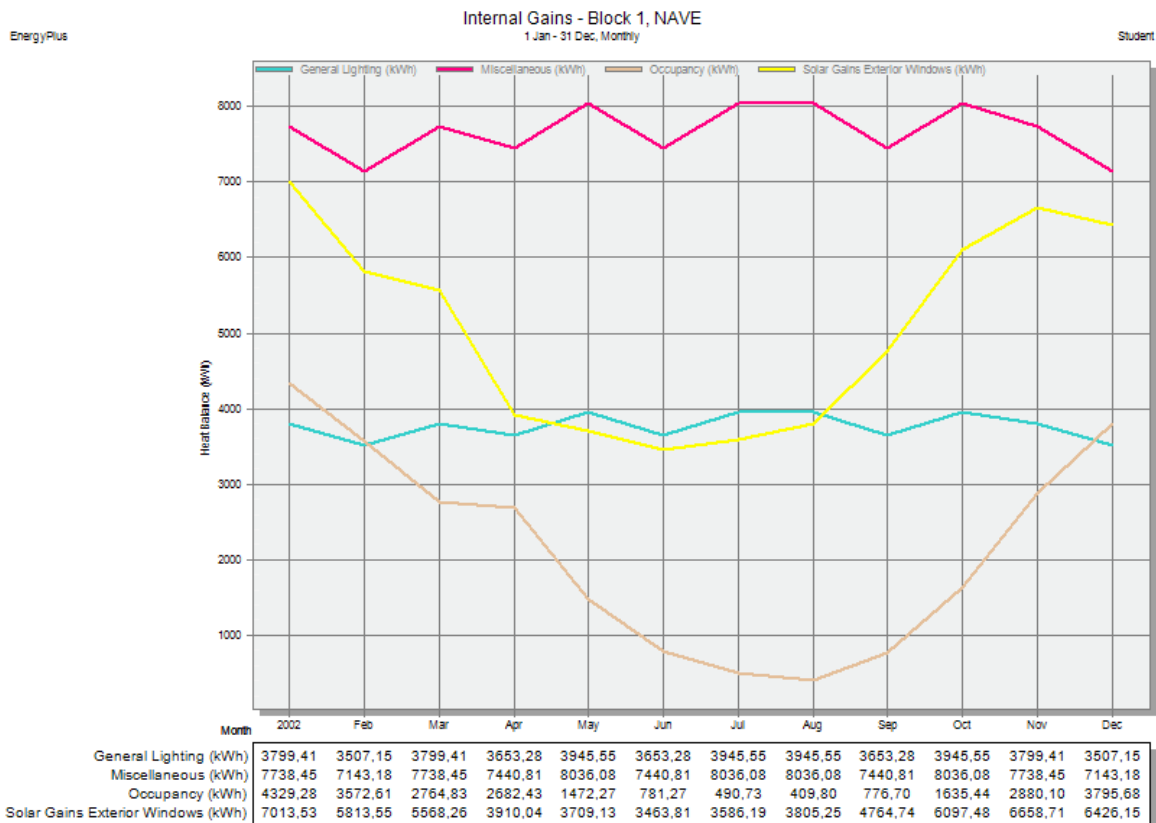


Figura 76 – Evolução mensal do consumo energético da nave do edifício.

Não foi considerada ventilação mecânica nesta simulação.

VI.2.3 – Consumo energético da nave com a climatização ligada⁵

A simulação seguinte dá-nos conta do consumo energético e da evolução das condições de conforto no interior da nave, com o sistema de climatização ligado de acordo perfil de utilização do espaço.

Os ganhos internos devidos à ocupação reduzem-se aproximadamente para metade, quando comparados com a situação descrita em VI.2.1.

Mantêm-se os outros ganhos internos constantes, com exceção dos ganhos sensíveis devido ao sistema de climatização que contribui com 205193 kWh durante todo o ano. O termo "miscellaneous" contabiliza os ganhos térmicos do ar ambiente interior, provenientes da água do tanque.

A taxa de ventilação considerada é de 0,78 rph.

⁵ - Aquecimento do ar ambiente interior e controlo de humidade da nave da piscina. Sem arrefecimento.

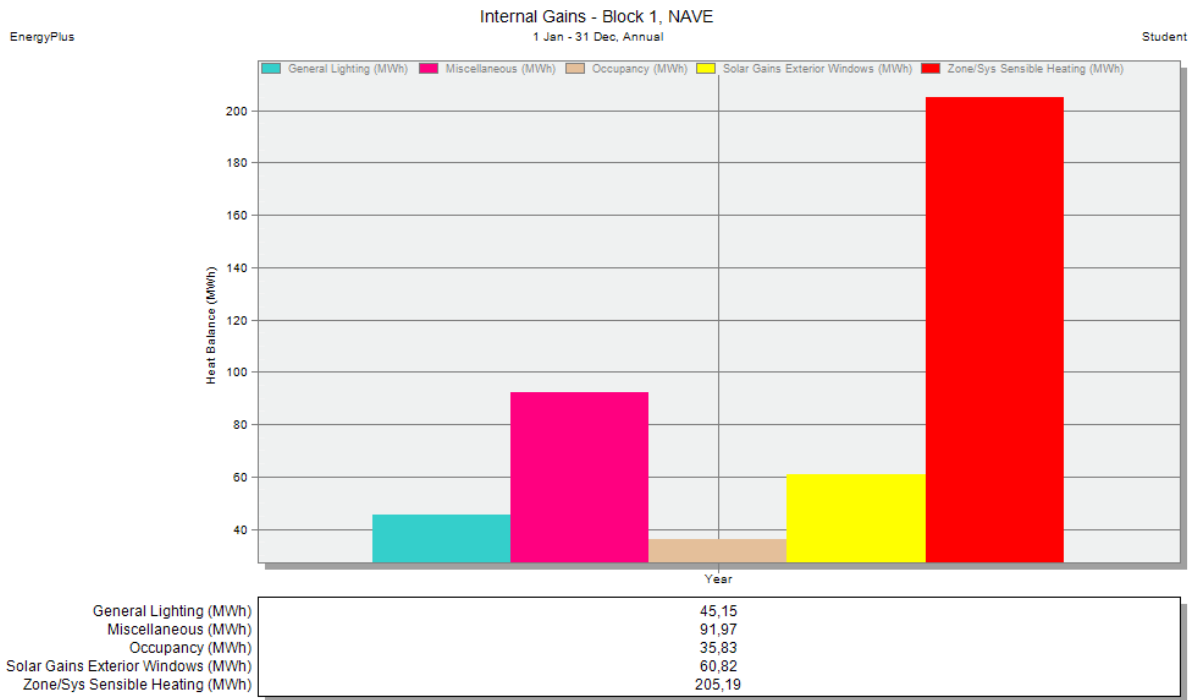


Figura 77 – Consumo energético da nave do edifício com climatização.

No gráfico seguinte apresenta-se a evolução mensal dos ganhos internos da nave. Na estação quente, as necessidades energéticas por parte da climatização são mínimas, aumentando gradualmente quando se avança para a estação fria. No verão, no interior da nave, as temperaturas são sempre próximas das ideais de conforto. Assim, os consumos energéticos tornam-se bastante inferiores, quando comparando com os do inverno.

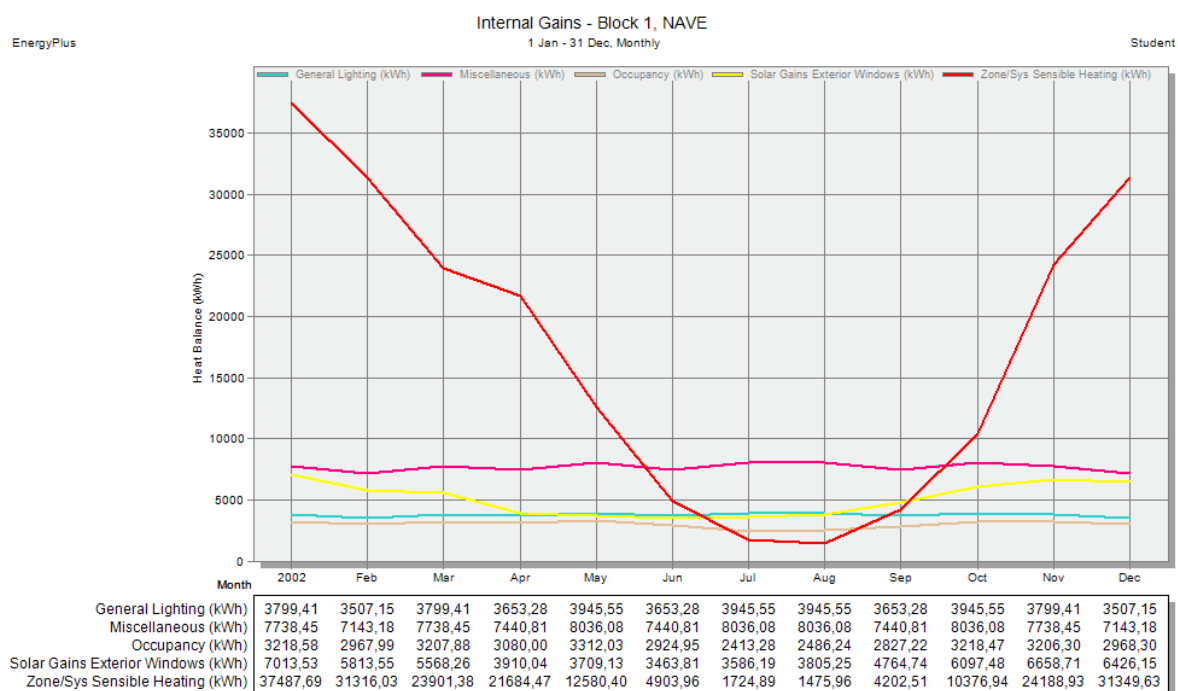


Figura 78 – Evolução mensal do consumo energético da nave do edifício com climatização.

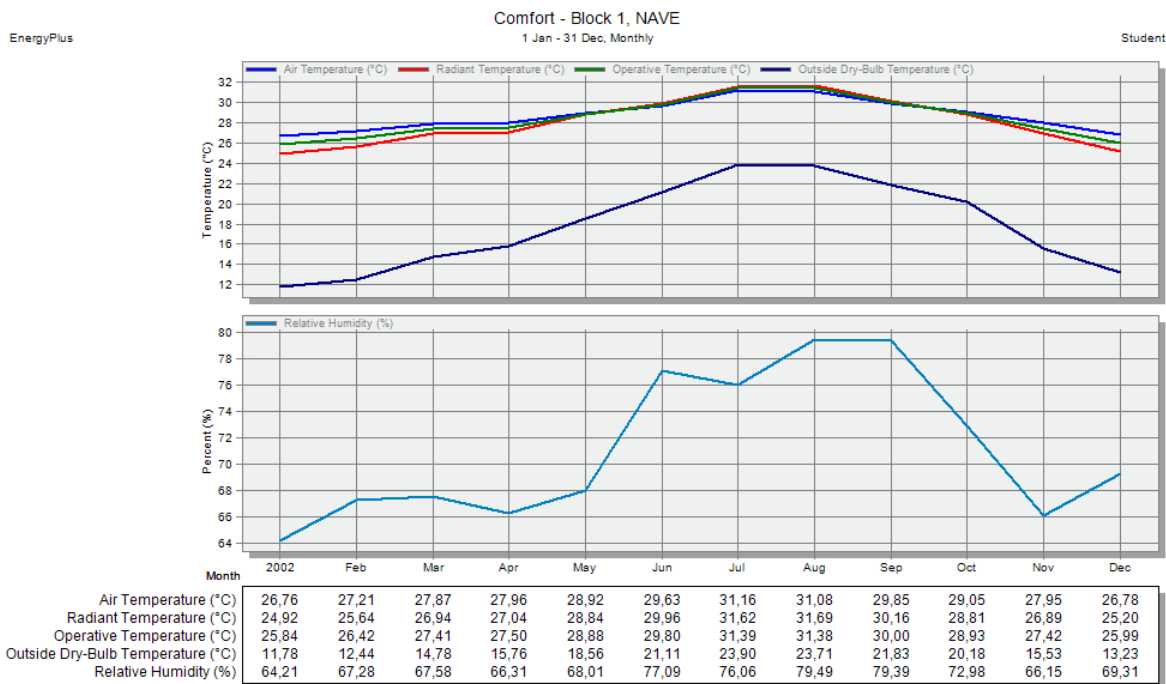


Figura 79 – Condições de conforto da nave do edifício com climatização.

VI.2.4 – Consumo da nave com climatização ligada⁶ variando as áreas transparentes relativamente às opacas

VI.2.4.1 – Implicações das alterações efetuadas no modelo no balanço da nave

Tomando como ponto de partida o modelo tridimensional correspondente ao edifício real da piscina municipal de Silves alteram-se as áreas de envidraçados relativamente à envolvente opaca para assim a partir dos casos apresentados se poder verificar através da simulação dinâmica do edifício as diferenças obtidas em ganhos solares, consumos energéticos e condições de conforto interiores (temperatura do ar ambiente interior e humidade relativa).

De seguida apresentam-se alguns dos casos simulados.

VI.2.4.1.1 – Caso 1

No primeiro caso diminui-se a área de envidraçados na fachada orientada para sudoeste, de 118,8 m² para 50,9 m², mantendo-se constantes as restantes variáveis. A redução de ganhos solares anuais diminui para aproximadamente metade, o que demonstra a importância do bom dimensionamento dos envidraçados e sua aplicação de acordo com as orientações e arquitetura do edifício.

⁶ - Aquecimento do ar ambiente interior e controlo de humidade da nave da piscina. Sem arrefecimento.

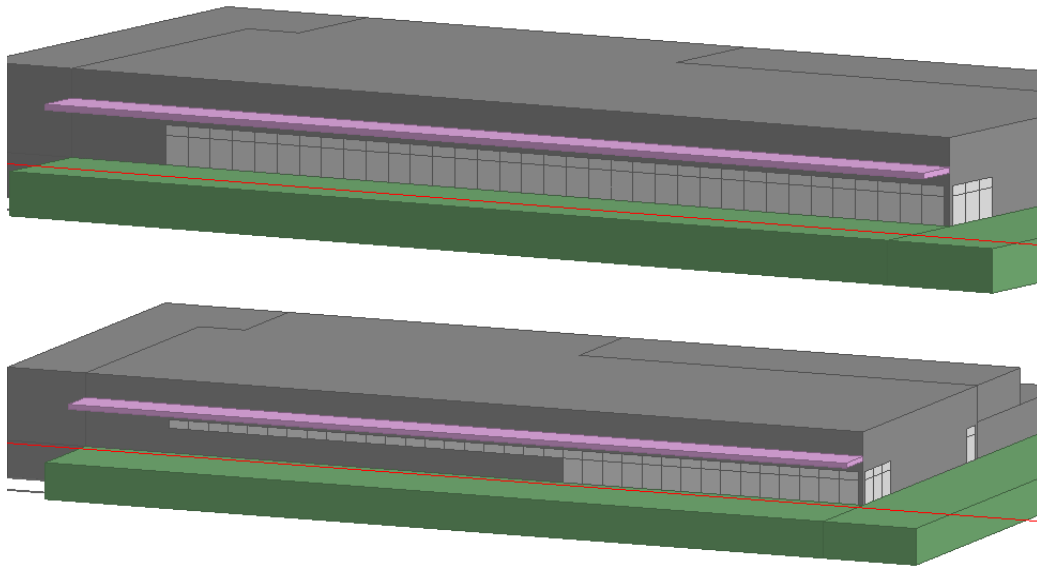


Figura 80 – Alteração da área de envidraçados relativamente à situação real do edifício.

Na tabela seguinte mostra-se o efeito desta alteração nos ganhos solares anuais da nave do edifício.

Tabela 24 – Área transparente e opaca por orientação solar do edifício e respetivo ganho anual solar.

Fachada	Orientação	A par [m ²]	A co [m ²]	A eo [m ²]	A env [m ²]	Q solar [KWh]
A	NE	73,5	1.703,1	2.194,9	11,0	30.487,13
B	SE	113,2			11,5	
C	SO	305,2			50,9	
D	NO	0,0			0,0	
[(A env / A eo)x100 = 3,34 %]						

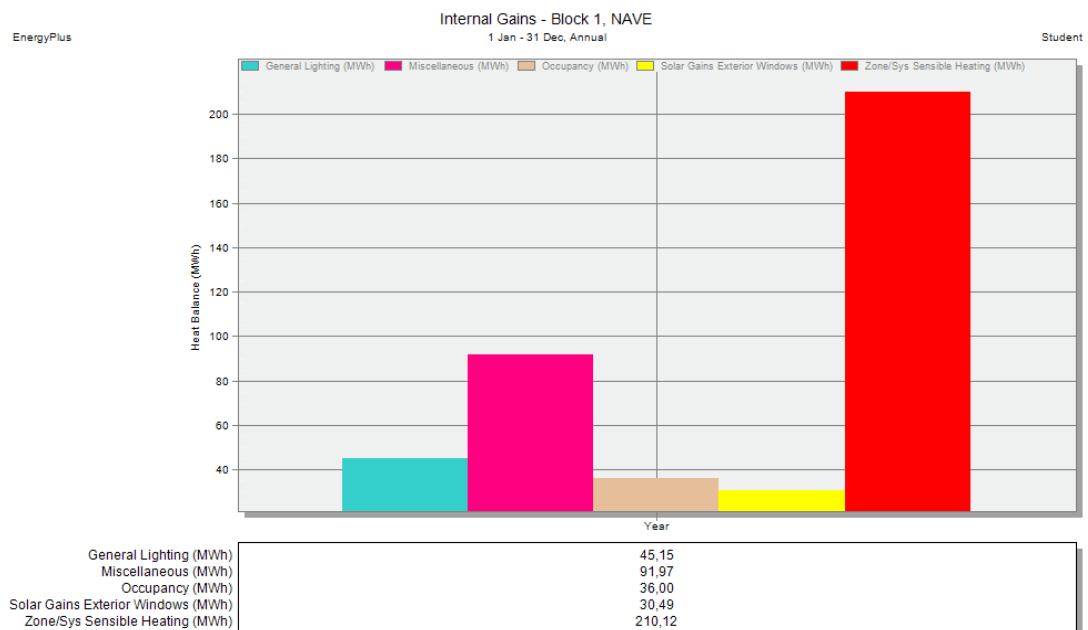


Figura 81 – Consumo energético da nave do edifício com climatização.

Com esta alteração feita na fachada exposta a sudoeste os ganhos solares anuais caem para metade, bastando, para isso, reduzir 67,9 m² de área de envidraçados, isto é, passando de 118,8 m² iniciais para 50,9 m² finais na fachada SO.

Na evolução dos ganhos internos mensais da nave, verifica-se a tendência quase constante dos ganhos relativos à ocupação, iluminação, ganhos solares e os devidos ao funcionamento das piscinas. A evolução dos ganhos referentes à energia fornecida pela climatização mostram de forma clara que, na estação fria, essas necessidades são elevadíssimas, tendendo para mínimas na estação quente.

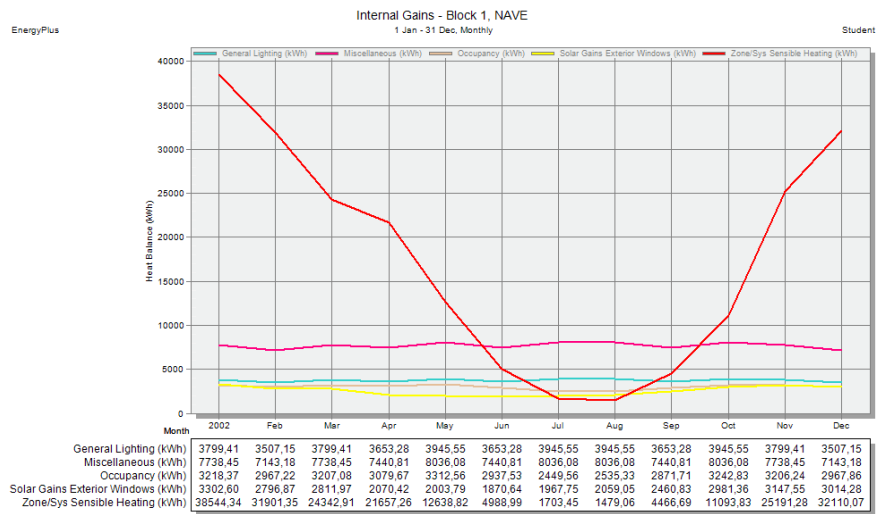


Figura 82 – Evolução mensal do consumo energético da nave do edifício com climatização.

No figura 83 são apresentadas a evolução média mensal das condições de conforto no ambiente interior da nave, verificando-se que a humidade relativa varia entre 65% a 80%, atingindo o seu valor máximo em agosto e mínimo em janeiro.

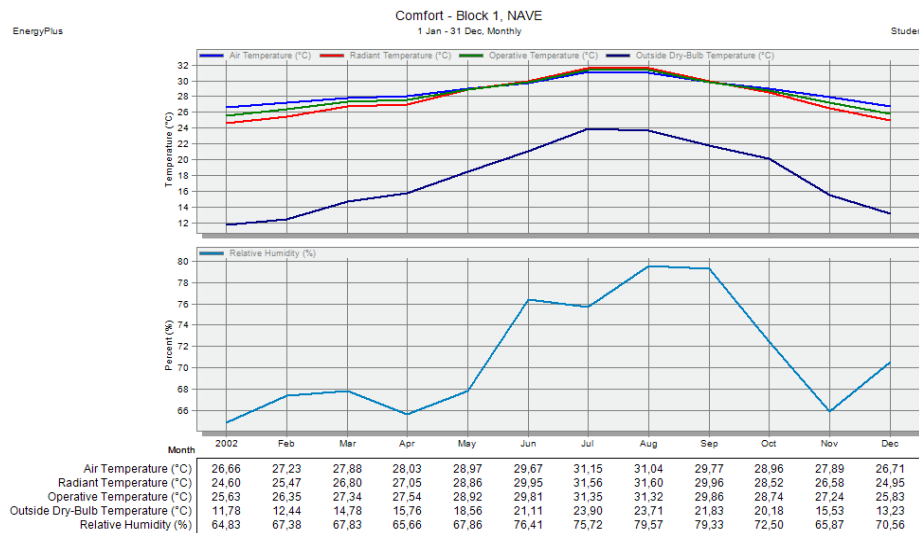


Figura 83 – Condições de conforto da nave do edifício com climatização.

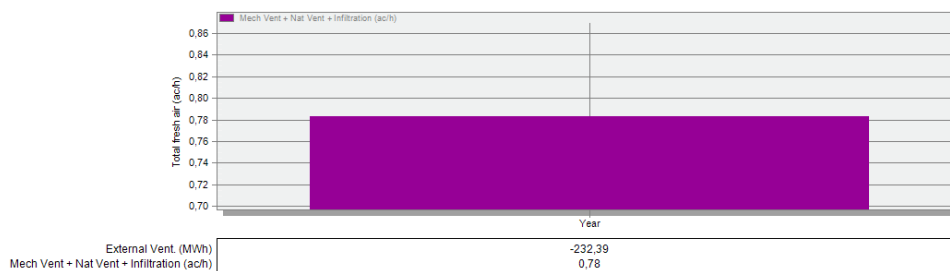


Figura 84 – Ventilação mecânica.

VI.2.4.1.2 – Caso 2

No segundo caso anularam-se totalmente as áreas envidraçadas na fachada de sudoeste. Verifica-se uma redução dos ganhos solares para 7.740 kWh, com um ligeiro aumento da carga sensível fornecida pelo sistema de climatização, passando de 210.118 kWh (caso 1) para 214.220 kWh (caso 2).

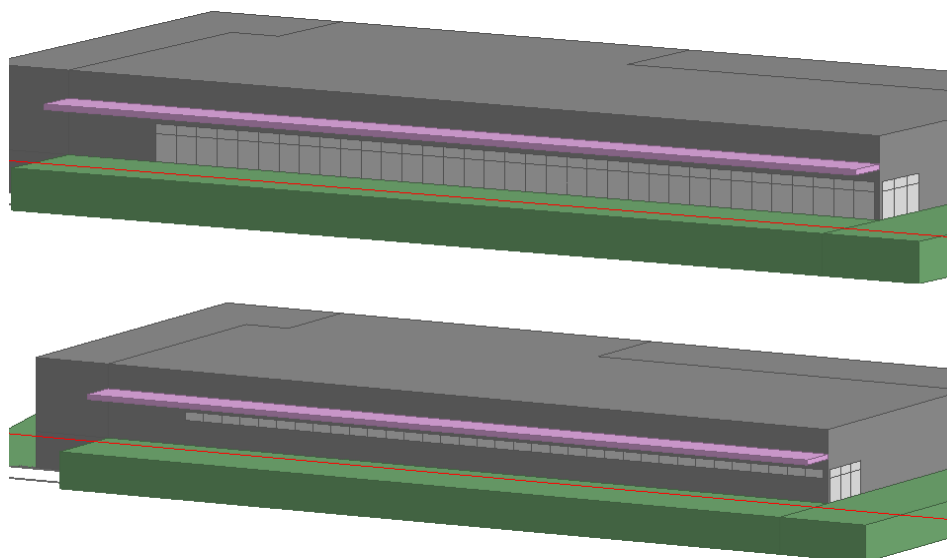


Figura 85 – Alteração da área de envidraçados relativamente à situação real do edifício.

Na tabela 25 apresenta-se a quantificação das alterações feitas na área de vãos envidraçados na fachada exposta a sudoeste. Nesta fachada foram removidos todos os vãos envidraçados, ficando apenas com as grelhas de ventilação aplicadas.

Tabela 25 – Área transparente e opaca por orientação solar do edifício e respetivo ganho anual solar.

Fachada	Orientação	A par [m ²]	A co [m ²]	A eo [m ²]	A env [m ²]	Q solar [KWh]
A	NE	73,5	1.703,1	2.245,8	11,0	7.739,84
B	SE	113,2			11,5	
C	SO	356,1			0,0	
D	NO	0,0			0,0	
[(A env / A eo)x100 = 1 %]						

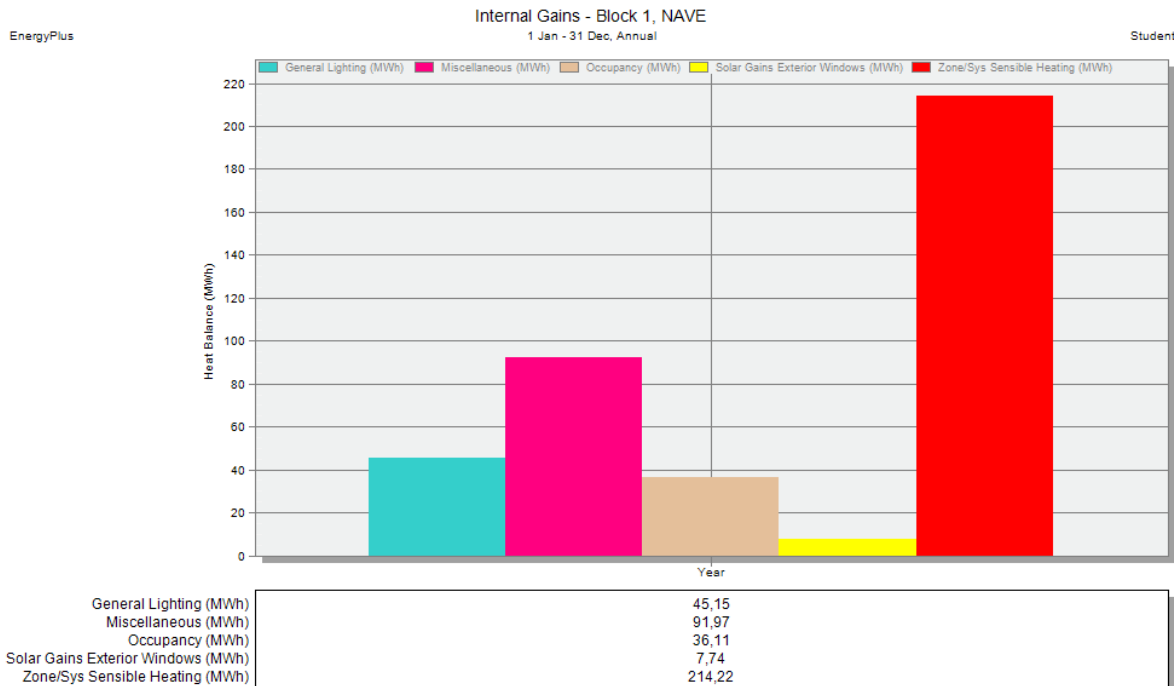


Figura 86 – Consumo energético da nave do edifício com climatização.

Temos então um agravamento energético na nave da piscina ao reduzir totalmente a área transparente na fachada que está virada a sudoeste, sendo esta a responsável pela maior quantidade de iluminação natural e a que maior contributo dá em termos de ganhos úteis de energia solar. Logo, não temos uma situação benéfica relativamente a uma boa gestão energética da unidade.

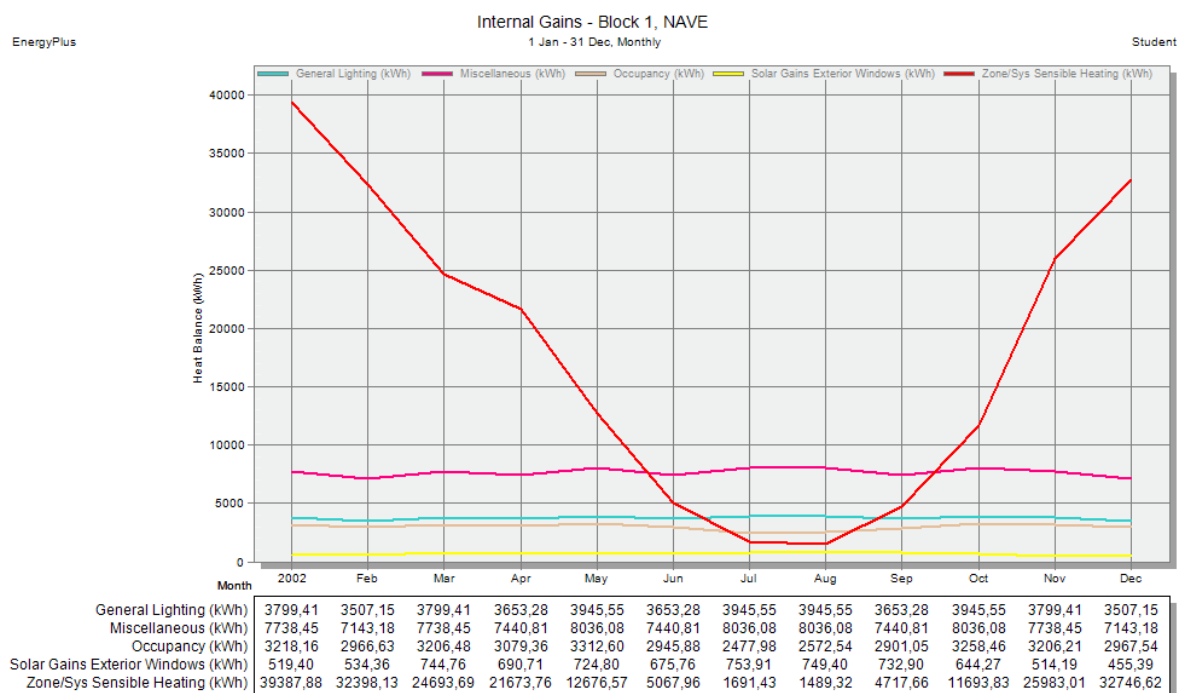


Figura 87 – Evolução mensal do consumo energético da nave do edifício com climatização.

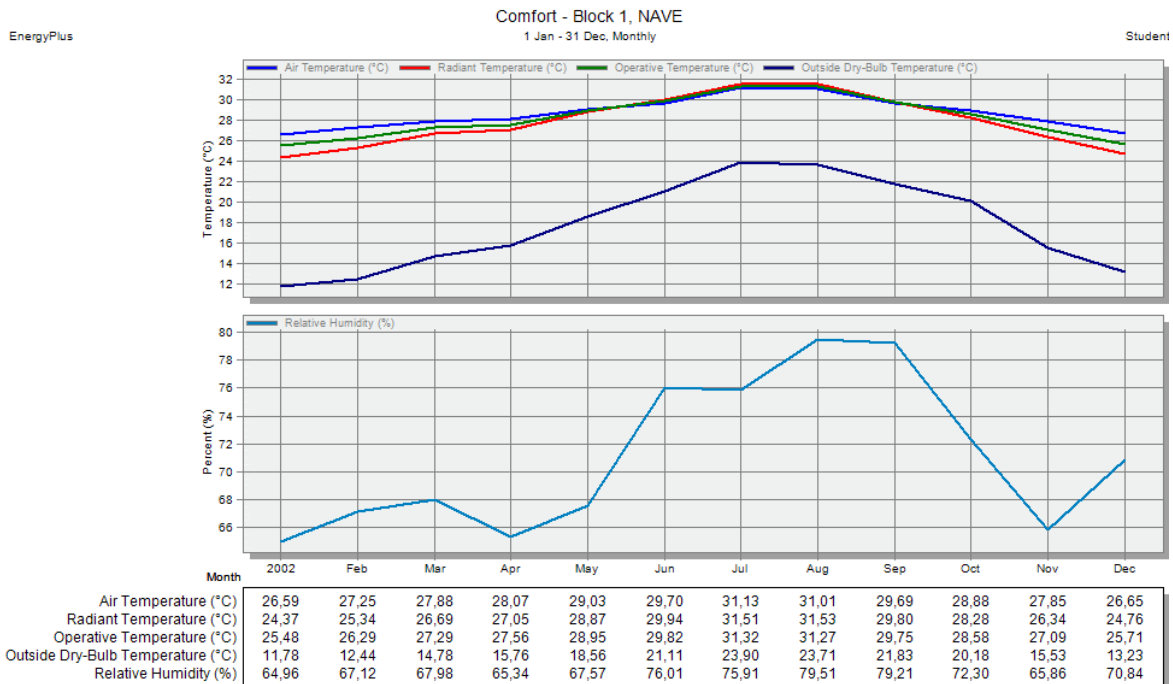


Figura 88 – Condições de conforto da nave do edifício com climatização.

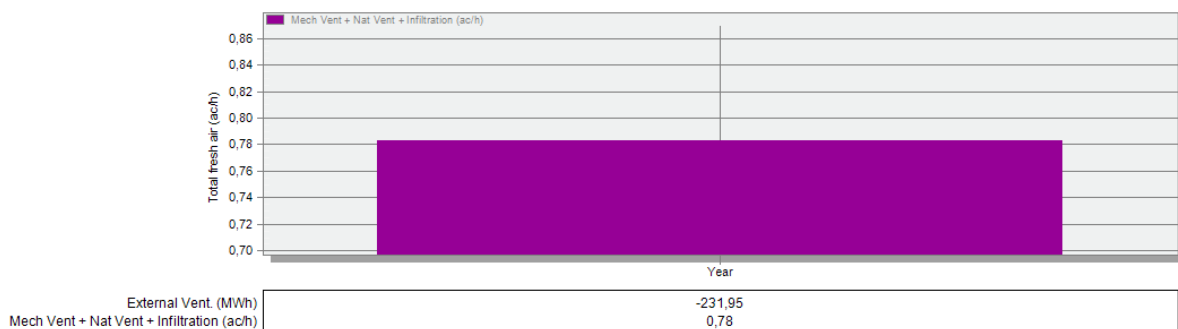


Figura 89 – Ventilação mecânica.

VI.2.4.1.3 – Caso 3

Neste caso apenas se mantêm as 5 portas da fachada nordeste, verificando-se os ganhos solares nulos e as cargas sensíveis devido à climatização máxima, isto é, necessidade de maior consumo energético para climatizar o espaço, principalmente durante os meses mais frios, já que não existem ganhos solares.

A alteração efetuada ao edifício está ilustrada na figura 90, de modo a ser mais fácil observar no modelo, os envidraçados que foram removidos e substituídos por envolvente exterior opaca. Nas fachadas expostas a sudoeste e a sudeste a área transparente é nula para efeitos da simulação, para assim ver as implicações nos ganhos internos e nas condições de conforto na nave da piscina. Esses resultados apresentados nas figuras 91, 92 e 93.

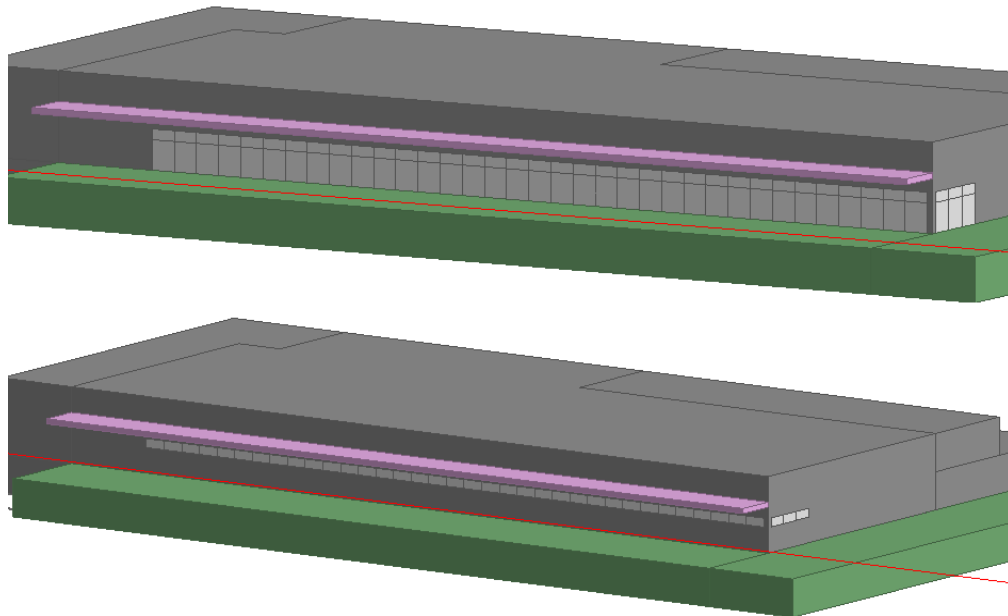


Figura 90 – Alteração da área de envidraçados relativamente à situação real do edifício.

Tabela 26 – Área transparente e opaca por orientação solar do edifício e respetivo ganho anual solar.

Fachada	Orientação	A par [m ²]	A co [m ²]	A eo [m ²]	A env [m ²]	Q solar [KWh]
A	NE	73,5	1.703,1	2.257,3	11,0	0,00
B	SE	124,7			0,0	
C	SO	356,1			0,0	
D	NO	0,0			0,0	
[(A env / A eo)x100 = 0,5 %]						

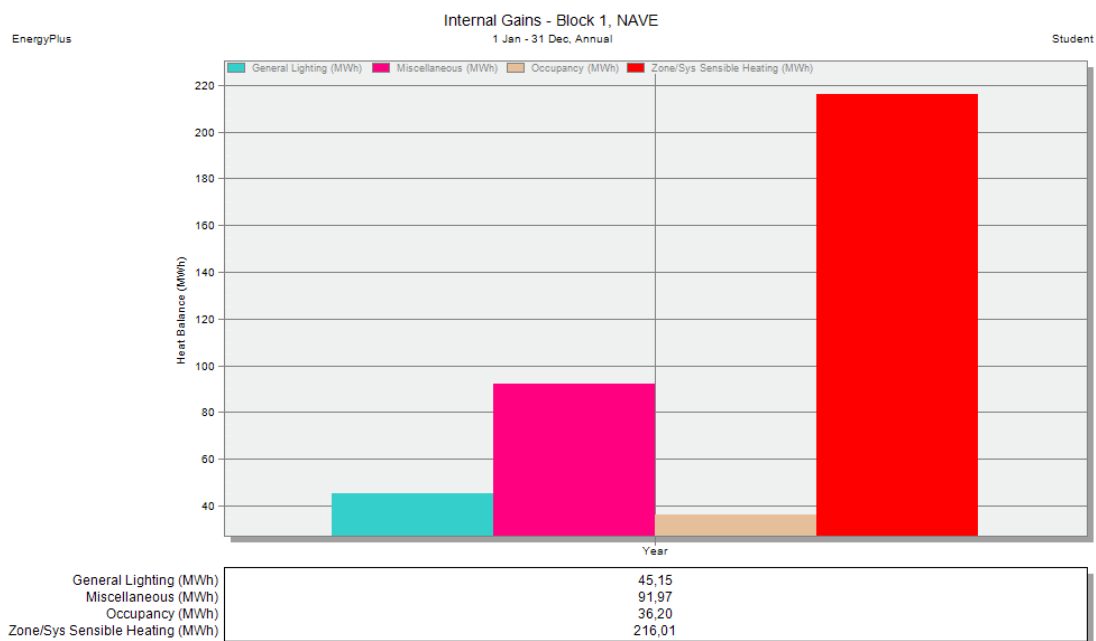


Figura 91 – Consumo energético da nave do edifício com climatização.

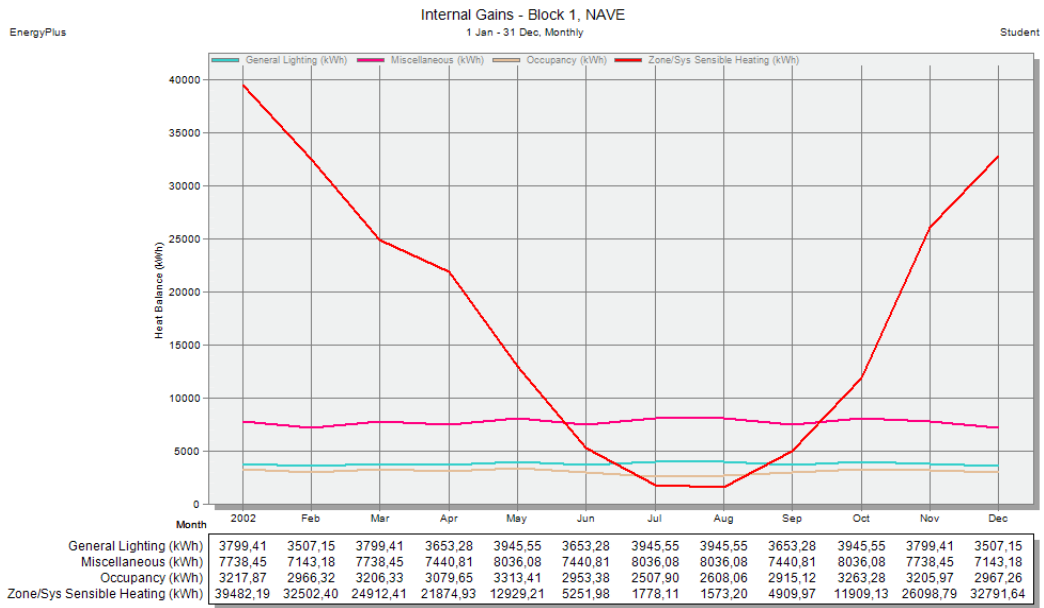


Figura 92 – Evolução mensal do consumo energético da nave do edifício com climatização.

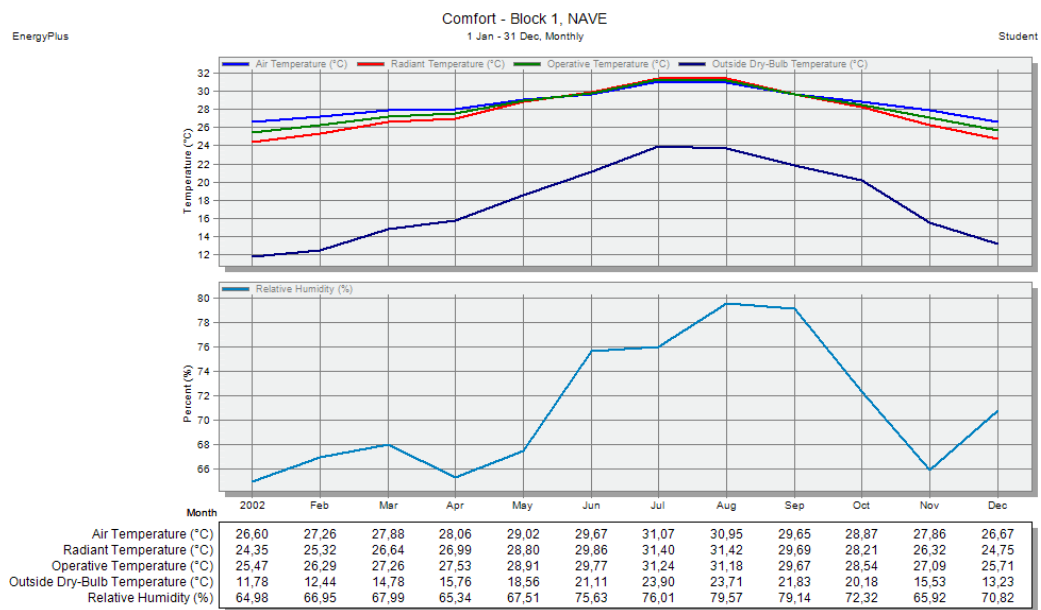


Figura 93 – Condições de conforto da nave do edifício com climatização.

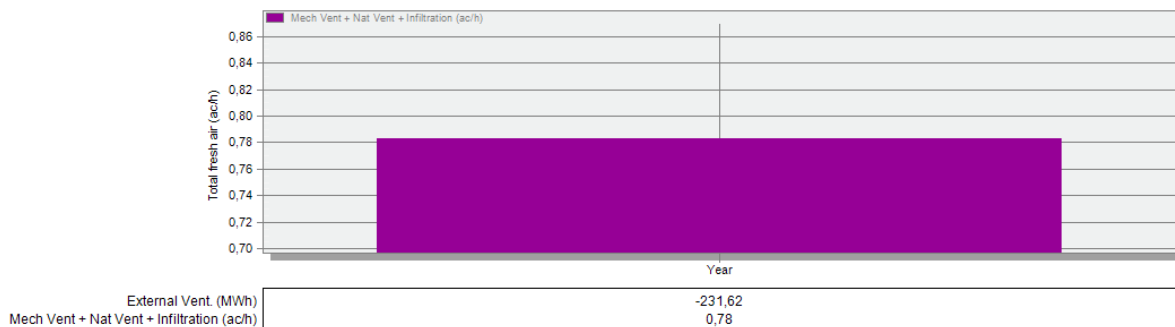


Figura 94 – Ventilação mecânica.

VI.2.4.1.4 – Caso 4

Aumentando a área envidraçada comparativamente ao edifício real, tanto na fachada sudeste e sudoeste, implica um aumento nos ganhos solares de 60,82 MWh pra 174 MWh, isto é para quase três vezes mais. A área envidraçada foi aumentada de 141,3 m² para 332,3 m² no modelo de simulação.

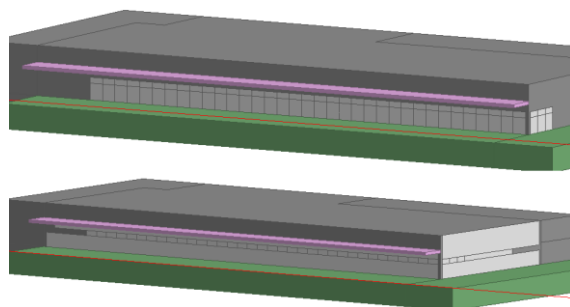


Figura 95 – Alteração da área de envidraçados relativamente à situação real do edifício.

Com esta alteração, como seria de esperar, temos um aumento significativo dos ganhos solares já que se aumentou a área transparente nas fachadas que maior contributo dão à nave das piscinas.

Tabela 27 – Área transparente e opaca por orientação solar do edifício e respetivo ganho anual solar.

Fachada	Orientação	A par [m ²]	A co [m ²]	A eo [m ²]	A env [m ²]	Q solar [KWh]
A	NE	73,5	1.703,1	1.935,9	11,0	168.028,00
B	SE	0,5			124,1	
C	SO	158,9			197,2	
D	NO	0,0			0,0	
$[(A \text{ env} / A \text{ eo}) \times 100 = 17,2 \%$						

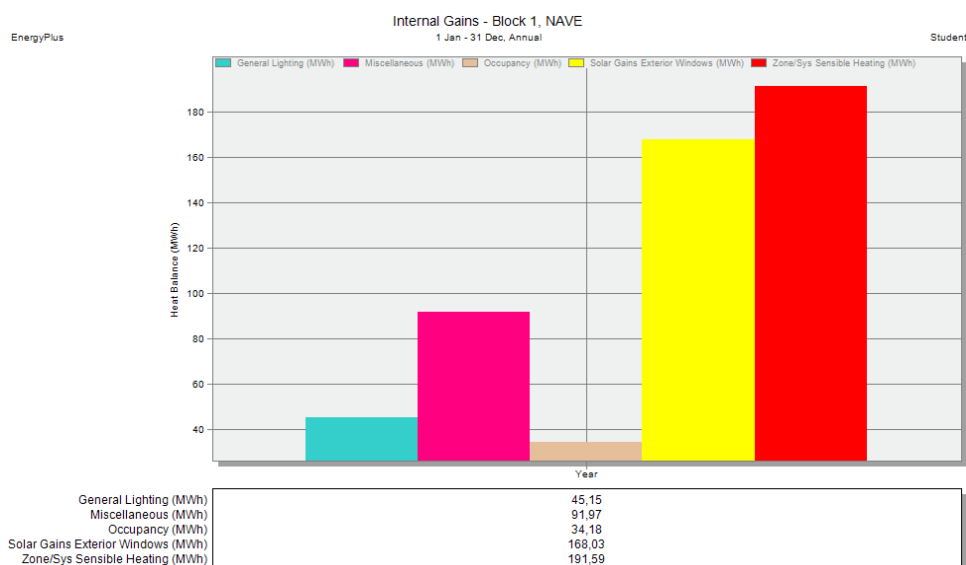


Figura 96 – Consumo energético da nave do edifício com climatização.

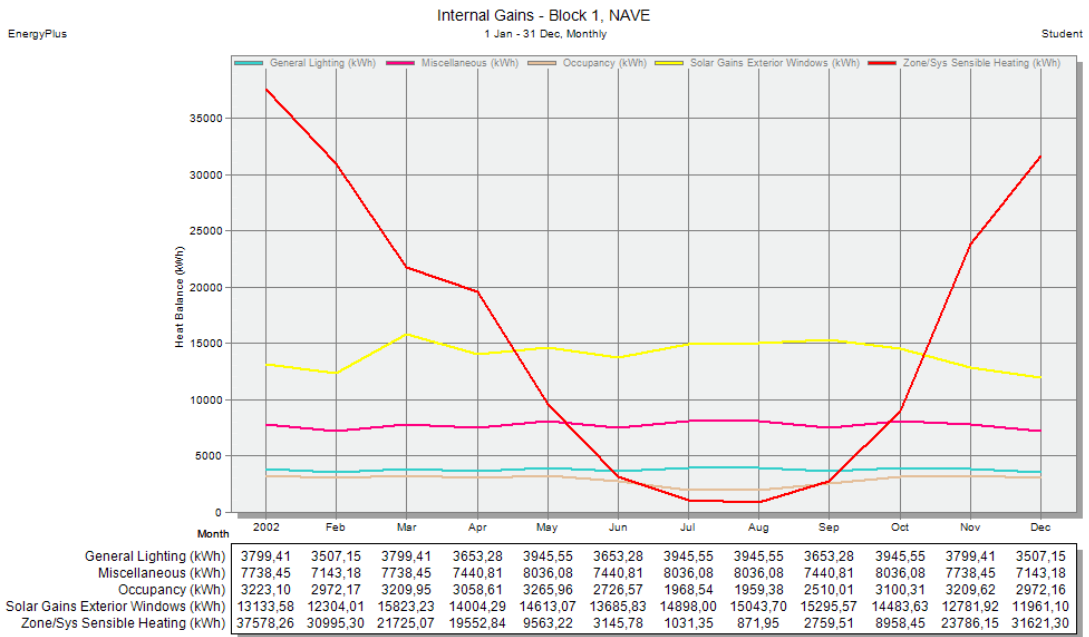


Figura 97 – Evolução mensal do consumo energético da nave do edifício com climatização.

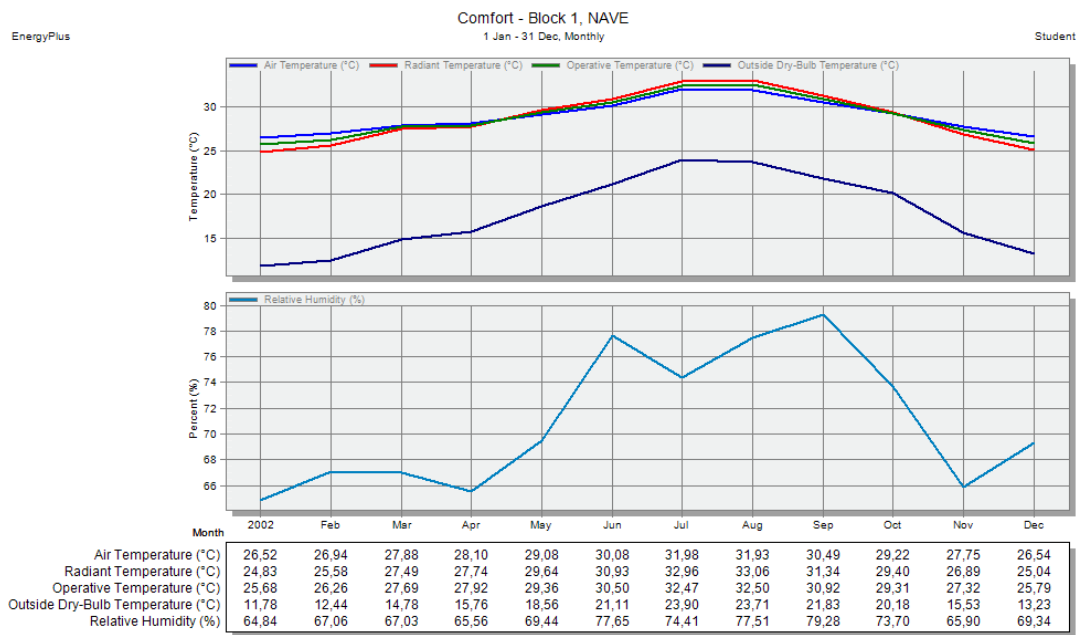


Figura 98 – Condições de conforto da nave do edifício com climatização.

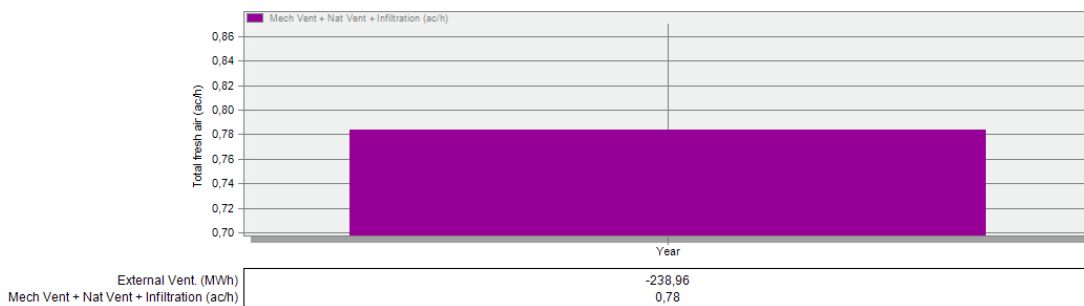


Figura 99 – Ventilação mecânica.

VI.2.4.1.5 – Caso 5

Na sequência do caso anterior, aumenta-se a área envidraçada, sendo a evolução dos ganhos internos apresentados nos gráficos seguintes.

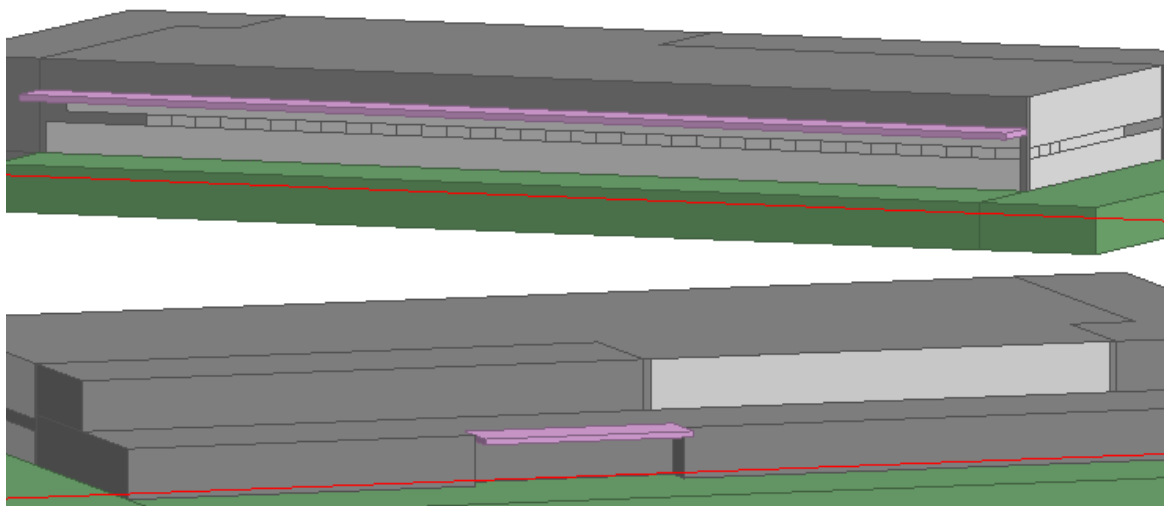


Figura 100 – Alteração da área de envidraçados relativamente à situação real do edifício.

O aumento da área envidraçada que foi feito neste modelo, quando comparado com o modelo do caso 4, foi a alteração da fachada exposta a nordeste, substituindo-se a envolvente exterior opaca por transparente, como se vê na figura acima indicada. Na tabela 28 são quantificados os valores em causa neste modelo de simulação.

Tabela 28 – Área transparente e opaca por orientação solar do edifício e respetivo ganho anual solar.

Fachada	Orientação	A par [m ²]	A co [m ²]	A eo [m ²]	A env [m ²]	Q solar [KWh]
A	NE	0,0	1.703,1	1.862,5	84,5	195.970,00
B	SE	0,5			124,1	
C	SO	158,9			197,2	
D	NO	0,0			0,0	
[(A env / A eo) x 100 = 21,8 %]						

Em seguida faz-se, igualmente conforme os modelos anteriores, a apresentação do impacto das alterações feitas nas condições de conforto interno na nave do edifício, assim como os ganhos internos que lhe estão associados.

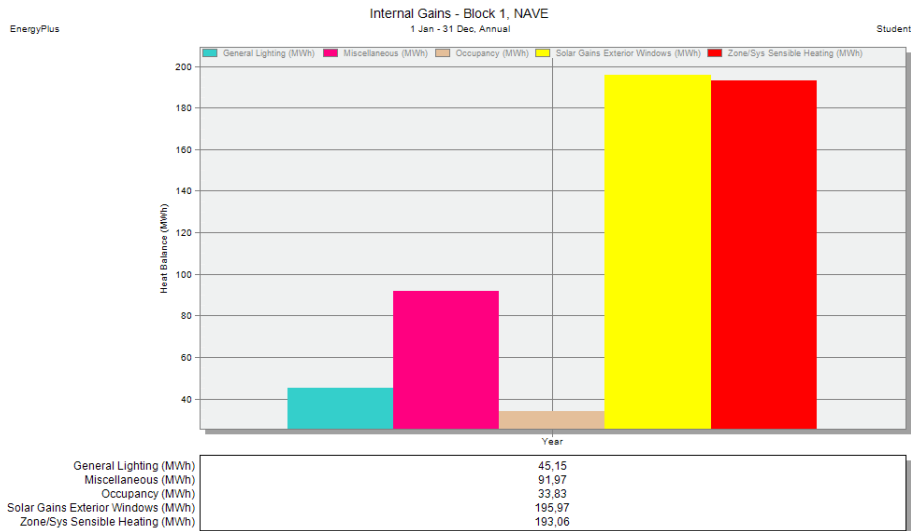


Figura 101 – Consumo energético da nave do edifício com climatização.

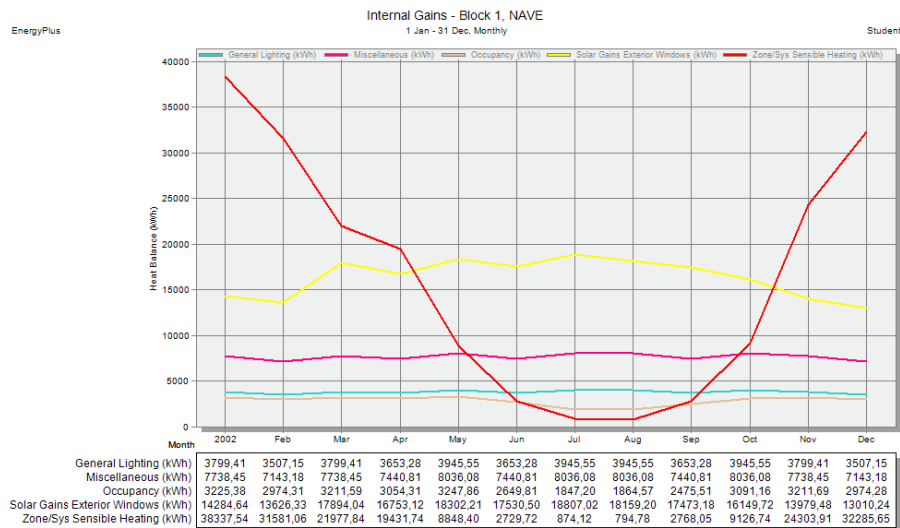


Figura 102 – Evolução mensal do consumo energético da nave do edifício com climatização.

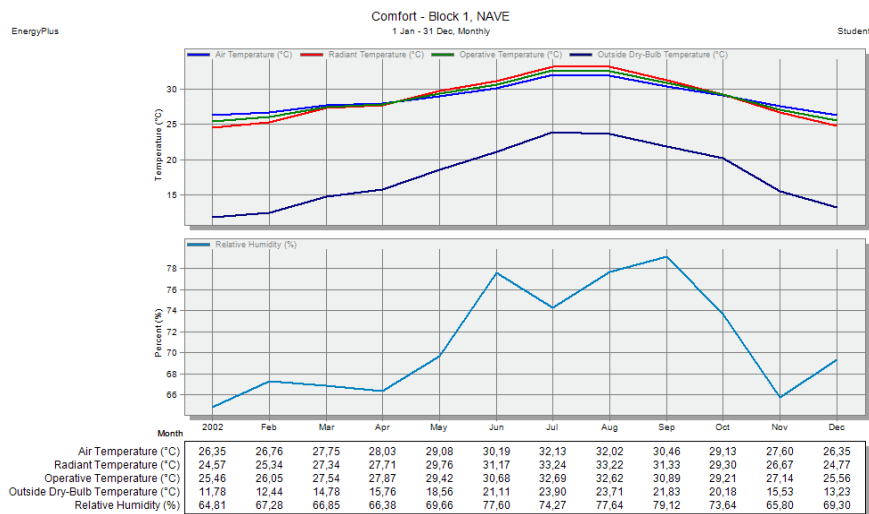


Figura 103 – Condições de conforto da nave do edifício com climatização.

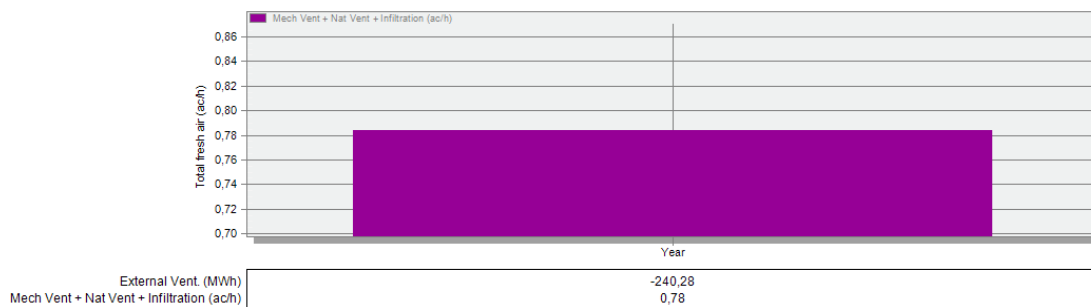


Figura 104 – Ventilação mecânica.

VI.2.4.1.6 – Caso 6

Apresenta-se aqui um modelo com uma claraboia em substituição da cobertura existente da nave, que é, no edifício real, um painel sandwich. Neste exemplo, considera-se uma estrutura de alumínio com painéis de vidro, com aproximadamente $4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ de coeficiente global de transferência de calor. Maximizaram-se as áreas dos vãos envidraçados na envolvente exterior, obtendo-se um ganho solar próximo dos 1,8 GWh, energia equivalente à do consumo anual de todo o edifício.

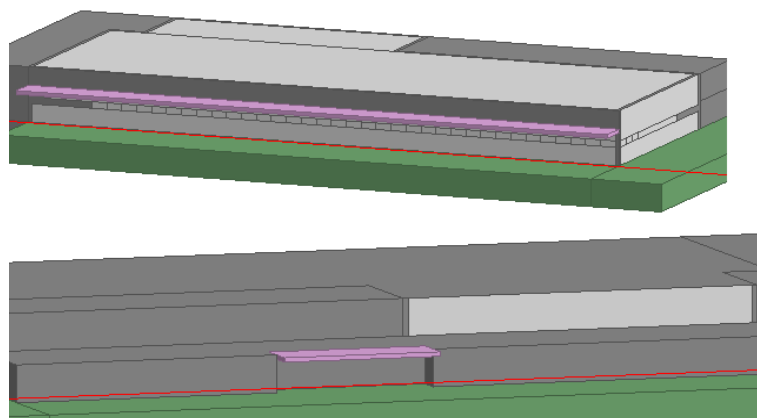


Figura 105 – Alteração da área de envidraçados relativamente à situação real do edifício, note-se a cobertura totalmente transparente.

Apresenta-se, na tabela seguinte, a quantificação dos valores alterados assim como o valor total anual dos ganhos solares.

Tabela 29 – Área transparente e opaca por orientação solar do edifício e respetivo ganho anual solar.

Fachada	Orientação	A par [m ²]	A co transparente [m ²]	A eo [m ²]	A env [m ²]	Q solar [KWh]
A	NE	0,0	1.703,1	159,4	84,5	1.797.316,00
B	SE	0,5			124,1	
C	SO	158,9			197,2	
D	NO	0,0			0,0	
[(A env / A eo)x100 = 1348 %]						

Verifica-se, sem margem para dúvidas, o disparo dos ganhos energéticos solares comparativamente a todos os outros, tornando-se estes quase desprezáveis no balanço energético anual da nave. Os ganhos solares correspondem, neste modelo, a aproximadamente 87 % da totalidade dos ganhos internos da nave do edifício, deste modo o peso bruto deste ganho nas condições de conforto para os utentes do espaço.

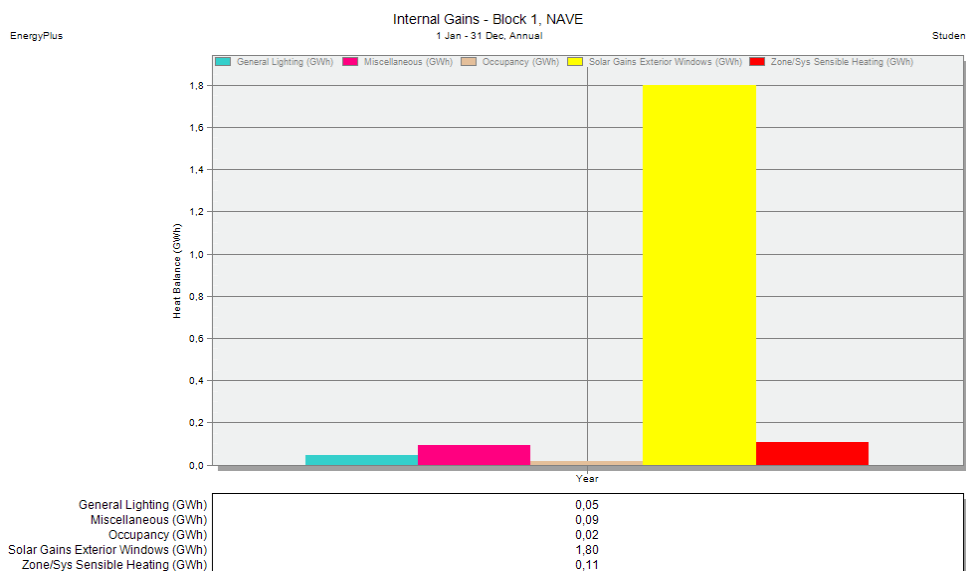


Figura 106 – Consumo energético da nave do edifício com climatização, maximizando a área transparente.

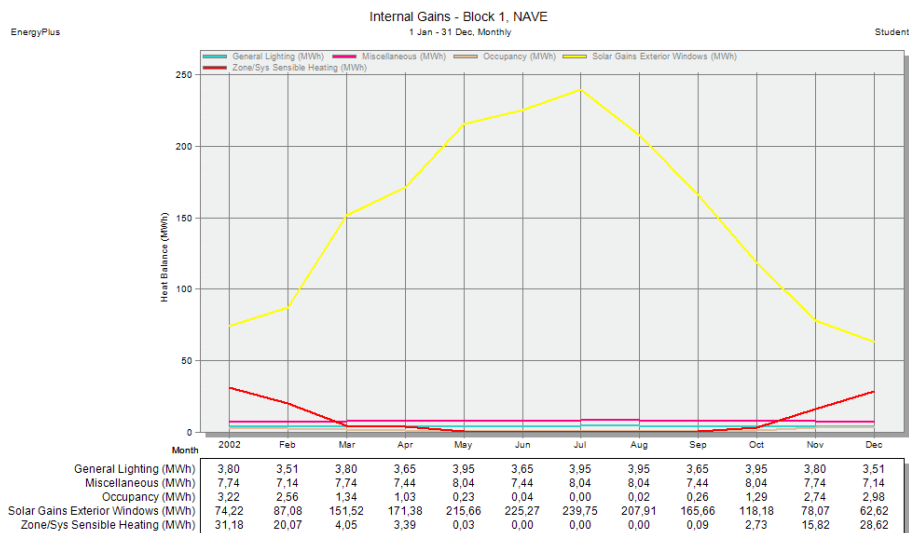


Figura 107 – Evolução mensal do consumo energético da nave do edifício com climatização.

Por observação direta da figura 107, verifica-se que as necessidades de aquecimento para a nave não existem entre os meses de Maio e Setembro, inclusive, o que quer dizer que não é necessário recorrer à climatização deste espaço em termos de aquecimento durante estes 5 meses. Isto não quer necessariamente dizer que o espaço fique em condições ideais de conforto durante este período, o que de fato não acontece como se observa na figura 108.

No gráfico seguinte observamos que as temperaturas médias mensais ultrapassam o máximo aceitável em termos de conforto humano, variando entre 26 °C e 55 °C⁷. Entre abril e outubro o aquecimento na nave atinge valores extremamente elevados, e só em janeiro, fevereiro, novembro e dezembro é que descem para valores próximos dos aceitáveis. No que toca à humidade relativa do ar interior, o valor médio mensal varia entre 34% no mês de julho e 67% em dezembro. Ao analisar um dia típico de inverno, por exemplo o dia 03 de janeiro, vemos que os valores da temperatura interior estão compreendidos entre os 17 °C (07:00) e os 30 °C (15:00). No mesmo dia a humidade relativa varia entre os 42% (08:00 - 21:00) e os 100% (01:00 - 07:00). Analogamente, para um dia típico de verão, por exemplo o dia 16 de julho, a temperatura do interior da nave varia entre 17 °C (07:00) e 30°C (08:00 - 21:00); já a humidade relativa varia entre os 40% (08:00 - 21:00) e os 100% (01:00 - 07:00).

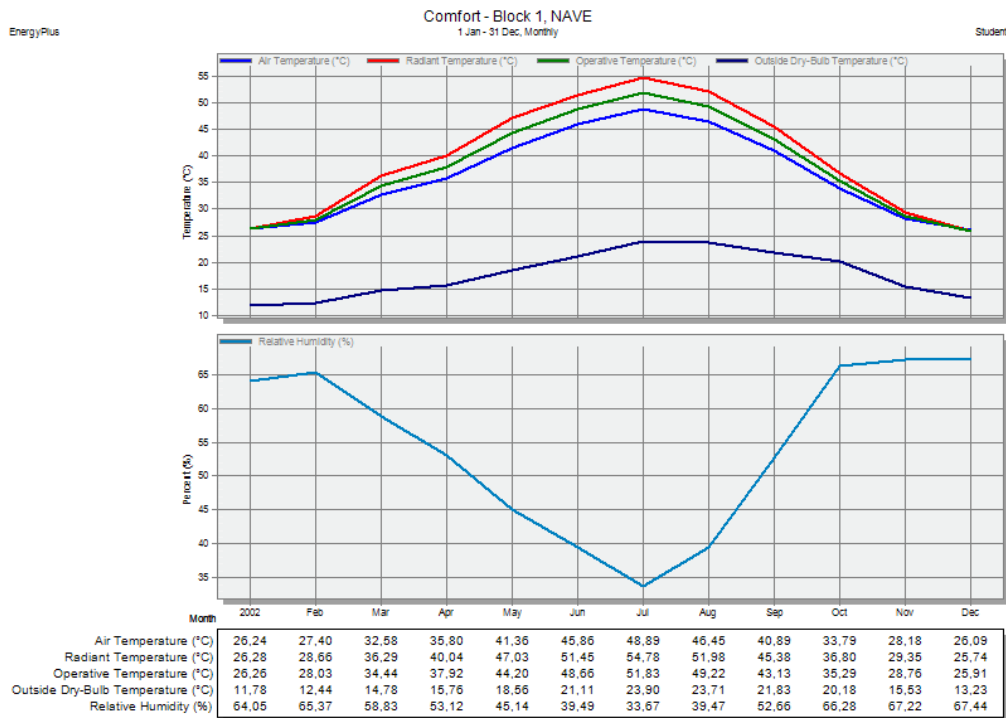


Figura 108 – Condições de conforto da nave do edifício com climatização.

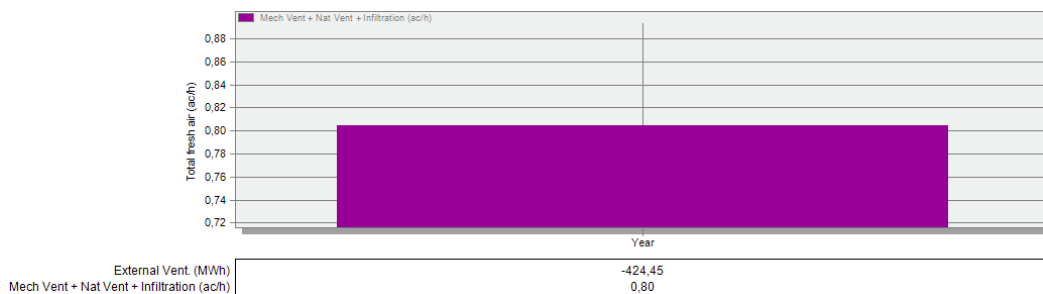


Figura 109 – Ventilação mecânica.

⁷ - Sistema de climatização com controlo de humidade e aquecimento do ar ambiente interior da nave. Não foi considerado arrefecimento. Similar ao sistema real instalado no edifício para climatizar a nave.

VI.3 – Análise dos resultados

Após várias simulações, variando a área da envolvente transparente, obtiveram-se resultados para cada uma dessas alterações efetuadas ao modelo de simulação do edifício. Depois do tratamento dos resultados, mostra-se de forma gráfica a evolução do consumo do sistema de climatização da nave⁸ com o aumento da área de envolvente transparente.

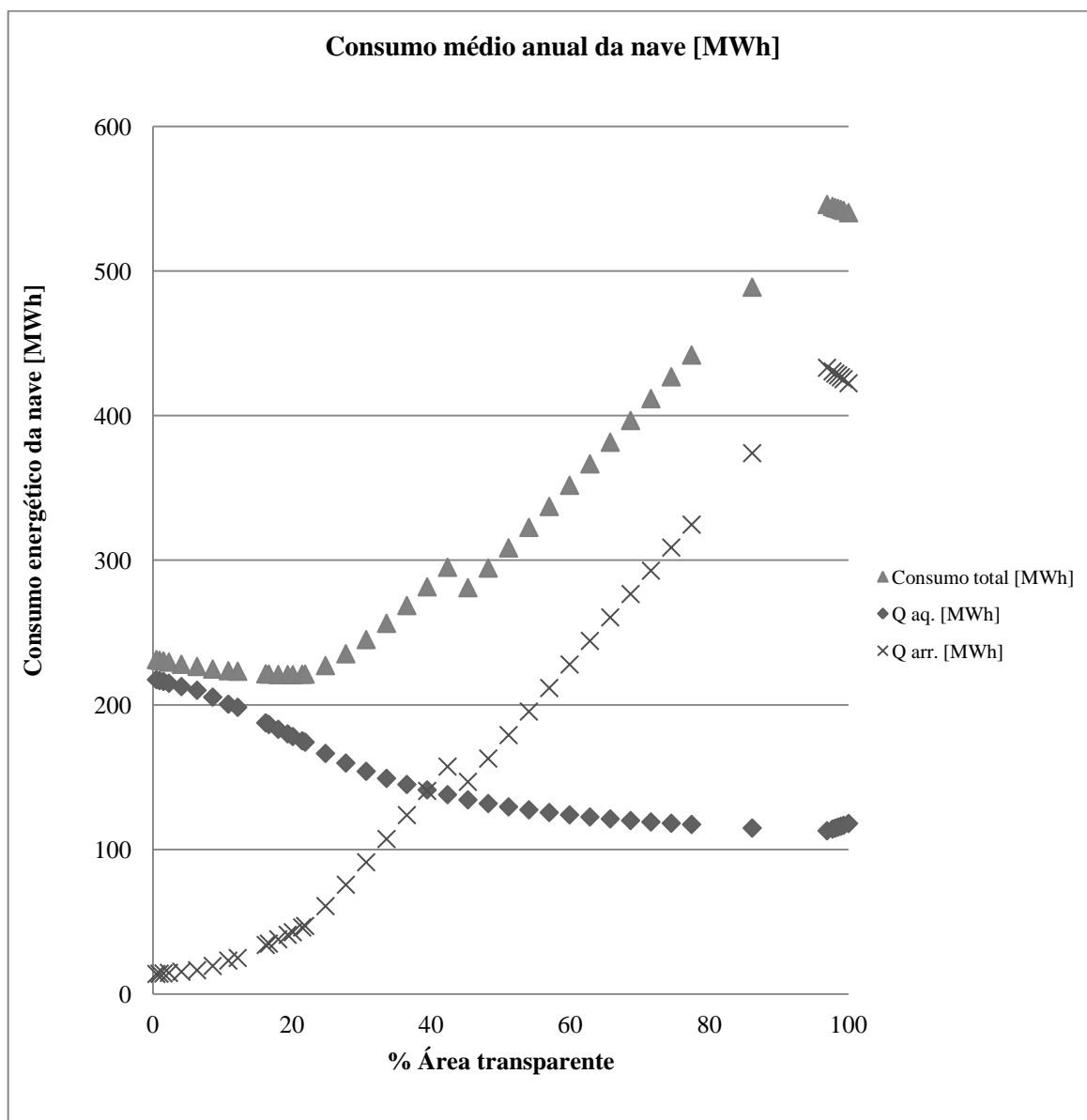


Figura 110 –Variação das necessidades energéticas anuais de climatização com a área envidraçada.

Observa-se claramente a tendência para a diminuição das necessidades de aquecimento da nave à medida que a área transparente aumenta. Como seria de esperar, com o aumento da área transparente, os ganhos solares também aumentam, logo a diminuição das necessidades de

⁸ - O consumo energético para aquecimento, arrefecimento e desumidificação do ar ambiente interior da nave da piscina.

aquecimento da nave. As necessidades energéticas para arrefecimento aumentam com a área de envidraçados como demonstra a figura 110.

O gráfico da figura 110 mostra que até 20% de área envidraçada há uma descida no consumo total de energia e uma redução das necessidades de aquecimento. Neste período, se não houver arrefecimento, as temperaturas máximas da nave ultrapassam os 30°C, nomeadamente nos meses de Maio, Junho, Julho, Agosto e Setembro. Nestes meses para garantir as condições de conforto dos utilizadores é necessário ter arrefecimento na nave da piscina.

Temos então uma tendência inversa relativamente às necessidades de aquecimento e arrefecimento, à medida que aumenta a área dos envidraçados, enquanto as primeiras diminuem as segundas aumentam. Verifica-se que para uma área de envidraçados próxima dos 40% da área total da envolvente exterior⁹, as necessidades de arrefecimento sobrepõem-se às de aquecimento o que demonstra que os ganhos de calor são mais influentes no balanço energético da nave a partir desse valor. Na figura seguinte representa-se o modelo correspondente à área de envidraçados de 40%.

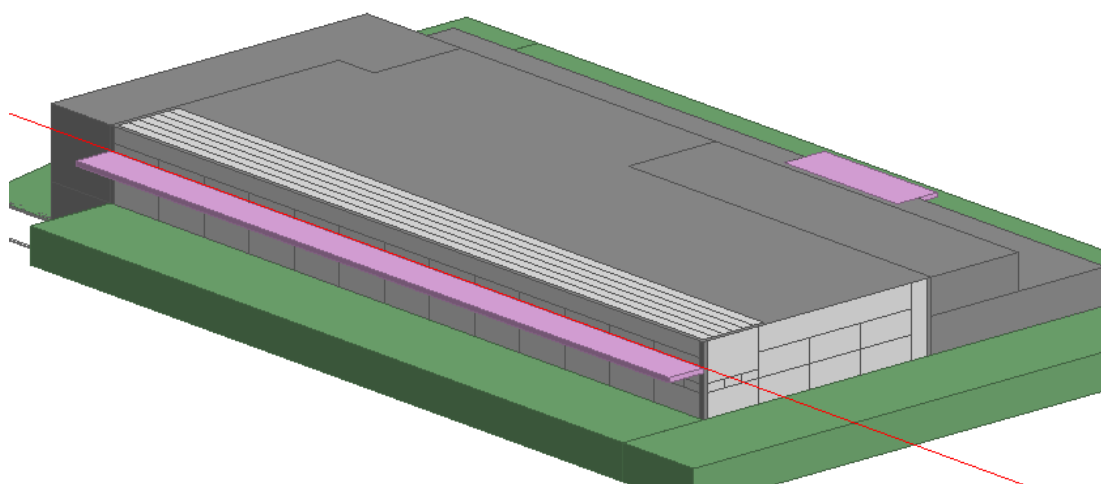


Figura 111 – Modelo tridimensional da nave da piscina, com 40% de área envidraçada relativamente à envolvente exterior opaca.

Os envidraçados contribuem com ganhos de calor durante grande parte do período diurno, mas também têm elevadas perdas de calor, nomeadamente durante a noite. Ao considerar-se um vidro com gás inerte e com uma película baixo emissiva de elevado rendimento (*tipo planitherm da saint-gobain glass*), pode-se chegar até valores de 1,1 W/m².°C, para o coeficiente global de transmissão de calor, enquanto que um pano duplo de tijolo com isolamento no interior e uma caixa de ar, o coeficiente global de transferência de calor será sempre superior a 0,9 W/m².°C. O objetivo é pois encontrar uma relação ideal entre as áreas transparentes e opacas, que promova o menor consumo energético na climatização.

⁹ - 2268 m².

Por observação direta da figura 110 verifica-se uma inflexão nos consumos totais da nave quando se tem 20% da área de envidraçados relativamente à área da envolvente exterior (correspondendo a quando temos: $\text{Área Transparente}/\text{Área Opaca} = 0,25$). Nestas condições, o valor mínimo do consumo anual da nave é de aproximadamente 220 MWh.

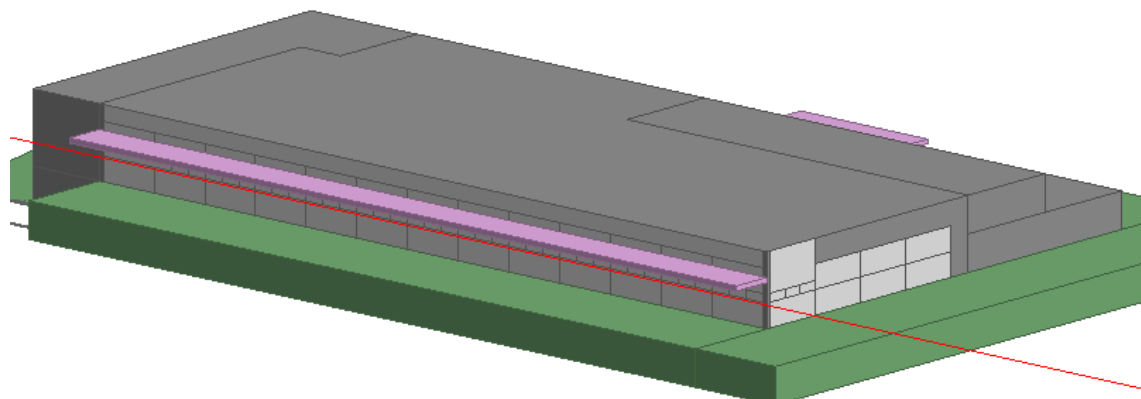


Figura 112 – Modelo tridimensional da nave da piscina, com 20% de área envidraçada relativamente à envolvente exterior opaca.

No eixo horizontal da figura 113, está representada a razão entre a área transparente da nave e da área opaca, obtendo-se deste modo, a evolução da necessidade de aquecimento da nave à medida que se varia esta razão. Observa-se também a evolução dos ganhos solares. Verifica-se, portanto, que à medida que a área transparente aumenta relativamente à área opaca os ganhos solares crescem, tendendo para um valor constante. Este valor, no caso do modelo em estudo, é de 1,8 GWh por ano. Por outro lado as necessidades energéticas para vencer as cargas sensíveis de aquecimento da nave tendem a diminuir até um valor mínimo constante, esse valor mínimo constante fixa-se em 110 MWh por ano.

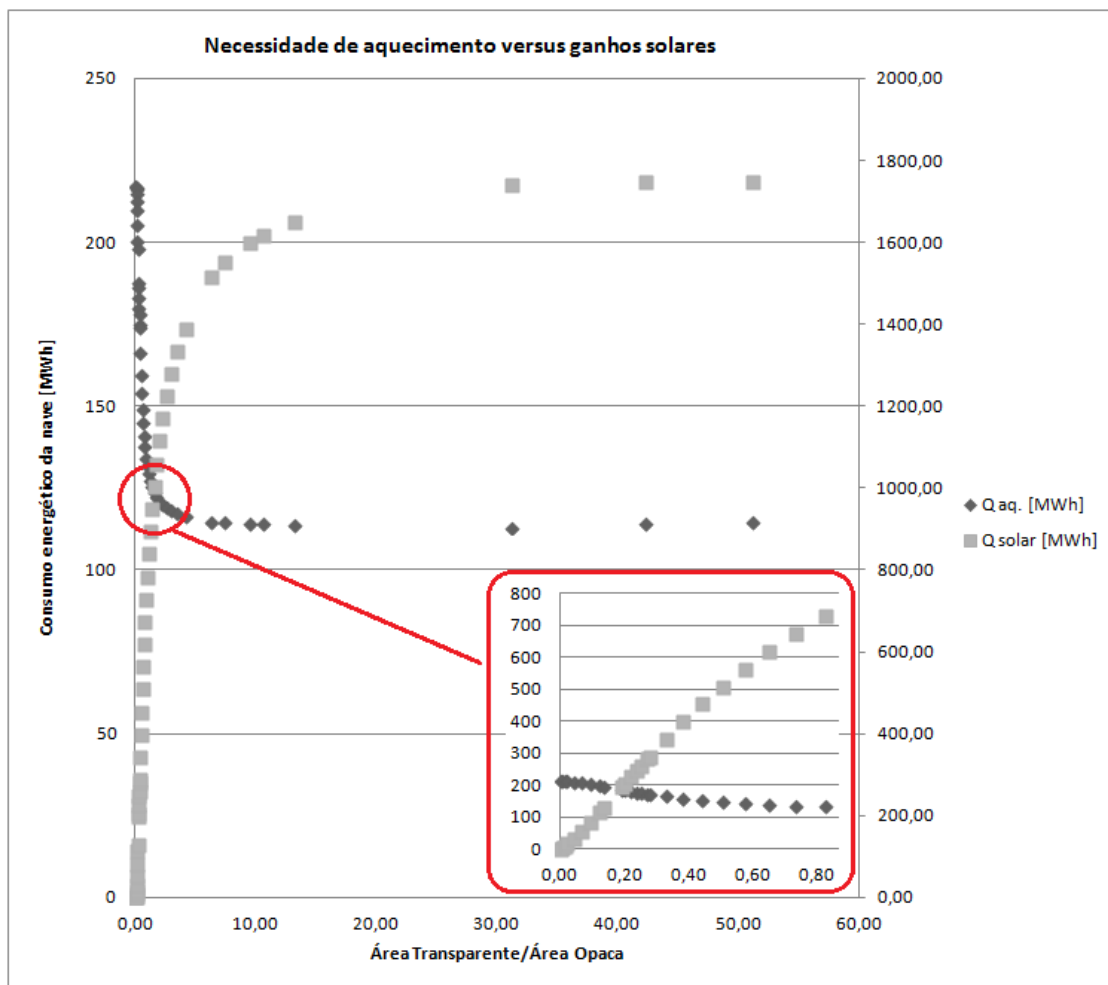


Figura 113 – Variação das necessidade de aquecimento e dos ganhos solares, com a razão entre as áreas transparentes e opacas da nave do edifício.

A interseção da linha evolutiva dos ganhos solares com a as necessidades de aquecimento, dá-se quando a percentagem de área transparente atinge o valor de 16% relativamente à envolvente exterior (correspondendo a quando temos: $\text{Área Transparente}/\text{Área Opaca} = 0,19$).

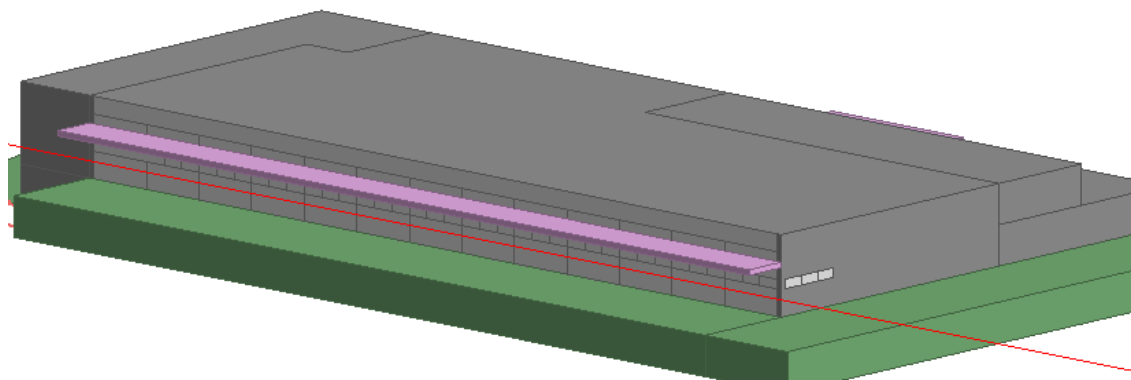


Figura 114 – Modelo tridimensional da nave da piscina, com 16% de área envidraçada relativamente à envolvente exterior opaca.

A partir de 16% de área envidraçada as necessidades de aquecimento começam a ter menor preponderância no balanço energético da nave. Aumentando a área transparente, os ganhos solares aumentam, e as necessidades tendem para uma valor mínimo constante.

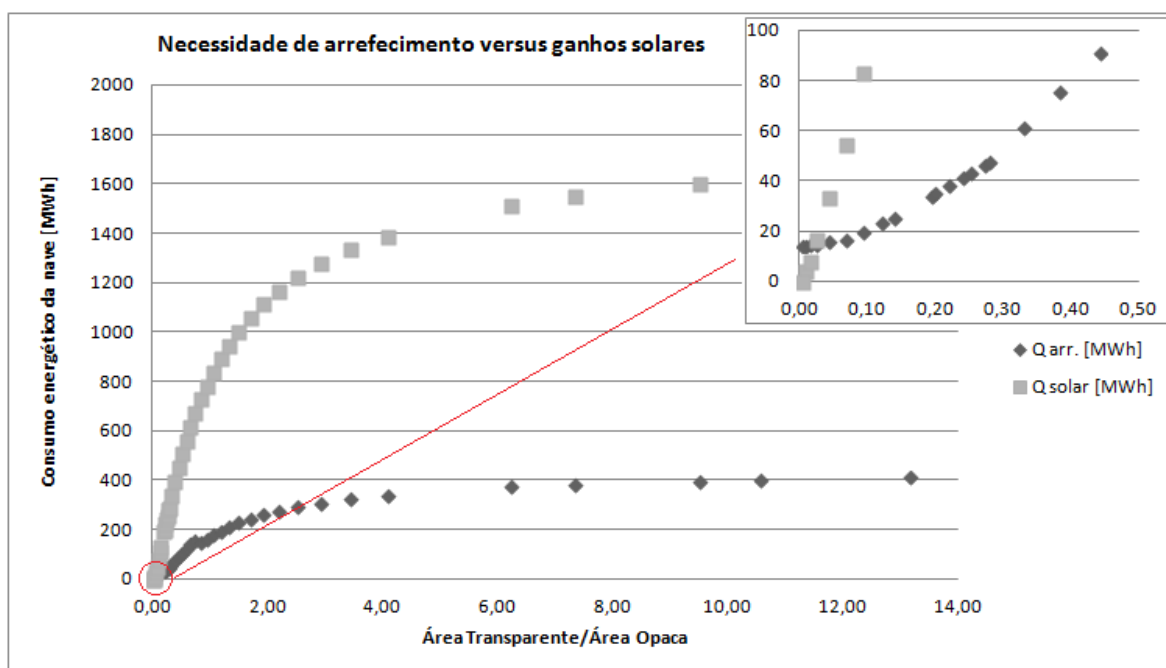


Figura 115 – Variação das necessidade de arrefecimento e dos ganhos solares, com a razão entre as áreas transparentes e opacas da nave do edifício.

A evolução das necessidades de arrefecimento aumentam com a área de envidraçados, assim como os ganhos solares. Entre 0% e os 2% de área de envidraçada as necessidades de arrefecimento são superiores aos ganhos solares, a partir daí as necessidades de arrefecimento aumentam, mas são sempre inferiores aos ganhos solares. Obviamente sem área transparente, não haveria forma de ter ganhos solares. A partir dos 2% de área de envidraçados, os ganhos solares ultrapassam as necessidades energéticas para o arrefecimento do ar ambiente interior da nave.

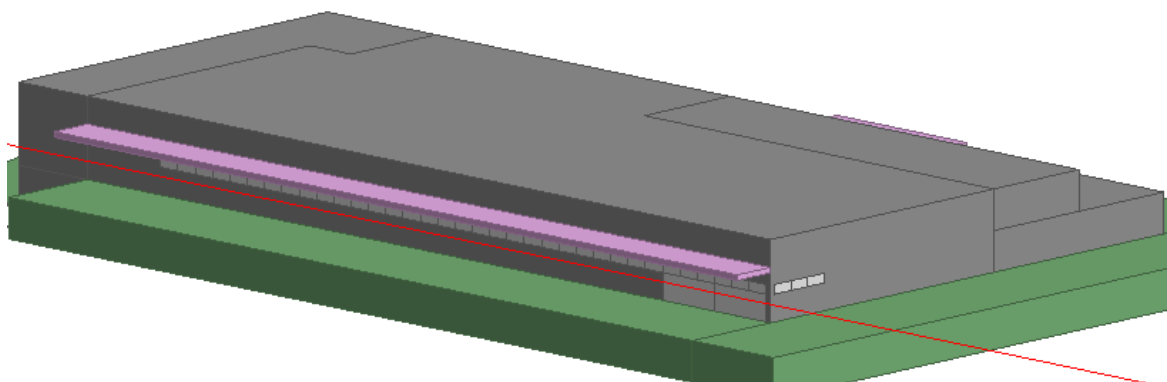


Figura 116 – Modelo tridimensional da nave da piscina, com 2% de área envidraçada relativamente à envolvente exterior opaca.

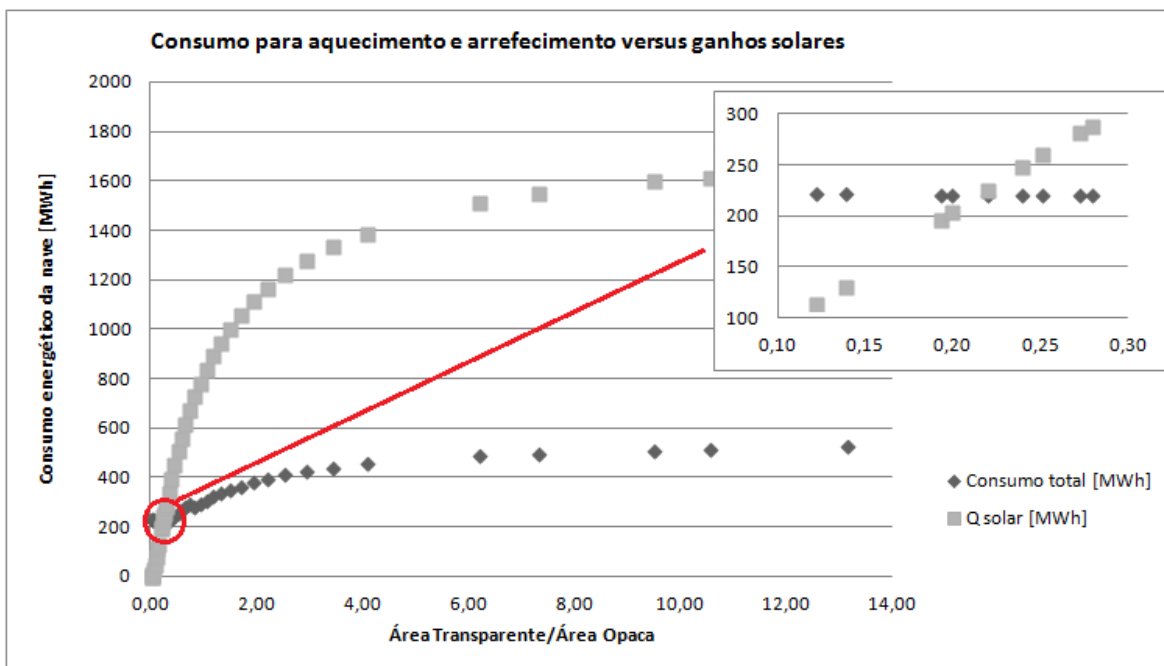


Figura 117 – Variação das necessidades de aquecimento/arrefecimento e dos ganhos solares, com a razão entre as áreas transparentes e opacas da nave do edifício.

O consumo energético total aumenta com a área envidraçada. Os ganhos solares começam a ter maior peso no balanço energético da nave a partir dos 18% da área envidraçada (correspondendo a quando temos: $\text{Área Transparente}/\text{Área Opaca} = 0,22$).

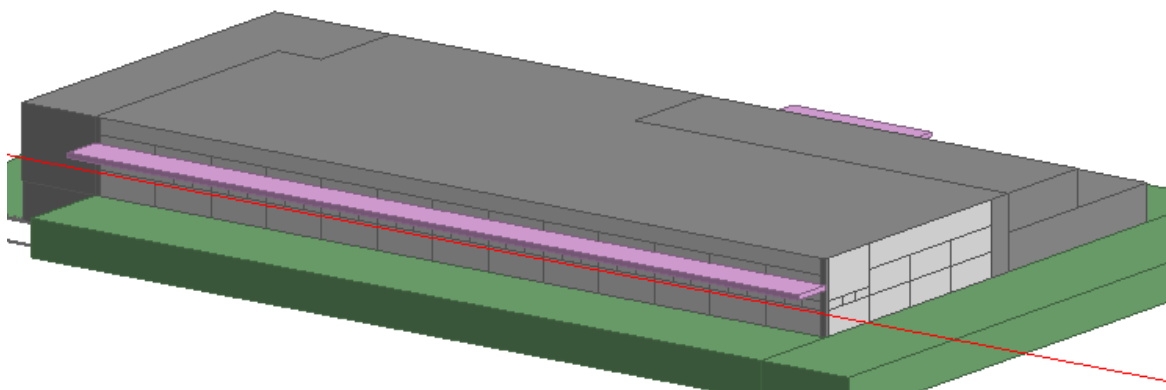


Figura 118 – Modelo tridimensional da nave da piscina, com 18% de área envidraçada relativamente à envolvente exterior opaca.

De seguida, faz-se o levantamento dos consumos energéticos de acordo com a variação da área dos vãos envidraçados, de modo a chegar a uma relação ótima, expressa em percentagem da área transparente relativamente à opaca¹⁰ para a nave do edifício, tendo como objetivo, minimizar os consumos energéticos globais e cumprir com as condições de conforto do espaço para os utilizadores, tomando como caso de estudo a nave da piscina municipal de Silves.

¹⁰ - Envolvente exterior opaca.

O gráfico apresenta um mínimo que traduz a percentagem ótima para a relação da percentagem de área transparente relativamente à área opaca exposta às condições do ar exterior da nave do edifício.

Os consumos totais médios anuais da nave são referentes ao gás propano e à eletricidade para climatizar o ar ambiente interior. Para valores compreendidos entre 20 e 21% de área de envidraçados, os consumos energéticos para climatizar o espaço são mínimos.

O valor mínimo de consumo cifra-se em aproximadamente 221 MWh por ano, em energia consumida.

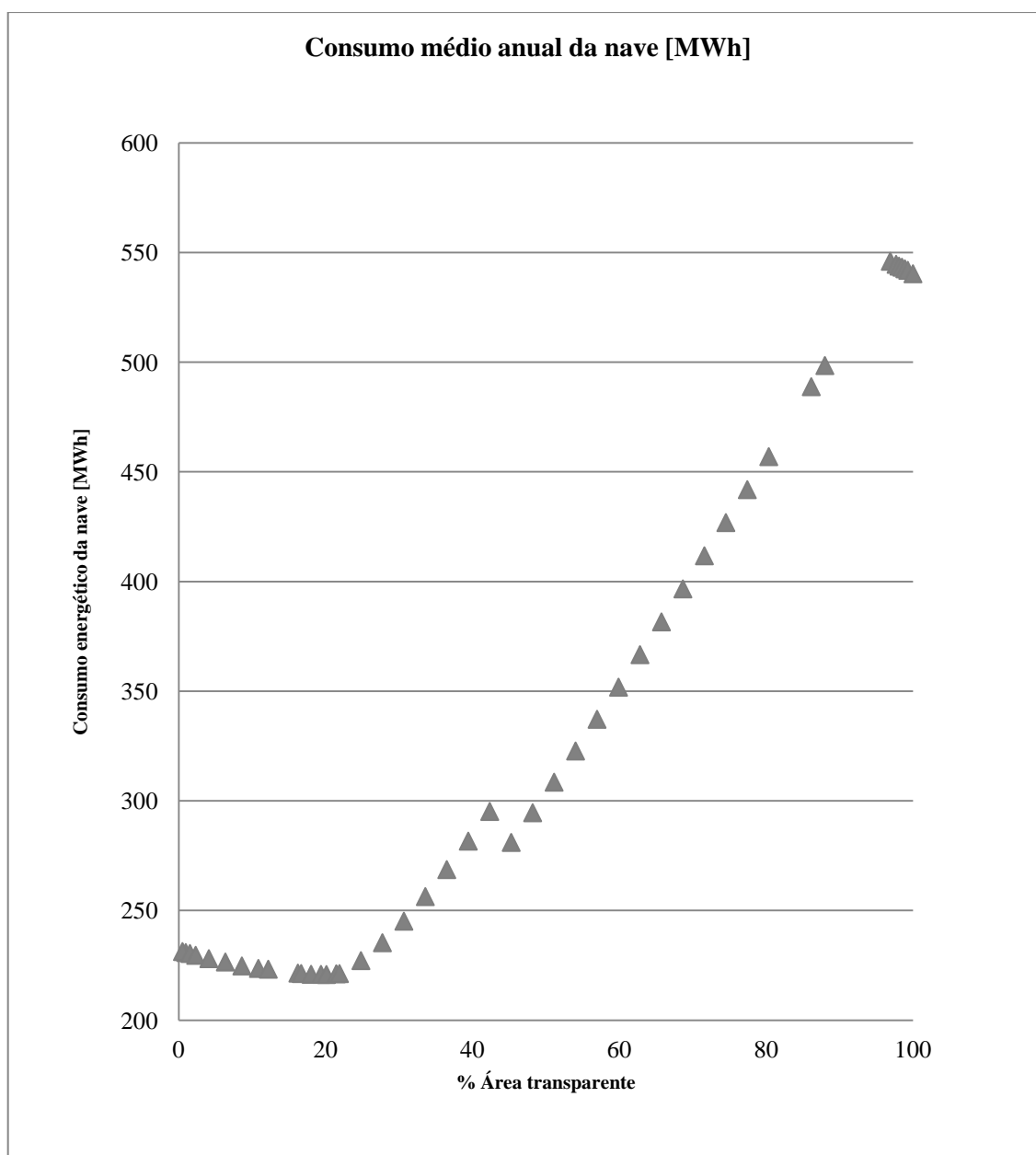


Figura 119 – Variação do consumo devido à climatização da nave da piscina relativamente à percentagem da área envidraçada relativamente à área exterior opaca.

No gráfico seguinte será expresso o consumo global da piscina incluindo a climatização da nave, a produção de águas quentes sanitárias, o aquecimento da água dos tanques, o sistema de bombagem de água e a iluminação tendo como variável a área de envidraçados.

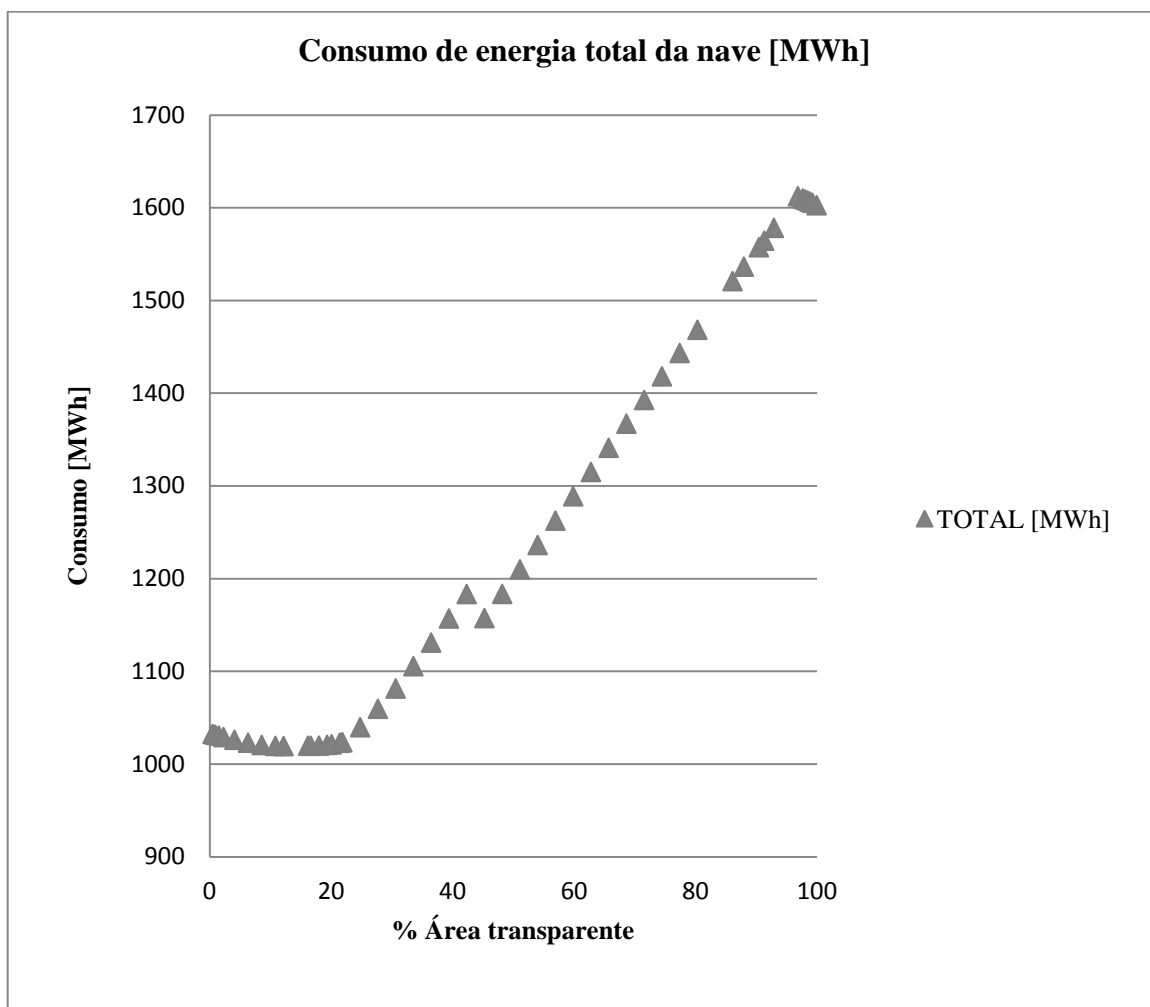


Figura 120 – Variação dos consumos globais da nave da piscina relativamente à percentagem da área envidraçada relativamente à área exterior opaca.

Assim se mostra, como a energia total consumida na nave do edifício varia com a percentagem da área da envolvente transparente na zona em estudo. Com grandes áreas de envidraçados, as necessidades de aquecimento no inverno e as de arrefecimento no verão implicarão elevados consumos totais de energia. Por sua vez, a eliminação total das áreas transparentes descarta os valiosos ganhos solares, principalmente benéficos na estação fria, sendo uma solução longe da ideal. Neste caso verificou-se que para valores entre 20 e 21% de área transparente relativamente à exterior opaca, o consumo de energia atinge o seu valor mínimo, sendo esta a solução ideal para este espaço, já que faz uma boa gestão entre o benefício dos ganhos solares no inverno e a minimização dos excessivos de verão.

É importante referir-se que a análise feita neste capítulo é para o caso particular da piscina de Silves, em que as orientações estão pré-definidas, assim como as soluções construtivas de paredes, coberturas e envidraçados. A temperatura considerada para o ar ambiente interior da nave da piscina foi de 30 °C e 60% de humidade relativa.

VI.4 – As implicações das diferentes orientações dos envidraçados nos consumos energéticos da nave da piscina

Depois de verificado o contributo das áreas envidraçadas nos consumos energéticos da nave, é importante estudar também qual a orientação que promove maior ou menor consumo, isto é, qual a área de envidraçados a aplicar em cada uma das fachadas e cobertura, de modo a que o edifício se torne mais eficiente energeticamente.

Partindo de um modelo tridimensional, desenhado no *Designbuilder*, com 100% de área opaca, obtemos o seu consumo energético para climatizar o espaço ambiente interior e tomamo-lo como referência para as simulação seguintes. Há quatro envolventes opacas exteriores, as três fachadas (NE, SE, SO) e a cobertura, sendo a alteração da área de envidraçados feita alternadamente em cada uma delas, mantendo as outras conforme a referência inicial proposta pelo modelo.

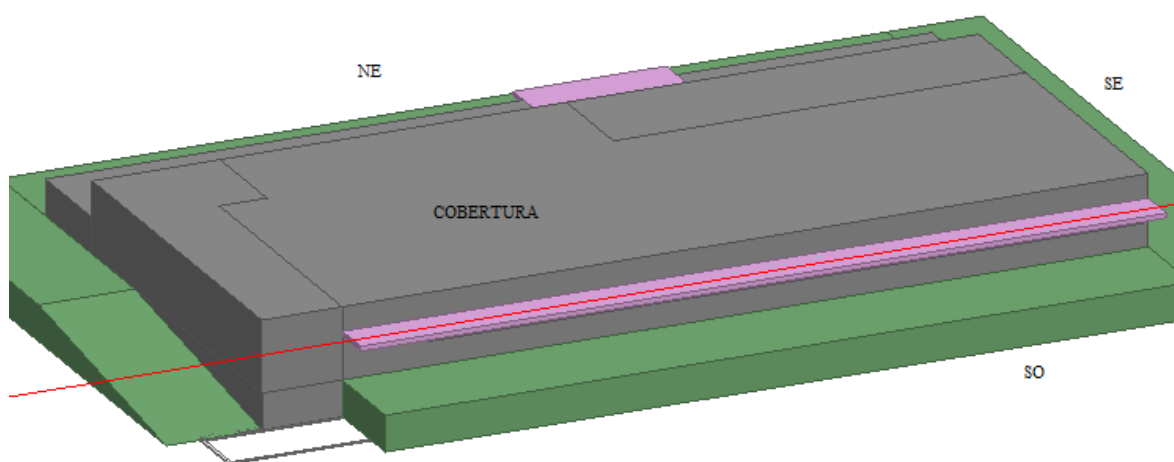


Figura 121 – Modelo tridimensional sem envidraçados.

Nos gráficos seguintes a área de envidraçados é representada no eixo horizontal, relativa à envolvente alterada, primeiro para a orientada a NE, temos 100% de área envidraçada para 84 m² e 0% para 0 m². O método é depois aplicado às outras envolventes em contacto com o ambiente exterior. Na figura 122 observa-se simultaneamente as alterações efetuadas em todas as envolventes opacas exteriores para assim prever a influência, individualmente, no balanço energético da nave da piscina municipal de Silves.

No gráfico que se segue mostram-se os resultados obtidos.

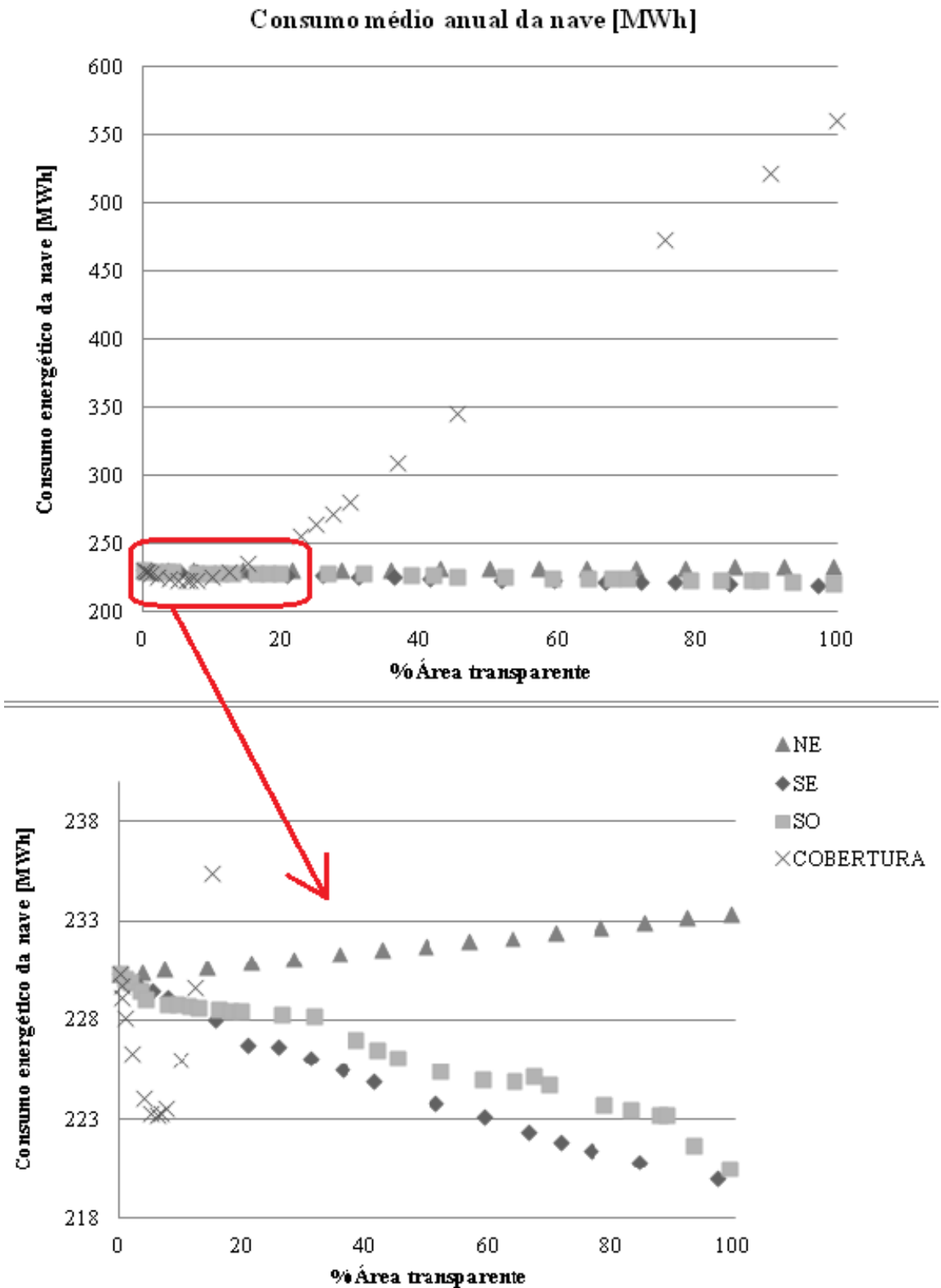


Figura 122 – Variação dos consumos da nave da piscina relativamente à variação da área envidraçada por orientação.

Seguindo a evolução dos consumos energéticos aquando a alteração feita na fachada orientada a nordeste (NE), o consumo energético tem uma evolução diretamente proporcional à área dos

envidraçados. O mínimo do consumo é observado quando não existem envidraçados nesta fachada. É a única em que se verifica esta tendência.

Ao analisar a fachada orientada a sudeste a tendência do consumo energético, é inversamente proporcional à área dos envidraçados, atingindo o seu mínimo, quando a fachada está totalmente transparente. A envolvente exterior orientada a sudeste (SE) é que maior implicações tem na eficiência energética da nave apesar de não ser a que maior área possui.

Seguindo raciocínio análogo, na fachada orientada para sudoeste (SO), à medida que aumentamos a área envidraçada, o seu consumo energético diminui até um mínimo coincidente com os 100% de área transparente. Esta evolui de forma idêntica à fachada orientada a sudeste, mas apesar de ter maior área não tem por isso maior contribuição para minimizar o consumo energético da nave, como se verifica numericamente na tabela 30.

Quanto à cobertura da nave da piscina, temos um comportamento diferente das envolventes anteriores. O consumo energético da nave decresce desde os 0% até aos 6% de área de envidraçados, atingindo aí um valor mínimo de 223,20 MWh. No entanto desde os 6% até os 100% de área transparente na cobertura o valor do consumo energético cresce de forma muito acentuada.

O resumo dos vales obtidos encontram-se na tabela que se segue, assim como as necessidades de aquecimento e de arrefecimento para cada uma das orientações, em condições de consumo mínimo de energia. Os ganhos solares também são indicados para cada uma das situações atrás descritas.

Tabela 30 – Consumos mínimos, obtidos por simulação dinâmica, e respetiva área de envidraçados, em cada uma das orientações da nave da piscina municipal de Silves.

	NE	SE	SO	COBERTURA
Consumo mínimo [MWh]	230,30	220,03	220,56	223,20
Envidraçados [%]	0	100	100	6 (104 m ²)
A trans/A opaca [m ² /m ²]	0,0	34,5	136,2	0,1
Área total [m ²] - [100%]	84	132	398	1703
Q solar [MWh]	0,00	89,04	201,59	87,26
Q aquecimento [MWh]	216,40	195,75	184,26	192,35
Q arrefecimento [MWh]	13,90	24,28	36,30	30,85
Considerando as restante envolventes sem envidraçados				

Na fachada orientada a sudoeste, em situação de consumo mínimo, os envidraçados induzem, o valor máximo das necessidades de arrefecimento e o valor mínimo das necessidades de aquecimento do ar ambiente interior da nave. Os ganhos solares, nas condições de consumo mínimo energético, são máximos também nesta orientação.

Na fachada orientada a nordeste, também em situação de consumo mínimo, os envidraçados induzem o valor máximo para as necessidades energéticas de aquecimento e o valor mínimo para o

arrefecimento. Note-se que o consumo mínimo na nave, induzido pelos envidraçados desta fachada é o mais elevado.

Para termos uma base comparativa entre o que foi apresentado acima e o edifício real, são tabelados os valores de consumo energético, assim como as áreas de envidraçados existentes no edifício.

Tabela 31 – Consumo energético obtido por simulação dinâmica do modelo tridimensional de acordo com o edifício existente.

	NE	SE	SO	COBERTURA
Consumo [MWh]	226,26			
Envidraçados [m ²]	11	15	119	0
Envidraçados [%]	13	12	30	0
	6			
Q solar [MWh]	56,60			
Q aquecimento [MWh]	209,26			
Q arrefecimento [MWh]	17			

Constatamos que temos um desperdício energético anual de 5.26 MWh quando comparando com o modelo considerado ideal. Enquanto no edifício real temos 6% de área transparente no "ideal" temos 20%.

VI.5 – As implicações dos diferentes tipos de vidro nos consumos energéticos da nave da piscina

Nesta secção iremos analisar a importância dos envidraçados nos consumos energéticos das naves, e verificar se de facto é vantajoso investir em maior qualidade no isolamento térmico dos sistemas de caixilharia existentes no mercado, assim como nos vidros a eles associados. Na tabela seguinte apresentam-se os resultados obtidos por tipo de envidraçado.

Tabela 32 – Consumo energético em função das tipologias de envidraçados aplicados no edifício.

Qtotál climatização [MWh]	221,69	226,14	220,35	226,26	240,98
Envidraçados U [W/m ² .°C]	0,98	1,49	1,96	4,00	5,72
Qsolar [MWh]	25,08	21,08	48,32	56,60	23,72
Qaq. [MWh]	205,11	210,47	202,86	209,26	226,66
Qarr. [MWh]	16,58	15,67	17,49	17,00	14,32
Qel. [MWh]	230,27	227,05	231,50	228,89	221,68
Qpropano [MWh]	786,76	795,71	783,02	793,69	822,69
Qtotál [MWh]	1017,03	1022,76	1014,52	1022,58	1044,37
Emissões CO [kg]	311157,1	311032,8	311269,4	311560,5	312272,7
Redução de emissões de CO ₂ [kg]	-403,4	-527,7	-291,1	0	712,2
POUPANÇA ANUAL [€/ano]	-502,7	-13,2	-650,1	0	1619,2

A poupança anual não é significativa, de acordo com os envidraçados simulados, no máximo atingiríamos 650 €. A escolha de envidraçados com maior isolamento térmico, menor valor de U, e com vidro de melhores características térmicas são sempre benéficos para as condições de conforto térmico do ambiente interior e diminuem as necessidades energéticas para climatizar o espaço interior. O que podemos referir é que diminuindo a qualidade dos envidraçados temos de imediato um aumento de 1600 € (para envidraçados com $U=5,72 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$). A relação entre investimento inicial e benefícios energéticos têm de ser estudados de modo a ter uma minimização de custos com as necessidades energéticas para aquecimento e arrefecimento, e um investimento inicial também mínimo, assegurando contudo a eficiência energética do espaço interior.

Nas análises feitas foi considerado o edifício existente, com as áreas reais e orientações também de acordo com o existente, apenas foram alterados os tipos de envidraçados aplicados na nave da piscina municipal de Silves.

CAPÍTULO VII

Neste capítulo, faz-se a descrição das medições efetuadas entre o mês de julho e setembro de 2012, assim como do método experimental usado para medir as taxas de evaporação de vapor de água para o ar ambiente a partir dos tanques das piscinas municipais de Silves.

VII.1 – Método experimental na determinação da taxa de evaporação

Para se poder dispor duma estimativa das taxas reais de evaporação da piscina desportiva, aprendizagem e chapinheiro recorreu-se a um pequeno tabuleiro metálico com a dimensão indicada no desenho abaixo. Colocou-se uma quantidade de água (massa inicial) no seu interior e o tabuleiro a flutuar sobre o plano da água da piscina por forma a que as temperaturas se equalizassem ao mesmo tempo que se mediram as condições interiores da nave, temperatura e humidade relativa, e a quantidade de água existente no tabuleiro em função do tempo de contacto com o plano de água do tanque. O resultado obtido em cada teste é a quantidade de água evaporada por unidade de tempo, isto é, a taxa de evaporação de cada tanque, que depende da temperatura, e da humidade do ar interior e também da temperatura da água da piscina. Esta última é aproximadamente igual à da água do tabuleiro, uma vez que sendo este de pequenas dimensões e encontrando-se a flutuar na piscina, pode-se admitir a igualdade de temperaturas como uma boa hipótese.

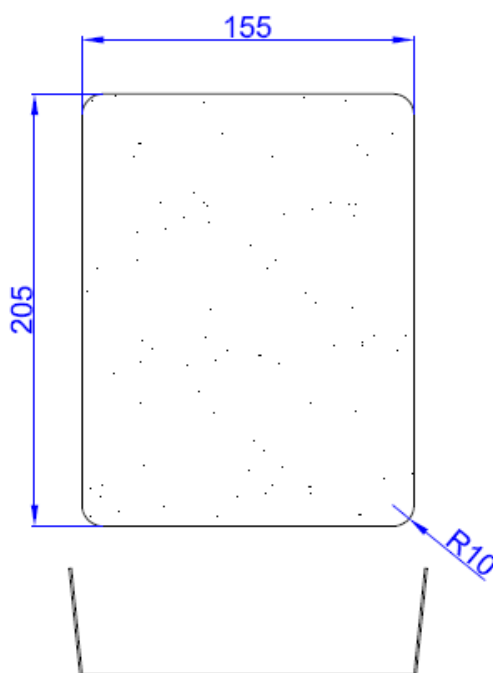


Figura 123 – Desenho do tabuleiro de medição da taxa de evaporação.

Para o registo das condições de conforto interiores, foi utilizado um analisador de clima interior da Brüel & Kjaer, modelo 1213. É neste aparelho que são ligadas as sondas de temperatura, da humidade relativa e da velocidade do ar. A disposição do equipamento é mostrada na fotografia da

figura seguinte (altura aproximada dos sensores a 1 m). Foi também utilizada uma balança com elevada sensibilidade e precisão.



Figura 124 – Equipamento utilizado nas medições efetuadas nos tanques interiores.

Em seguida, apresentam-se as variações da temperatura e da humidade relativa no interior da nave do edifício, medidas desde as 09:00h até às 24:00h do dia 04 de setembro de 2012. Nesse período a nave estava com a ventilação ligada, sem a desumidificação ativada nas unidades de climatização. Os ventiladores de extração também estavam ligados.

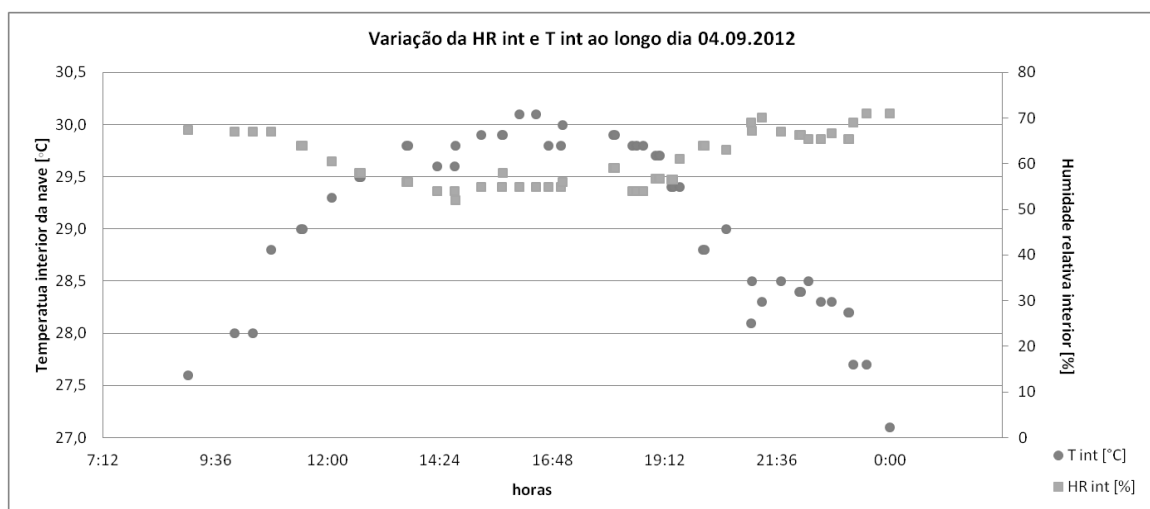


Figura 125 – Evolução da temperatura e humidade relativa do ar interior da nave, desde as 08:00 às 24:00 do dia 04.09.2012.

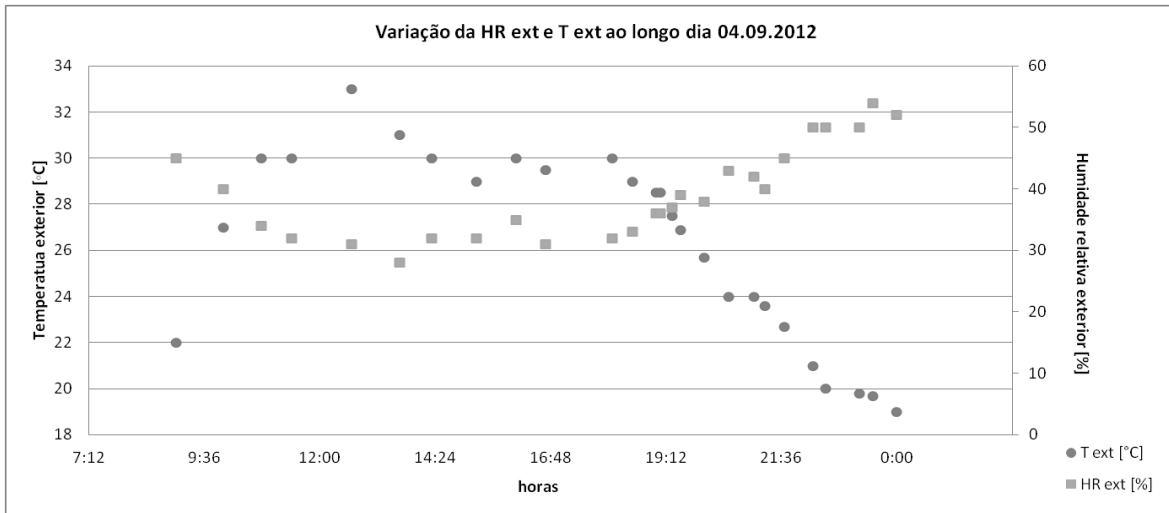


Figura 126 – Evolução da temperatura e humidade relativa do ar exterior, desde as 08:00 às 24:00 do dia 04.09.2012.

Ao longo de vários dias foram feitos registos das condições de conforto interiores e também da taxa de evaporação. A título de exemplo, mostra-se a evolução da taxa de evaporação do tanque da piscina desportiva, ao longo do dia 04 de setembro de 2012.

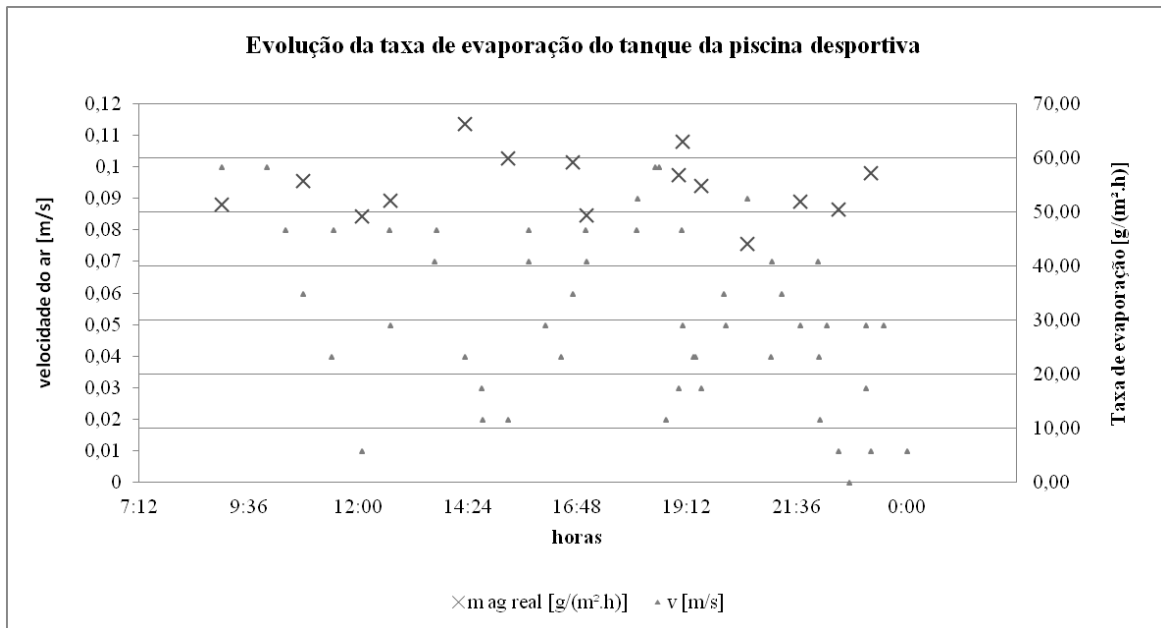


Figura 127 – Evolução da taxa de evaporação da piscina desportiva, desde as 08:00 às 24:00 do dia 04.09.2012, com a temperatura da água igual a 28 °C.

Os valores obtidos para a taxa de evaporação na piscina desportiva variam entre 44,18 g/(h.m²) e 66,27 g/(h.m²). Somando todos os valores obtidos ao longo do dia e dividindo pelo número de contagens, obtemos uma média diária de taxa de evaporação do tanque da piscina desportiva de

54,81 g/(h.m²). Um fator muito variável ao longo de todo o dia foi a velocidade do ar junto ao plano de água da nave, tendo-se obtido valores compreendidos entre 0 m/s e 0,1 m/s.

Nos gráficos seguintes é apresentada a taxa de evaporação medida na piscina desportiva, em função da temperatura do ar ambiente interior, fixando a humidade relativa como parâmetro.

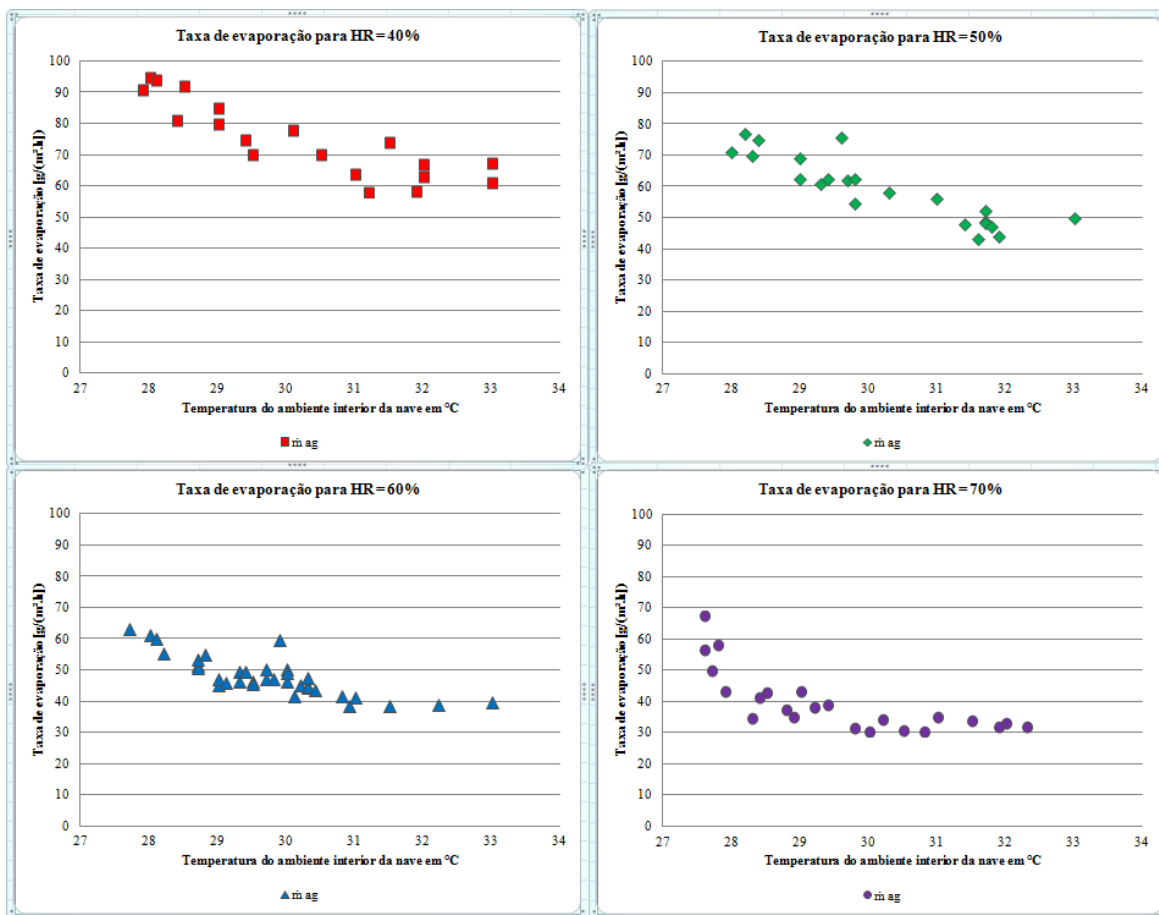


Figura 128 – Evolução da taxa de evaporação da piscina desportiva com a temperatura do ar, com a temperatura da água da piscina em 27°C.

Como se observa à média que a temperatura do ar ambiente interior da nave da piscina aumenta, o valor da taxa de evaporação diminui. Este resultado coincide com o que seria esperado. Todos os valores foram medidos para uma temperatura da água da piscina de 27°C.

De forma estudar a influência que terá a humidade relativa do ar interior na taxa de evaporação, juntam-se os valores dos gráficos anteriores num único, como se mostra na figura seguinte.

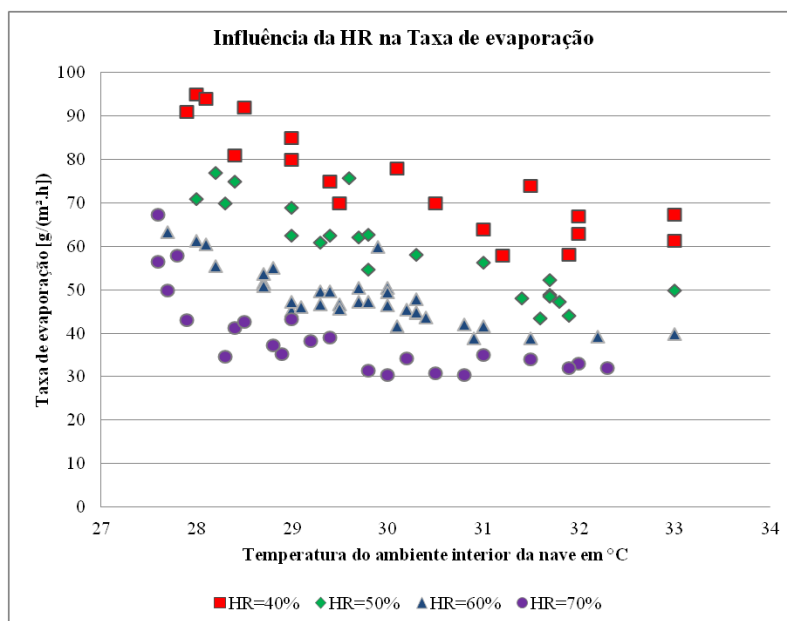


Figura 129 – Influência da humidade relativa na taxa de evaporação da piscina desportiva.

Pode-se concluir que à medida que a humidade relativa aumenta, mantendo a temperatura do ar interior constante, a taxa de evaporação diminui.

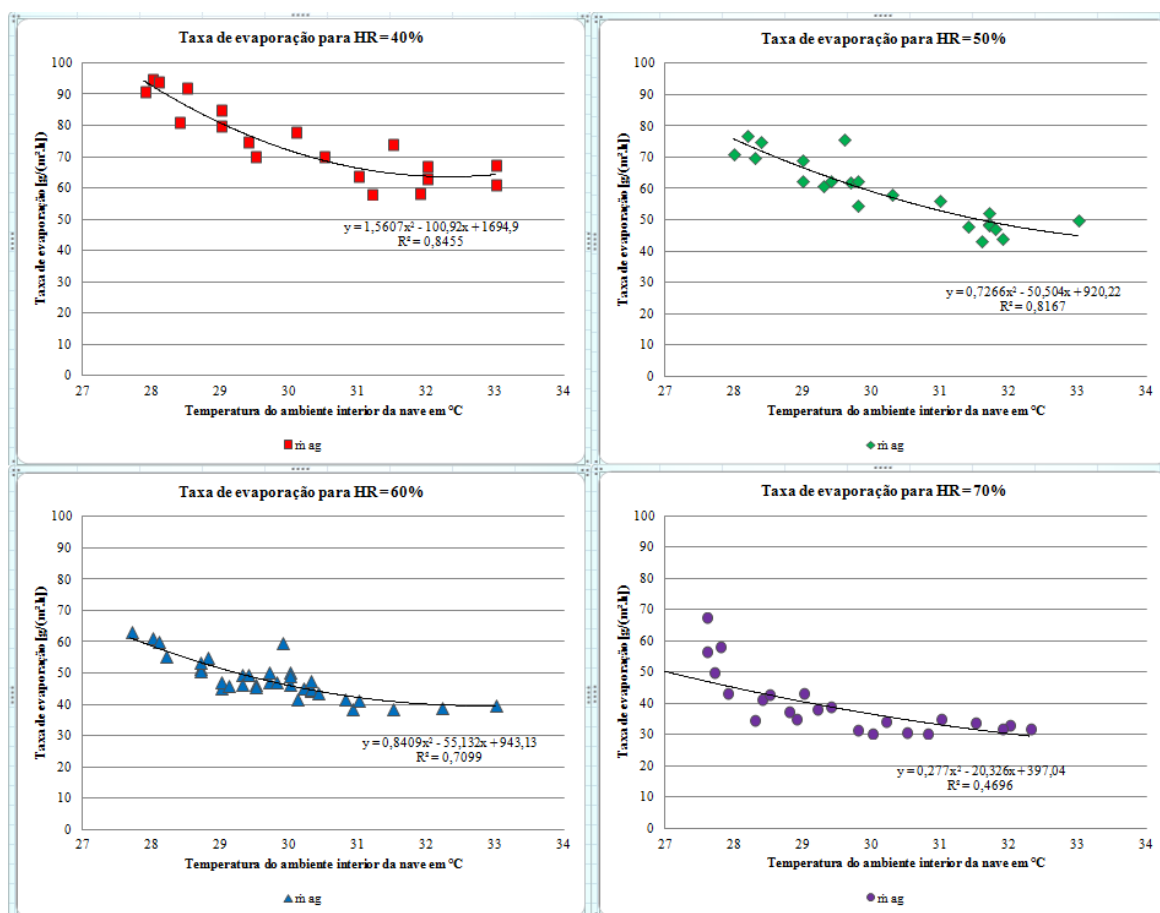


Figura 130 – Curvas ajustadas aos pontos medidos, obtendo com auxílio do Excel as respetivas correlações.

VII.2 – Método teórico na determinação da taxa de evaporação

Para o cálculo da taxa de evaporação, assim como as potências a ela associadas, e as perdas energéticas desde a massa de água dos tanques para o ar ambiente anterior, recorre-se, na prática corrente da engenharia, ao método apresentado na *ASHRAE - Fundamentals* [10] que é explicado de forma sucinta neste subcapítulo.

As perdas por evaporação segundo este modelo são devidas:

- à lâmina superficial da água da piscina;
- à área molhada ao redor da piscina;
- e aos banhistas.

A área molhada ao redor da piscina é sujeita a salpicos de banhistas que mergulham na piscina e também do arrastre de água daqueles que saem. Esta área molhada é proporcional até um certo valor limite, ao número de banhistas, isto de acordo com o método da *ASHRAE*.

Para o cálculo da taxa de evaporação segundo este método, é aplicada uma equação empírica (Carrier, 1918) que se exprime da seguinte forma:

Desde a superfície da água da piscina para o ar interior:

$$\dot{m}_w = \omega \cdot \frac{P_w - P_{ro}}{r_w} \cdot S_w \quad (6)$$

\dot{m}_w - taxa de evaporação do espelho de água da piscina [g/s];

ω - coeficiente de velocidade do ar em contacto com uma determinada superfície [W/(m².Pa)];

P_w - pressão parcial de vapor de água à temperatura da água da piscina [Pa];

P_{ro} - pressão parcial de vapor de água à temperatura de orvalho do ar ambiente interior [Pa];

r_w - calor latente de vaporização da água à temperatura da água da piscina [kJ/kg];

S_w - área da superfície do espelho de água da piscina [m²].

Desde o solo molhado que contorna a piscina para o ar interior:

$$\dot{m}_s = \omega \cdot \frac{P_s - P_{ro}}{r_s} \cdot S_s \quad (7)$$

\dot{m}_s - taxa de evaporação da área molhada em redor da piscina [g/s];

P_s - pressão parcial de vapor de água à temperatura do solo [Pa];

P_{ro} - pressão parcial de vapor de água à temperatura de orvalho do ar ambiente interior [Pa];

r_s - calor latente de vaporização da água à temperatura do solo [kJ/kg];

S_s - área da superfície molhada em redor da piscina [m²].

Desde a superfície da pele dos banhistas para o ar interior:

$$\dot{m}_p = \omega \cdot \frac{P_{35} - P_{ro}}{r_{35}} \cdot S_p \quad (8)$$

\dot{m}_p - taxa de evaporação da superfície do corpo [g/s];

P_{35} - pressão parcial de vapor de água à temperatura superficial da pele do corpo [Pa];

P_{ro} - pressão parcial de vapor de água à temperatura de orvalho do ar ambiente interior [Pa];

r_{35} - calor latente de vaporização da água à temperatura média superficial da pele do corpo [kJ/kg];

S_p - área da superfície do corpo humano [m²].

As equações anteriores são todas afetadas por um fator dependente da velocidade do ar sobre o espelho de água da piscina, sendo expresso pela equação abaixo indicada:

$$\omega = \frac{88,75 - 78,15 \cdot v}{1000} \quad (9)$$

As perdas totais de vapor de água para o ambiente interior da nave da piscina é então calculada da seguinte forma:

$$\dot{m} = \dot{m}_w + \dot{m}_s + \dot{m}_p \quad (10)$$

As perdas associadas ao funcionamento das piscinas podem ser expressas em kW, recorrendo às equações abaixo indicadas.

Equação 11, calcula as perdas por evaporação da água;

$$P_{ev} = \frac{m}{1000} \cdot [r + 4,186 \cdot (t_{wm} - t_{wa})] \quad [\text{kW}] \quad (11)$$

em que,

r - calor latente de evaporação da água em kJ/kg;

t_{wm} - temperatura média da água da piscina em °C,

t_{wa} - temperatura média da água da rede (renovação) em °C.

Equação 12, calcula as perdas por convecção na interface água-ar;

$$P_{cv} = 0,003181 \cdot v^{0,8} \cdot (t_{ws} - t_{BS}) \cdot S_w \quad [\text{kW}] \quad (12)$$

em que,

v - velocidade do ar no plano se água e na superfície do corpo em m/s,

t_{ws} - temperatura superficial da água da piscina em °C,

t_{BS} - temperatura de bolbo seco do ar ambiente em °C.

Equação 13, calcula as perdas radiativas;

$$P_{rd} = 0,00567 \cdot \varepsilon \cdot \left[\left(\frac{t_{ws} - 273,15}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_{RM} - 273,15}{100} \right)^4 \right] \cdot S_w \quad [\text{kW}] \quad (13)$$

em que,

ε - constante de Stefan-Boltzman [5,67E-8 W/(m².K)];

t_{ws} - temperatura superficial da água da piscina, em K;

t_{RM} - temperatura média radiante das superfícies em redor, em K.

Equação 14, calcula as perdas por condução das paredes da piscina em contacto com o ar:

$$P_{cd} = k \cdot \frac{t_{wm} - t_{BS}}{1000} \cdot S_p \quad [\text{kW}] \quad (14)$$

em que,

k - coeficiente global de transferência de calor médio das paredes da piscina [3,3 W/(m².K)].

t_{wm} - temperatura média da água da piscina, em °C;

t_{BS} - temperatura do ar que está em contacto com as paredes do tanque da piscina, em °C;

S_p - superfície das paredes da piscina em contacto com o ar, em m².

Logo a potência total necessária para suprimir as perdas totais anteriores é dada pela equação 15:

$$P = P_{ev} + P_{cv} + P_{rd} + P_{cd} \quad [\text{kW}] \quad (15)$$

VII.3 – Comparação dos valores da taxa de evaporação

A temperatura da água da piscina ficou aproximadamente constante ao longo do ensaio do dia 4 de Setembro de 2012, apresentando uma variação ao longo de todo o ensaio de apenas 0,2 °C. Na figura 130 são apresentados os resultados da taxa de evaporação da piscina desportiva, calculados a partir da formulação teórica, em conjunto com os que foram registados no local, entre as 08:00 e as 24:00 daquele dia.

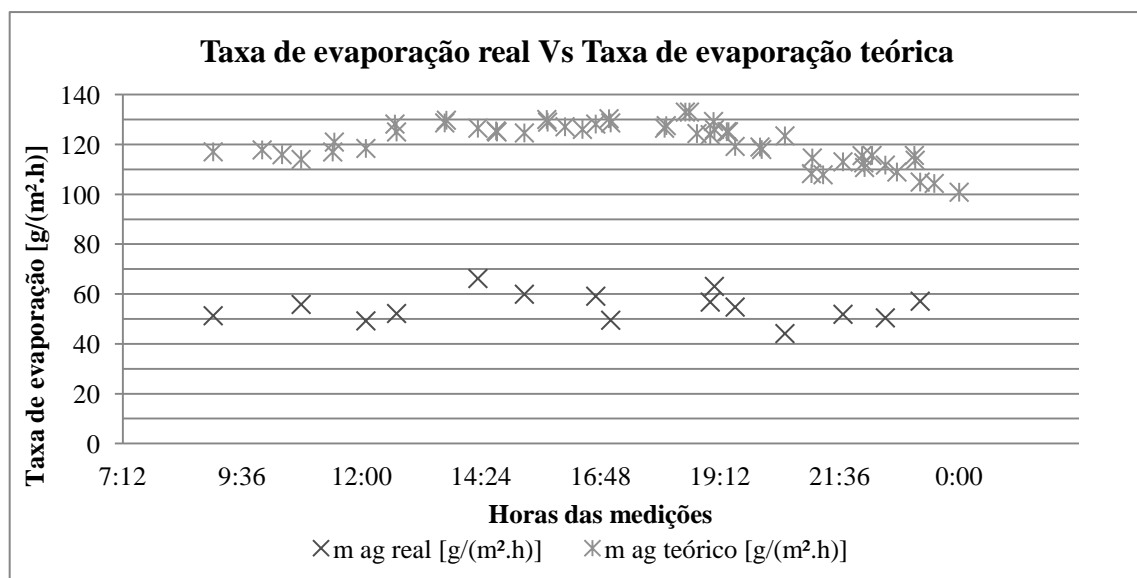


Figura 131 – Evolução da taxa de evaporação teórica da piscina desportiva, desde as 08:00 às 24:00 do dia 04.09.2012.

O valor teórico médio da taxa de evaporação da piscina desportiva assim obtido, é de 124 g/(m².h) enquanto o obtido pelo método experimental, descrito no ponto VII.1, foi de 54,81 g/(m².h). Verifica-se que o teórico é aproximadamente duas vezes superior ao medido.

Um dos fatores para que isto possa acontecer tem a ver com o facto de a piscina não estar a ser utilizada, nem haver nenhuma reposição da água no tanque, durante o dia do ensaio.

Em seguida, são quantificadas as perdas de calor na piscina desportiva, fazendo-se a diferenciação entre as evaporativas, as convectivas, as radiativas e as condutivas.

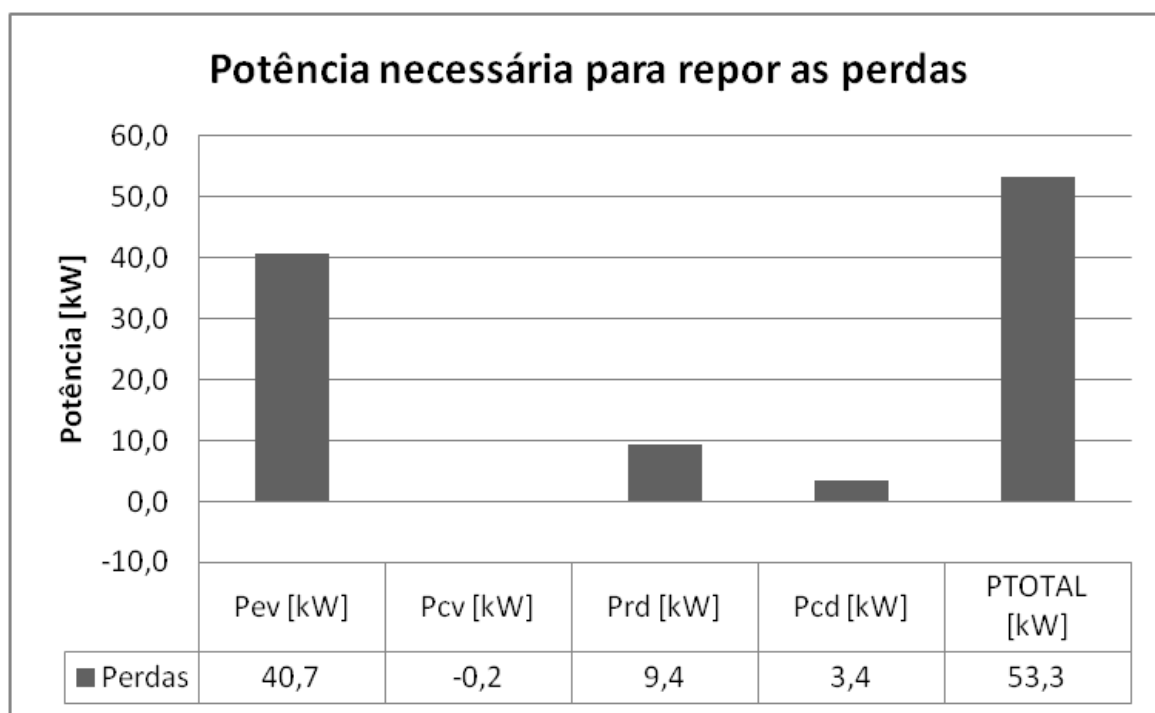


Figura 132 – Perdas de calor na piscina desportiva.

Utilizando a metodologia de calculo apresentada em *ASHRAE - Fundamentals*, verifica-se que as perdas de calor da piscina para o meio ambiente interior são essencialmente evaporativas, como era esperado. O peso percentual das perdas é mostrado na figura 133.

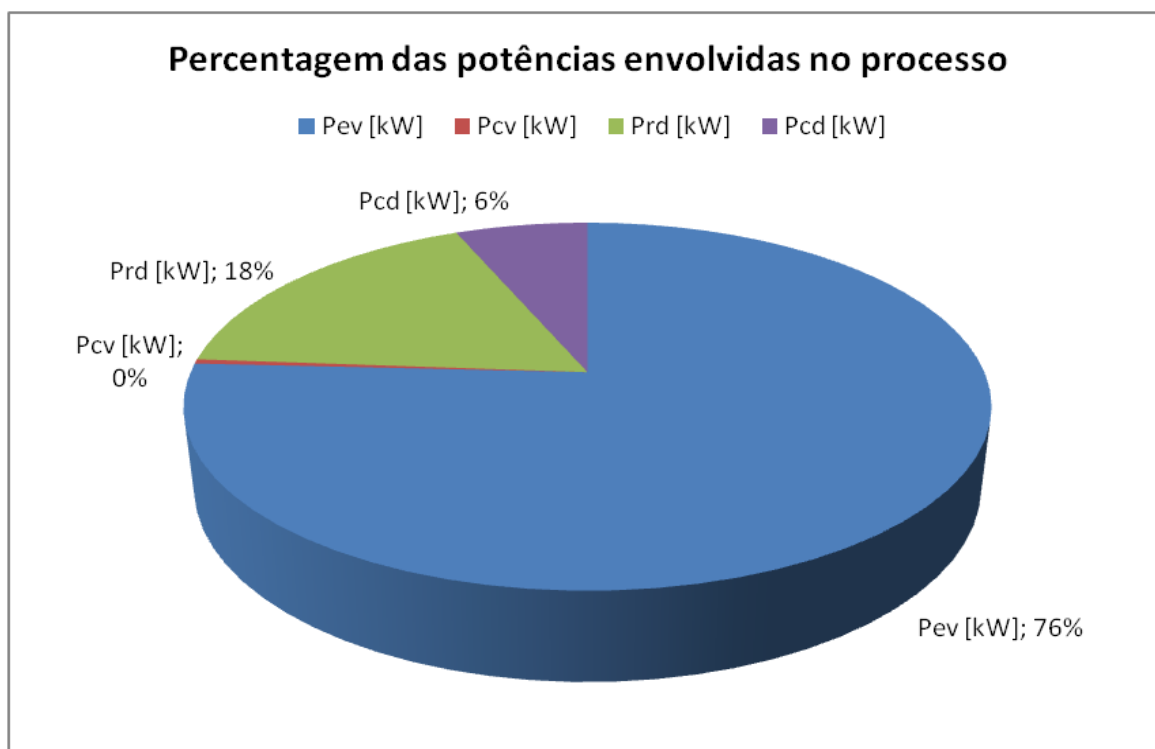


Figura 133 – Perdas de calor em percentagem na piscina desportiva.

Tem-se então a evaporação a contribuir com 76% do total das perdas de calor na piscina desportiva. Logo, a colocação de uma cobertura durante o período em que não é utilizada poderá trazer benefícios económicos, reduzindo os encargos totais energéticos anuais.

Em termos puramente teóricos, caso uma cobertura conseguisse reduzir as perdas por evaporação em 80%, como é comum ver publicitado por fabricantes deste tipo de equipamentos, atingir-se-ia uma poupança substancial na faturação de gás propano durante um ano, que quantificaremos em seguida.

Tabela 33 – Poupança anual ao aplicar uma cobertura térmica na piscina desportiva.

Cálculo com base nas condições médias do ambiente interior da nave no dia de medições em 04.09.2012 na Piscina Municipal de Silves

Desportiva	T pis [°C]	T int [°C]	HR int [%]	Pev [kW]	Pcv [kW]	Prd [kW]	Pcd [kW]	PTOTAL [kW]	Energia diária consumida [kWh]	Poupança diária [€]	Poupança anual [€]
sem cobertura	27,7	29,1	61,1	40,7	-0,2	9,4	3,4	53,3	586	0	0
com cobertura	27,7	29,1	61,1	8,14	-0,2	9,4	3,4	20,7	228	40	14.702

Neste resultado teve-se em consideração o valor pago no ano de 2011 em kWh, referente ao consumo de gás propano, tendo-se obtido o valor de 0,11 €/kWh. Considerou-se a piscina coberta quando desocupada, isto é, desde as 21:00h até às 08:00h do dia seguinte, perfazendo 13 horas diária de cobertura. Fazendo uma estimativa de 10 anos de funcionamento da cobertura, conseguir-se-ia uma poupança no valor de 147020 €, pelo que parece bastante vantajoso investir numa

cobertura cujo custo rondará, para uma piscina como esta, no máximo, 10000 €. O tempo de retorno deste investimento é inferior a 1 ano.

CAPÍTULO VIII

Neste capítulo faz-se o cálculo do índice de eficiência energética real (IEE real) do edifício em estudo, baseado nos cálculos anteriores. Também aqui se fará uma pequena análise baseada nos consumos globais do edifício de modo a observar a evolução ao longo dos meses para que, desse modo, se verifique se existe variação das necessidades em energia elétrica e de gás propano entre a estação quente e a fria.

VIII.1 – Cálculo do IEE real do edifício

Relativamente ao ano de 2011 temos os seguintes consumos apresentados na tabela 34 e 35, assim como a quantidade equivalente de petróleo correspondente.

Tabela 34 – Auditoria energética ao edifício (consumo elétrico).

Processo	Eletricidade [kWh/ano]	kgep/ano
Iluminação do edifício	92824	208367
Bombagem de água	258875	
Ventilação associada ao aquecimento/arrefecimento e desumidificação	326847	
Outros	39961	

Tabela 35 – Auditoria energética ao edifício (consumo gás propano).

Processo	Gás propano [kWh/ano]	kg/ano	kgep/ano
AQS	76948	72430	79593
Aquecimento tanques das piscinas	453726		
Aquecimento do ambiente	402856		

Somando os valores do consumos em termos de energia primária em kgep (quilograma equivalente de petróleo), da energia elétrica e do gás propano, e dividindo pela área do pavimento do edifício (3466,4 m²) obtém-se o índice de eficiência real do edifício que é 83,1 kgep/ano, valor muito acima dos 35 kgep/ano indicado pelo *RSECE*. Pode-se claramente evocar a irrealidade deste valor que o Decreto-lei n.º 79/2006 apresenta, já que para este tipo de instalações o consumo global por área de pavimento aparenta, assim, ser sempre superior.

Para minimizar estes consumos elevados, pode-se recorrer, à colocação de uma cobertura na piscina desportiva; a coletores solares, tanto para a produção de AQS como para o aquecimento dos

tanques das piscinas e ainda à diminuição em 20% dos tempos de bombagem de água, para tentar, reduzir aquele indicador energético, tornando, por isso, o edifício mais eficiente.

Considerando então a aplicação destas tecnologias obtêm-se os seguintes resultados, que mostram a quantidade de energia poupada relativamente ao edifício real:

Tabela 36 – Consumo elétrico após redução em 20% do tempo de bombagem de água (consumo elétrico).

Processo	Eletricidade [kWh/ano]	kgep/ano
Iluminação do edifício	92824	193352
Bombagem de água	207100	
Ventilação associada ao aquecimento/arrefecimento e desumidificação	326847	
Outros	39961	

Tabela 37 – Consumo de propano após aplicação do sistema solar para AQS e aquecimento das águas dos tanques.

Processo	Gás propano [kWh/ano]	kgep/ano
AQS	26984	51275
Aquecimento tanques das piscinas	166385	
Aquecimento do ambiente	402856	

Após esta redução energética, o índice real de eficiência energética fica em 70,6 kgep/ano o que é ainda o dobro do valor exigido por lei para certificação. Outra alternativa também seria a utilização da cogeração com o intuito de baixar ainda mais o IEE real do edifício, mas convém salientar que ainda estamos a duas vezes superior a 35 kgep/ano exigido pelo *RSECE* para este tipo de edifícios.

VIII.2 – Variação do consumo global do edifício ao longo do ano

Introduzindo os dados levantados para o edifício no programa *Designbuilder*, e simulando-o podemos então obter o consumo global anual de energia. Com esta abordagem pretende-se passar aos responsáveis pela exploração das piscinas uma ordem de grandeza da distribuição média temporal dos consumos.

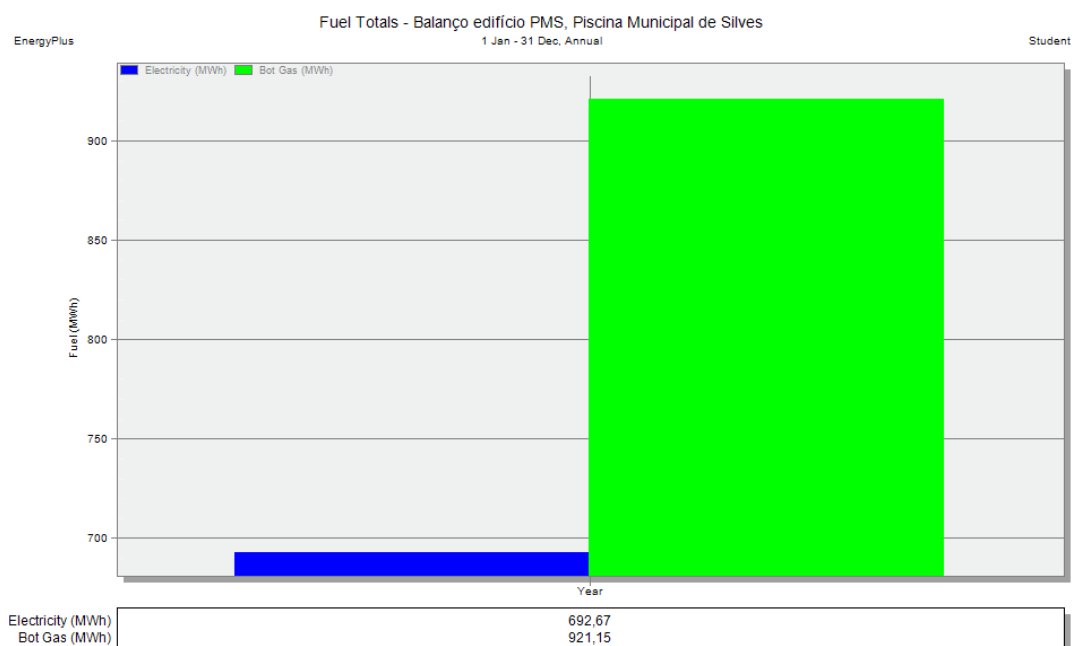


Figura 134 – Consumo global do edifício durante um ano.

Os valores globais obtidos por simulação são coerentes com o apurado no levantamento feito aos consumos do edifício, em que, neste caso, o consumo elétrico anual foi de 692673 kWh e o propano 921148 kWh.

Na abordagem seguinte tem-se como objetivo mostrar que as necessidades de propano são inferiores na estação quente, relativamente à estação fria, ao contrário da energia elétrica resultado que também ajuda na validação do modelo de cálculo, já que a distribuição temporal dos consumos reais segue aproximadamente aquelas tendências, como as faturas o ajudam a demonstrar.

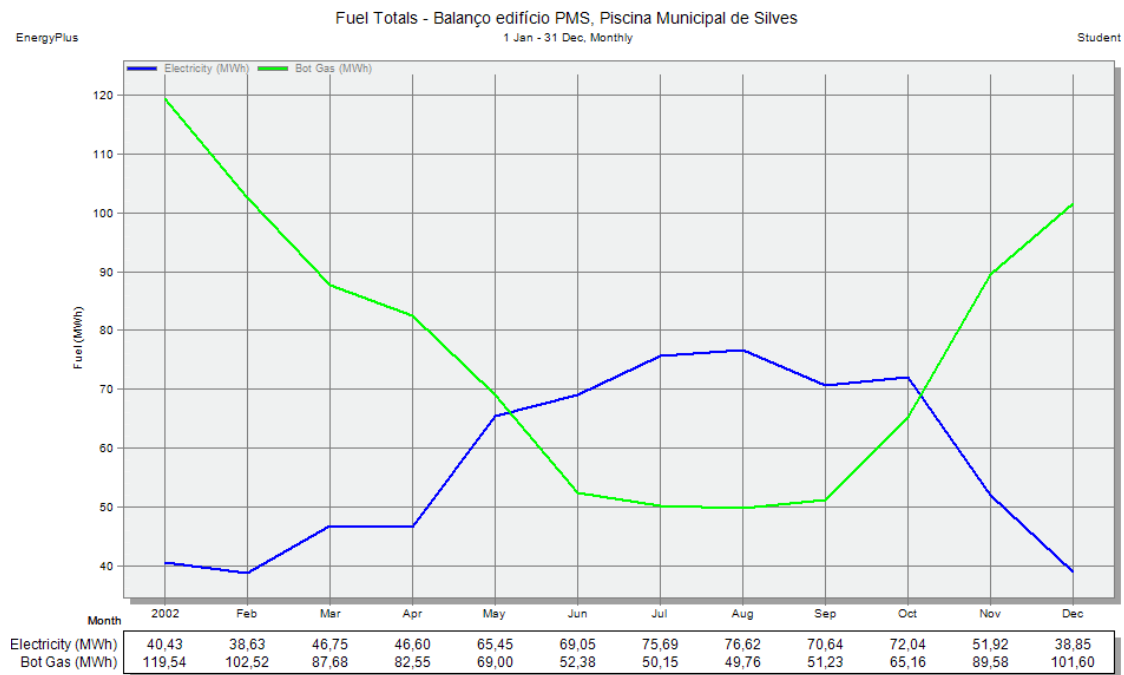


Figura 135 – Evolução do Consumo elétrico e de gás propano do edifício mensalmente.

De seguida, é apresentada a variação das condições do ar ambiente interior no edifício, de acordo com a simulação dinâmica do edifício.

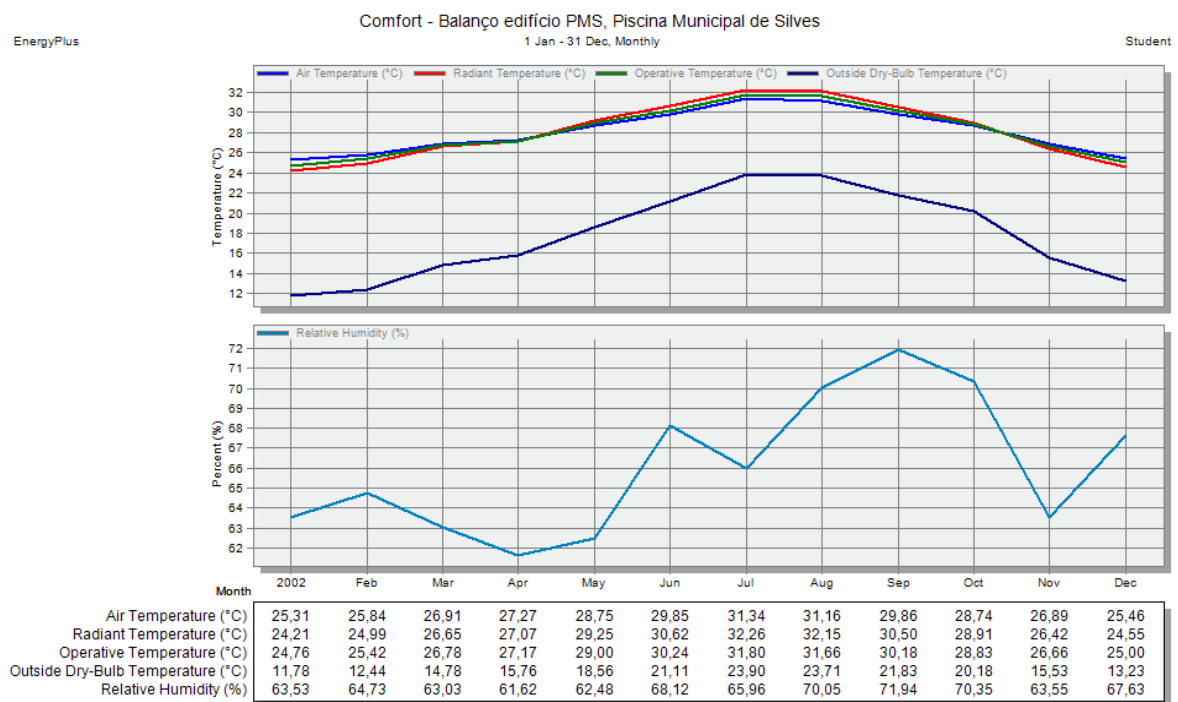


Figura 136 – Evolução mensal das condições de conforto do edifício.

De acordo com os consumos globais do edifício, temos aproximadamente 650 toneladas de emissões de CO₂ para a atmosfera.

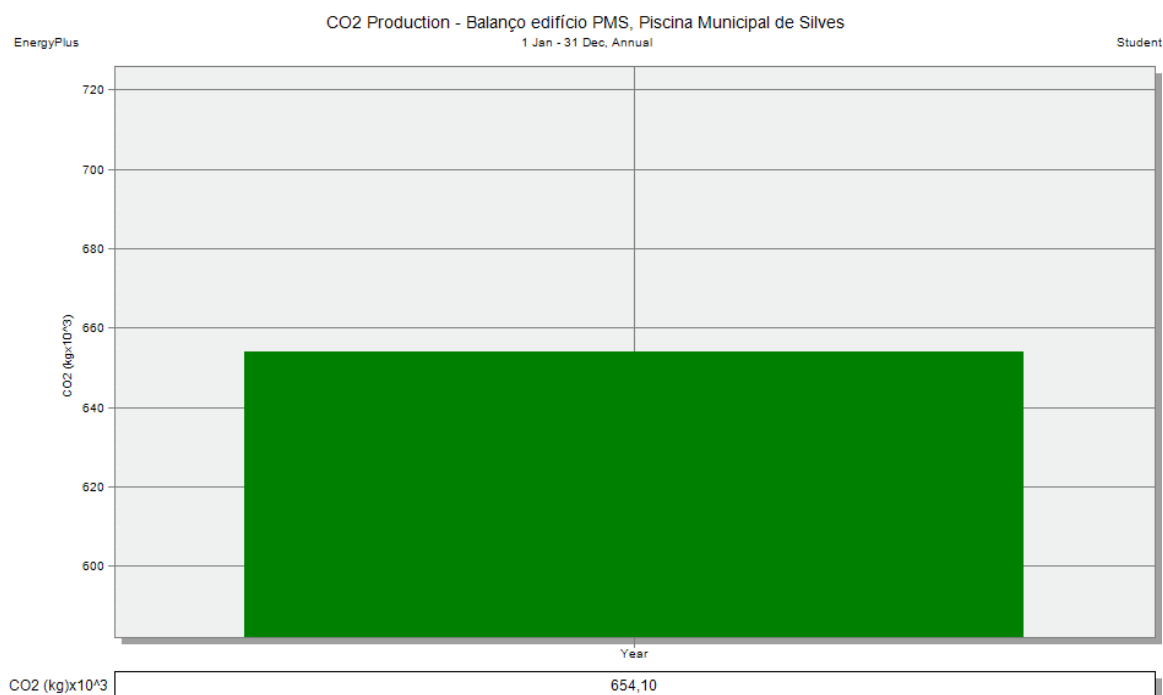


Figura 137 – Emissões de CO₂ para a atmosfera.

VIII.3 – Desagregação dos consumos do edifício

Apresenta-se a seguir a separação dos consumos energéticos do edifício por cada um dos processos, discriminando-se na tabela 38 a percentagem calculada para cada um deles.

Tabela 38 – Desagregação dos consumos do edifício com base no ano de 2011.

2011	Processo	[kWh/ano]	%	%
Eletricidade	Iluminação do edifício	92824	6	43
	Bombagem de água	258875	16	
	Ventilação associada ao aquecimento/arrefecimento e desumidificação	326847	20	
	Outros	39961	2	
Gás propano	AQS	76948	5	57
	Aquecimento tanques das piscinas	453726	27	
	Aquecimento do ambiente	402856	24	
TOTAL		1652037	100	100

No gráfico seguinte mostra-se a mesma distribuição percentual da energia, onde se poderá verificar a elevada percentagem relativa ao aquecimento dos tanques das piscinas, e à climatização do

edifício. Igualmente se observa que a maior parcela do consumo global é de gás propano, atingindo os 57%, em contraponto com os 43% do consumo elétrico.

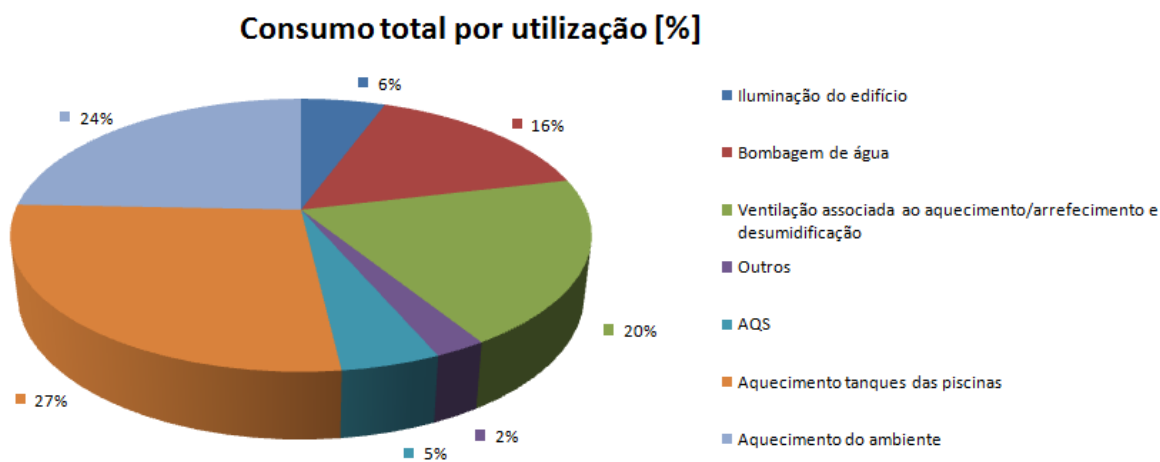


Figura 138 – Desagregação percentual referente à utilização energética no edifício.

CAPÍTULO IX - Conclusões

Neste capítulo apresentam-se as conclusões obtidas ao longo do trabalho, sob a forma de recomendações.

A.1 - No que respeita à iluminação:

- Alterar os balastos ferromagnéticos para eletrónicos nas lâmpadas fluorescentes instaladas, conseguindo assim uma poupança energética de 25% de acordo com a informação generalizada que existe sobre esta matéria. Esta alteração evita o efeito da trepidação, o denominado "*flicker*" ou, por outras palavras, a flutuação da tensão da corrente.

- Diminuir a potência instalada e diminuir os tempos de utilização, aproveitando mais a luz natural em detrimento da artificial, mediante utilização de sensores de luz.

A.2 - Bombagem de água:

- Diminuir o tempo de funcionamento das bombas em 20% do atual, implicando uma redução de 51775 kWh por ano de consumo elétrico, correspondente a aproximadamente a 5700 € de poupança anual (considerando 0,11 €/kWh, dados de 2011).

A.3 - Produção de águas quentes sanitárias:

- Instalar coletores solares para o aquecimento das AQS, diminuindo em 35% do consumo atual das necessidades energéticas das AQS, correspondendo a 5496 € de poupança por ano em consumo energético. Com um investimento inicial de 28635 € tem-se um período de retorno de 5 anos. Para uma vida útil do equipamento de 25 anos, tem-se uma poupança de 137401 €.

- Colocar redutores de caudal nos duches e torneiras, reduzindo assim em cerca de 45% do caudal gasto por dia [5], logo implicará poupanças nos consumos de gás propano, já que diminuirá a quantidade de água a aquecer.

A.4 - Aquecimento da água dos tanques das piscinas:

- Instalar coletores solares para o aquecimento da águas dos tanques, diminuindo em 37% as necessidades atuais de gás propano, o que corresponderia a 31607,51 € por ano de poupança. Com um investimento anual de 95118 € tem-se um período de retorno de 5 anos. Para uma vida útil do equipamento de 25 anos, tem-se uma poupança de 790788 €.

Outras medidas vantajosas:

B.1 - Colocação de uma cobertura na piscina desportiva:

- A aplicação de uma cobertura na piscina desportiva durante o período noturno implicaria uma poupança de 14702 € por ano devido à diminuição do consumo de gás propano para aquecimento da água do tanque. Para um investimento inicial de 10000 € o período de retorno é inferior a 1 ano.

Essa cobertura contribuiria ainda para:

- A diminuição do consumo de água de reposição por diminuição da taxa de evaporação;
- Um menor gasto em produtos químicos e diminuição da sujidade no interior do tanque;
- Manter a temperatura da água da piscina por criar uma barreira térmica entre a água e o ar ambiente interior.

B.2 - Correto dimensionamento dos envidraçados:

- A alteração da área de envidraçados de 143,6 m² (6%) para 455,8 m² (20%), implicaria uma redução anual de 5,71 MWh em consumo energético do edifício. Com esta alteração, para além da redução das necessidades de aquecimento, também se aumentaria a iluminação natural da nave.

- Os consumos energéticos mínimos na nave foram, neste caso, obtidos quando a área de envidraçados é de 20% relativamente à envolvente exterior opaca.

- À medida que a área envidraçada tende para zero, aumentam os consumos referentes ao aquecimento durante os meses mais frios, já que baixam substancialmente os ganhos solares, diminuindo assim a temperatura ambiente interior, o que leva a um maior consumo energético.

- À medida que se aumentam as áreas dos envidraçados, nomeadamente acima dos 20% de área de envidraçados relativamente à envolvente exterior, as necessidades de aquecimento no inverno e as de arrefecimento no verão aumentam, implicando elevados consumos energéticos.

- Mudar a caixilharia de alumínio para outra com corte térmico de modo a melhorar o seu coeficiente global de transferência de calor.

- Alterar os vidros para baixo emissivos, para assim aumentar os ganhos no período diurno e diminuir as perdas durante o período noturno.

C.1 - Quanto ao IEE real do edifício, conclui-se que:

- O índice de eficiência energético do edifício é 83,1 kgep/ano, superior ao limite máximo estipulado pelo *RSECE*. Edifício não certificado energeticamente.

- Colocando painéis solares para as AQS e para as águas quentes dos tanques, diminuindo 20% do tempo de bombagem de água, consegue-se melhorar o IEE real para 70,6 kgep/ano (Apesar disso continua muito superior ao valor máximo limite).

- Seria interessante estudar a possibilidade de cogeração neste tipo de edifícios.

Referências bibliográficas

- [1] Conserving Energy and Heating Your Swimming Pool with Solar Energy; DOE/GO-102000-1077; FS104 Julho 2000;
- [2] Measurements and analysis of evaporation from an inactive outdoor swimming pool; Charles C. Smith, George Lof, and Randy Jones [1994]
- [3] Comportamento térmico de piscinas cobertas - controlo da evaporação; Armando Costa Inverno, António Hugo Lamarão, Celestino Ruivo.
- [4] Indoor Swimming Pools Climate, P. Kjerulf - Jensen, Conferência na FCTUC, Coimbra 1998.
- [5] <http://www.deco.proteste.pt/alimentacao/agua/dicas/redutores-de-caudal-poupe-110-em-agua-quente-por-ano> (29.09.2012).
- [6] Climatização – Conceção, Instalação e Condução de Sistemas; Luís Roriz; Edições Orion, 2ª Edição Novembro de 2007.
- [7] DECRETO-LEI 80/2006 de 4 de Abril. DR Série I-A. 67 (4-04-2006) 2468-2513.
- [8] DECRETO-LEI 79/2006 de 4 de Abril. DR Série I-A. 67 (4-04-2006) 2416-2468.
- [9] <http://www.sapagroup.com/pt>.
- [10] ASHRAE, Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning, Inc., Atlanta, G.A., 1989.

Bibliografia

Design Considerations For Pools And Spas (Natatoriums); John W. Lund and Geo-Heat Center. GHC BULLETIN, Setembro 2000.

Comportamento Térmico de Piscinas Cobertas – Controlo da Evaporação; Armando Costa Inverno, António Hugo Lamarão, Celestino Rodrigues Ruivo; Área Departamental de Engenharia Mecânica; Escola Superior de Tecnologia - Universidade do Algarve, 8000-Faro, Portugal.

Energy Efficient Indoor Swimming Pools (Energy Efficiency and Conservation Authority 2001); Ted Jamieson, Robert Tromop, Elizabeth Yeaman, EECA. Wellington, Junho 2001.

Natorium Dehumidification Design Manual - Indoor Pool Dehumidification Design Manual; PDR 01/14/03. “NAUTICA®, Dehumidifiers”.

Heat pump installation in indoor swimming pool; Caddet Energy Efficiency [IEA* and OECD**]; Result 111, NO 90.002/3B.H05; Abril 1992, Holanda.

* IEA - International Energy Agency;

**OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development.

Condition Controlling and Monitoring of Indoor Swimming Pools; Nissinen, Kari, Kauppinen, Timo, Hekkanen, Martti, VTT Building and Transport, PO Box 18021, FO-90571 Oulu Finland; 09.12.2004, Copyright © VTT 2002.

CFD Simulations for Water Evaporation and Airflow Movement in Swimming Baths; Zhigang Li (zli@bt.aau.dk) and Per Heiselberg (ph@bt.aau.dk). Indoor Environmental Engineering Report for the project “Optimization of Ventilation System in Swimming Bath”, Abril 2005. ISSN 1395-7953 R0503. Dept. of Building Technology and Structural Engineering, Aalborg University - Dinamarca.

Residential Solar Pool Heating Systems: A Buyer’s Guide; Prepared for Natural Resources Canada with the assistance of Taylor Munro Energy Systems Inc., Delta, British Columbia. © Her Majesty the Queen in Right of Canada, 2001; Cat. No.: M92-223/2001E; ISBN 0-662-30665-1.

ASHRAE, Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning, Inc., Atlanta, G.A., 1989;

ISO 7730, Moderate thermal environments – determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort;

Armando C. Inverno, Celestino R. Ruivo, Comportamento Térmico de uma Piscina Coberta, Congresso do Algarve, 1995;

Incropera, F. P. and DeWitt, D.P., Fundamentals of Heat Transfer, John Wiley and Sons., 1981;

O Clima de Portugal, Fasc. XLIX, Vol.4 4ª Região, Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, Lisboa 1991;

Indoor Swimming Pools Climate, P. Kjerulf – Jensen, Conferência na FCTUC, Coimbra 1998.

Air Conditioning Engineering (5ª Edição) – W. P. Jones, 2001.

Energia Solar em Edifícios; Luís Roriz, João Rosendo, Fernando Lourenço e Kathrin Calhau; Edições Orion, 1ª Edição Março de 2010.

Climatização – Conceção, Instalação e Condução de Sistemas; Luís Roriz; Edições Orion, 2ª Edição Novembro de 2007.

Térmica de Edifícios; António Moret Rodrigues, António Canha da Piedade e Ana Marta Braga, Edições Orion, 1ª Edição Março de 2009.

Santos C & Matias L (2006); Coeficientes de Transmissão Térmica de elementos da Envolvente dos Edifícios, ITE 50, LNEC, Lisboa.

Ruivo, Celestino (2010); Apontamentos retirados das aulas de Térmica de Edifícios de 2010, Universidade Algarve.

Ruivo, Celestino (2010); Sebenta das aulas de Térmica de Edifícios de 2010, Universidade Algarve.

ANSI/ASHRAE standard 62.1-2004; Ventilation for acceptable indoor air quality. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air - Conditioning Engineers.

ANSI/ASHRAE standart 55-1992; Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air - Conditioning Engineers.

ASHRAE Handboock(1989); Fundamentals Volume, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, GA.

DECRETO-LEI 78/2006 de 4 de Abril. DR Série I-A. 67 (4-04-2006) 2411-2415.

DECRETO-LEI 79/2006 de 4 de Abril. DR Série I-A. 67 (4-04-2006) 2416-2468.

DECRETO-LEI 80/2006 de 4 de Abril. DR Série I-A. 67 (4-04-2006) 2468-2513.

FANGER PO (1970); Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering, McGraw-Hill Book Company, United States, pp.

FANGER PO (1972); Thermal comfort: analysis engineering, McGraw-Hill Book Company, United States, pp.

Instrumentação Industrial (Vol. I e II); Gustavo da Silva, Escola Superior de Tecnologia de Setúbal (ESTS). 2ª Edição Julho de 2004.

<http://www.naturaltec.com.br/Ultravioleta-UV-Desinfeccao-Agua-Piscinas.html> (10.09.2012)

<http://www.slideshare.net/urielsolon/a-energia-do-futuro> (10.09.2012)

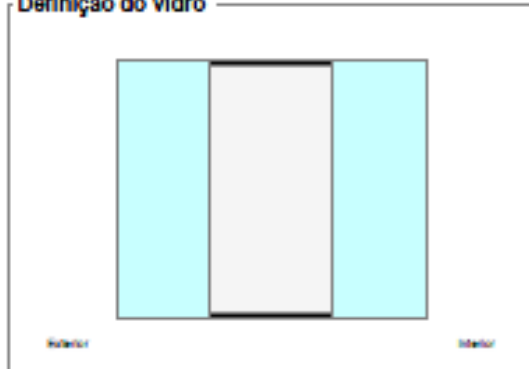
Anexos

Anexo 1 – Influência do vento na taxa de evaporação em piscinas exteriores.

<u>Influência do vento na taxa de evaporação</u>						
HIMUS	LAURIE	MEYER	CARRIER	ROHWER	AUSTRALIA	DADOS
W=m/A	W=m/A	W=m/A	W=m/A	W=m/A	W=m/A	v
Taxa de Evaporação	Taxa de Evaporação	Taxa de Evaporação	Taxa de Evaporação	Taxa de Evaporação	Taxa de Evaporação	Velocidade do vento
[kg/(m ² .h.mmHg)] x1000	[kg/(m ² .h.mmHg)] x1000	[kg/(m ² .h.mmHg)] x1000	[kg/(m ² .h.mmHg)] x1000	[kg/(m ² .h.mmHg)] x1000	[kg/(m ² .h.mmHg)] x1000	(m/s)
31,60	22,40	15,50	17,60	18,60	10,10	0
33,15	24,10	17,18	19,15	19,71	11,43	0,1
34,70	25,80	18,86	20,70	20,82	12,76	0,2
36,25	27,50	20,54	22,25	21,93	14,09	0,3
37,80	29,20	22,22	23,80	23,04	15,42	0,4
39,35	30,90	23,90	25,35	24,15	16,75	0,5
40,90	32,60	25,58	26,90	25,26	18,08	0,6
42,45	34,30	27,26	28,45	26,37	19,41	0,7
44,00	36,00	28,94	30,00	27,48	20,74	0,8
45,55	37,70	30,62	31,55	28,59	22,07	0,9
47,10	39,40	32,30	33,10	29,70	23,40	1
48,65	41,10	33,98	34,65	30,81	24,73	1,1
50,20	42,80	35,66	36,20	31,92	26,06	1,2
51,75	44,50	37,34	37,75	33,03	27,39	1,3
53,30	46,20	39,02	39,30	34,14	28,72	1,4
54,85	47,90	40,70	40,85	35,25	30,05	1,5
56,40	49,60	42,38	42,40	36,36	31,38	1,6
57,95	51,30	44,06	43,95	37,47	32,71	1,7
59,50	53,00	45,74	45,50	38,58	34,04	1,8
61,05	54,70	47,42	47,05	39,69	35,37	1,9
62,60	56,40	49,10	48,60	40,80	36,70	2
64,15	58,10	50,78	50,15	41,91	38,03	2,1
65,70	59,80	52,46	51,70	43,02	39,36	2,2
67,25	61,50	54,14	53,25	44,13	40,69	2,3
68,80	63,20	55,82	54,80	45,24	42,02	2,4
70,35	64,90	57,50	56,35	46,35	43,35	2,5
71,90	66,60	59,18	57,90	47,46	44,68	2,6
73,45	68,30	60,86	59,45	48,57	46,01	2,7
75,00	70,00	62,54	61,00	49,68	47,34	2,8
76,55	71,70	64,22	62,55	50,79	48,67	2,9
78,10	73,40	65,90	64,10	51,90	50,00	3

Anexo 2 – Cálculo do coeficiente global de transferência de calor dos vidros.

Definição do vidro



	Primeiro vidro	Segundo vidro
Gás		Air 6mm
Caixa		
Primeiro vidro	PLANILUX 6mm	PLANILUX 6mm
Caixa		
Intercalar		
Caixa		
Segundo vidro		
Caixa		

Dimensões de fabrico

Espessura nominal: : 20,0 mm
Peso: : 30,0 kg/m²

Factores luminosos

Transmissão : 80 %
Reflexão exterior: 16 %
reflexão interior: 16 %

Factores energéticos

Transmissão : 88 %
Reflexão exterior: 13 %
reflexão interior: 13 %
Absorção A1: 11 %
Absorção A2: 8 %

Factor solar g : 0,74
Coeficiente de sombra : 0,88

Transmissão térmica - 0° Em relação à posição vertical

Ug : 3,0 W/(m².K)



Vasco Correia
VC
Eng

Telefone: :
Telemóvel: :
Fax: :
mendes.vasco@gmail.com

Calumen II é um software simulador para calcular as características do vidro tais como transmissão luminosa, factor solar ou o coeficiente de transmissão térmica. Os valores calculados são a título indicativo e sujeitos a alterações. Não podem ser utilizados para garantir o desempenho dos produtos.

Estes valores são calculados de acordo com as normas EN410:2011 e EN673:2011. As fórmulas estão definidas de acordo com normas EN 1096-4 e DIN6093. Contudo, o utilizador deve verificar a validade dos produtos associados, em particular nas espessuras e cores.
Para além disso, é de sua responsabilidade verificar a composição de vidro resultante quanto aos requisitos de regulamentação a nível nacional, local ou regional.

As regras de cálculo e funções dos resultados do Calumen II foram validadas pelo TÜV Rheinland Quality / TNO quality - Relatório 119236/11-2012



Anexo 3 – Potência instalado por zona no edifício em estudo.

Cabeleireiro (Piso 0)

Tabela A3.1 – Iluminação do cabeleireiro.

Piso	Zona	A (m ²)	Pd [m]	n lâmpadas	P [w]	P TOTAL [w]	tipo	[w/m ²]
0	Cabeleireiro	22,3	3,5	60	18	1080	fluorescente	48,43

Tabela A3.2 – Equipamentos elétricos.

Equipamento	Quantidade	Potência elétrica unitária [kW]	Potência elétrica [kW]	W/m2
secador de cabelo	4	0,75	3	7.238
secadores de mãos	3	52,8	158,4	
TOTAL			161,4	

Arrumos (Piso 0)

Tabela A3.3 – Iluminação dos arrumos.

Piso	Zona	A (m ²)	Pd [m]	n lâmpadas	P [w]	P TOTAL [w]	tipo	[w/m ²]
0	Arrumos	11,5	3,5	1	58	58	TL-D fluorecente T8	5,04

Circulação (Piso 0)

Tabela A3.4 – Iluminação da circulação.

Piso	Zona	A (m ²)	Pd [m]	n lâmpadas	P [w]	P TOTAL [w]	tipo	[w/m ²]
0	Circulação	23,3	3,5	4	18	72	PL-C fluorescente	3,09

Balneários masculinos e fraldário (Piso 0)

Tabela A3.5 – Iluminação dos balneários masculinos e fraldário.

Piso	Zona	A (m ²)	Pd [m]	n lâmpadas	P [w]	P TOTAL [w]	tipo	[w/m ²]
0	Balneários e vestiários masculinos	208,2	3,5	27	58	1566	TL-D fluorecente T8	9,77
				6	18	108	PL-C fluorescente	
				20	18	360	PL-C fluorescente	
0	Fraldário	33,1	3,5	10	18	180	PL-C fluorescente	7,98
				1	58	58	TL-D fluorecente T8	
				2	13	26	PL-C fluorescente	

Tabela A3.6 – Equipamentos elétricos.

Local	Equipamento	Quantidade	Potência elétrica unitária [kW]	Potência elétrica [kW]	W/m2
Balneário Masculino	secador de cabelo	5	0,75	3,75	779
	secadores de mãos	3	52,8	158,4	
Fraldário	secador de cabelo	3	0,75	2,25	1663
	secadores de mãos	1	52,8	52,8	
TOTAL				217,2	

Átrio e circulação (Piso 0)

Tabela A3.7 – Iluminação do átrio e circulação.

Piso	Zona	A (m²)	Pd [m]	n lâmpadas	P [w]	P TOTAL [w]	tipo	[w/m²]
0	Átrio + circulação	162,8	3,5	4	18	72	PL-C fluorescente	19,36
				4	26	104	PL-C	
				12	26	312	PL-C	
				2	250	500	Projektor halogéneo	
				4	70	280	Fluorescente	
				8	18	144	PL-C fluorescente	
				30	58	1740	TL-D fluorecente T8	

Tabela A3.8 – Equipamentos elétricos.

Equipamento	Quantidade	Potência elétrica unitária [kW]	Potência elétrica [kW]	W/m2
secadores de mãos	3	52,8	158,4	1.008
computadores	3	0,5	1,5	
scan	1	0,5	0,5	
impressora	1	0,5	0,5	
ventoinha	1	0,2	0,2	
televisão	1	0,1	0,1	
torradeira	1	0,7	0,7	
tostadeira	1	0,7	0,7	
máquina de café	1	0,5	0,5	
micro-ondas	1	0,7	0,7	
frigorífico	1	0,3	0,3	
TOTAL			164,1	

Instalações sanitárias utentes (Piso 0)

Tabela A3.9 – Iluminação das casas de banho de acesso geral do piso 0.

Piso	Zona	A (m ²)	Pd [m]	n lâmpadas	P [w]	P TOTAL [w]	tipo	[w/m ²]
0	I.S. geral H/M/D	24,5	3,5	8	7	56	PL-S	6,20
				4	7	28	PL-S	
				4	8	32	PL-S	
				4	9	36	PL-S	

Tabela A3.10 – Equipamentos elétricos.

Equipamento	Quantidade	Potência elétrica unitária [kW]	Potência elétrica [kW]	W/m ²
secadores de mãos	3	52,8	158,4	6.465
TOTAL			158,4	

Balneários femininos (Piso 0)

Tabela A3.11 – Iluminação dos balneários femininos.

Piso	Zona	A (m ²)	Pd [m]	n lâmpadas	P [w]	P TOTAL [w]	tipo	[w/m ²]
0	Balneários a vestiários femininos	174,4	3,5	17	58	986	TL-D fluorecente T8	7,72
				20	18	360	PL-C fluorescente	

Tabela A3.12 – Equipamentos elétricos.

Equipamento	Quantidade	Potência elétrica unitária [kW]	Potência elétrica [kW]	W/m ²
secadores de mãos	3	52,8	158,4	939
secadores de cabelos	7	0,75	5,25	
TOTAL			163,7	

Sala da juventude (Piso 0)

Tabela A3.13 – Iluminação da sala da juventude.

Piso	Zona	A (m ²)	Pd [m]	n lâmpadas	P [w]	P TOTAL [w]	tipo	[w/m ²]
0	Sala de Reuniões / juventude	30,8	3,5	6	26	156	PL-C Fluorescente	13,51
				10	26	260	PL-C Fluorescente	

Tabela A3.14 – Equipamentos elétricos.

Equipamento	Quantidade	Potência elétrica unitária [kW]	Potência elétrica [kW]	W/m2
computadores	2	0,5	1	49
impressora	1	0,5	0,5	
TOTAL			1,5	

Circulação juventude e reuniões (Piso 0)

Tabela A3.15 – Iluminação circulação sala juventude e reuniões.

Piso	Zona	A (m ²)	Pd [m]	n lâmpadas	P [w]	P TOTAL [w]	tipo	[w/m ²]
0	Circulação juventude/reuniões	20	3,5	10	18	180	PL-C fluorescente	9,00

Arrecadação limpeza (Piso 0)

Tabela A3.16 – Iluminação da arrecadação limpeza.

Piso	Zona	A (m ²)	Pd [m]	n lâmpadas	P [w]	P TOTAL [w]	tipo	[w/m ²]
0	Arrecadação limpeza	21,5	3,5	12	26	312	PL-C fluorescente	14,51

Instalações sanitárias e vestiário (Piso 0)

Tabela A3.17 – Iluminação instalações sanitárias e vestiários.

Piso	Zona	A (m ²)	Pd [m]	n lâmpadas	P [w]	P TOTAL [w]	tipo	[w/m ²]
0	I.S. H/M	20,4	3,5	2	13	26	PL-C fluorescente	7,79
				1	36	36	TL-D	
				1	58	58	TL-D T8	
				1	13	13	PL-C fluorescente	
				2	13	26	PL-C fluorescente	
0	Vestiário	9,2	3,5	1	36	36	TL-D	7,83
				2	18	36	PL-C fluorescente	

Tabela A3.18 – Equipamentos elétricos.

Equipamento	Quantidade	Potência elétrica unitária [kW]	Potência elétrica [kW]	W/m2
secadores de mãos	3	52,8	158,4	5.351
TOTAL			158,4	

Sala de fitness (Piso 0)

Tabela A3.19 – Iluminação sala de fitness.

Piso	Zona	A (m ²)	Pd [m]	n lâmpadas	P [w]	P TOTAL [w]	tipo	[w/m ²]
0	Sala de fitness	79,2	3,5	68	18	1224	TL-D T8	15,45

Tabela A3.20 – Equipamentos elétricos.

Equipamento	Quantidade	Potência elétrica unitária [kW]	Potência elétrica [kW]	W/m2
ventoinha	1	0,2	0,2	6
aparelhagem	1	0,3	0,3	
TOTAL			0,5	

Circulação de acesso ao piso 1 (Piso 0)

Tabela A3.21 – Iluminação circulação de acesso ao piso 1.

Piso	Zona	A (m ²)	Pd [m]	n lâmpadas	P [w]	P TOTAL [w]	tipo	[w/m ²]
0	Circulação + escadas	48,5	3,5	14	18	252	PL-Cfluorescente	11,13
				8	36	288	TL-D T8	

Receção e sala professores (Piso 0)

Tabela A3.22 – Iluminação da sala de professores.

Piso	Zona	A (m ²)	Pd [m]	n lâmpadas	P [w]	P TOTAL [w]	tipo	[w/m ²]
0	Receção	34,3	3,5	5	50	250	gêneo GUS 5,3 12v 36	23,27
				8	26	208	PL-C	
				12	26	312	PL-C	
				4	7	28	PL-S	
0	I.S. pessoal	5,4	3,5	4	7	28	PL-S	5,19
0	Sala professores	14,6	3,5	8	7	56	PL-S	5,75
				4	7	28	PL-S	
0	I.S. professores	7,5	3,5	2	18	36	TL-D	8,53
				4	7	28	PL-S	

Enfermaria (Piso 0)

Tabela A3.23 – Iluminação da enfermaria.

Piso	Zona	A (m ²)	Pd [m]	n lâmpadas	P [w]	P TOTAL [w]	tipo	[w/m ²]
0	Enfermaria	26,7	3,5	6	36	216	TL-D fluorecente T8	10,94
				2	18	36	TL-D fluorecente T8	
				1	40	40	Incandescente	

Tabela A3.24 – Equipamentos elétricos.

Equipamento	Quantidade	Potência elétrica unitária [kW]	Potência elétrica [kW]	W/m2
servidor	1	1	1	2.052
secadores de mãos	1	52,8	52,8	
impressora	1	0,5	0,5	
computadores	1	0,5	0,5	
TOTAL			54,8	

Sala de controlo (Piso 0)

Tabela A3.25 – Iluminação da sala de controlo.

Piso	Zona	A (m ²)	Pd [m]	n lâmpadas	P [w]	P TOTAL [w]	tipo	[w/m ²]
0	Sala de controlo	15,3	3,5	6	36	216	TL-D	14,12

Tabela A3.26 – Equipamentos elétricos.

Equipamento	Quantidade	Potência elétrica unitária [kW]	Potência elétrica [kW]	W/m2
rádio	1	0,1	0,1	39
leitor DVD	1	0,2	0,2	
aparelhagem	1	0,3	0,3	
TOTAL			0,6	

Jacuzzi e sauna (Piso 0)

Tabela A3.27 – Iluminação do jacuzzi e sauna.

Piso	Zona	A (m ²)	Pd [m]	n lâmpadas	P [w]	P TOTAL [w]	tipo	[w/m ²]
0	Jacuzzi / Sauna / Banho turco	58,6	3,5	26	18	468	PL-C 18w	11,81
				2	36	72	TL-D	
				2	18	36	TL-D	
				2	18	36	TL-D	
				2	40	80	Incandescente	

Sala técnica e circulação das escadas de acesso ao piso -1 (Piso 0)

Tabela A3.28 – Iluminação sala técnica.

Piso	Zona	A (m ²)	Pd [m]	n lâmpadas	P [w]	P TOTAL [w]	tipo	[w/m ²]
0	Sala técnica + circulação	78,4	3,5	6	58	348	TL-D	5,94
				2	59	118	TL-D	

Ginásio (Piso 1)

Tabela A3.29 – Iluminação do ginásio.

Piso	Zona	A (m ²)	Pd [m]	n lâmpadas	P [w]	P TOTAL [w]	tipo	[w/m ²]
1	Ginásio	107,8	3,5	10	58	580	TL-D	8,18
				4	13	52	PL-C	
				1	250	250	Projektor halogéneo	

Tabela A3.30 – Equipamentos elétricos.

Equipamento	Quantidade	Potência elétrica unitária [kW]	Potência elétrica [kW]	W/m ²
computadores	1	0,5	0,5	1.516
aparelhagem	1	0,3	0,3	
passadeiras de exercício	5	5	25	
máquinas de step	2	3	6	
bicicletas	2	1	2	
TOTAL			33,8	

Instalações sanitárias de apoio ao bar e ginásio e circulação (Piso 1)

Tabela A3.31 – Iluminação instalações sanitárias de apoio ao bar e circulação.

Piso	Zona	A (m ²)	Pd [m]	n lâmpadas	P [w]	P TOTAL [w]	tipo	[w/m ²]
1	Circulação	7,9	3,5	4	18	72	PL-C fluorescente	9,11
1	I.S. pessoal	3,4	3,5	4	13	52	PL-C fluorescente	15,29
1	I.S. H/M	39,4	3,5	6	7	42	PL-C 7w (par)	8,12
				1	58	58	TL-D 58w (ind)	
				2	13	26	PL-C 13w (ind)	
				2	7	14	PL-C 7w (par)	
				1	58	58	TL-D 58w (ind)	
				4	13	52	PL-C 13w (ind)	
				10	7	70	PL-C 7w (par)	

Tabela A3.32 – Equipamentos elétricos.

Equipamento	Quantidade	Potência elétrica unitária [kW]	Potência elétrica [kW]	W/m2
secadores de mãos	4	52,8	211,2	4.166
TOTAL			211,2	

Bar (Piso 1)

Tabela A3.33 – Iluminação do bar.

Piso	Zona	A (m²)	Pd [m]	n lâmpadas	P [w]	P TOTAL [w]	tipo	[w/m²]
1	Bar	23	3,5	4	58	232	TL-D T8	25,30
				7	50	350	halogéneo GUS 5,3 12v 36D 1ct	

Tabela A3.34 – Equipamentos elétricos.

Equipamento	Quantidade	Potência elétrica unitária [kW]	Potência elétrica [kW]	W/m2
aquecedor	1	1,9	1,9	496
máquina registadora	1	0,2	0,2	
máquina de café	1	0,5	0,5	
máquina de lavar louça	1	1	1	
arca frigorífica	1	0,5	0,5	
forno	1	1,8	1,8	
tostadeira	1	0,7	0,7	
torradeira	1	0,7	0,7	
micro-ondas	4	0,7	2,8	
frigorífico	1	0,3	0,3	
arca frigorífica	2	0,5	1	
TOTAL			11,4	

Esplanada interior de apoio ao bar (Piso 1)

Tabela A3.35 – Iluminação da esplanada interior.

Piso	Zona	A (m²)	Pd [m]	n lâmpadas	P [w]	P TOTAL [w]	tipo	[w/m²]
1	Circulação / Visionário / Bar	132,6	3,5	5	70	350	Fluorescente	8,55
				4	18	72	PL-C fluorescente	
				24	18	432	PL-C fluorescente	
				4	70	280	Fluorescente	

Tabela A3.36 – Equipamentos elétricos.

Equipamento	Quantidade	Potência elétrica unitária [kW]	Potência elétrica [kW]	W/m2
televisão	1	0,1	0,1	12
arcas frigoríficas	2	0,5	1	
arca sumo	1	0,5	0,5	
TOTAL			1,6	

Circulação e Escadas de acesso aos gabinetes e arrecadação (Piso 1)

Tabela A3.37 – Iluminação circulação e arrecadação.

Piso	Zona	A (m ²)	Pd [m]	n lâmpadas	P [w]	P TOTAL [w]	tipo	[w/m ²]
1	Escadas gabinetes	24,2	3,5	12	26	312	PL-C fluorescente	12,89
1	Arrecadação	78,3	3,5	8	58	464	TL-D T8	5,93
1	Circulação gabinetes	30,4	3,5	14	26	364	PL-C	11,97

Gabinete administrativo (Piso 1)

Tabela A3.38 – Iluminação do gabinete administrativo.

Piso	Zona	A (m ²)	Pd [m]	n lâmpadas	P [w]	P TOTAL [w]	tipo	[w/m ²]
1	Gabinete Administrativo	40,9	3,5	24	26	624	PL-C fluorescente	15,26

Sala de reuniões (Piso 1)

Tabela A3.39 – Iluminação da sala de reuniões.

Piso	Zona	A (m ²)	Pd [m]	n lâmpadas	P [w]	P TOTAL [w]	tipo	[w/m ²]
1	Sala reuniões	16,1	3,5	12	26	312	PL-C fluorescente	19,38

Tabela A3.40 – Equipamentos elétricos.

Equipamento	Quantidade	Potência elétrica unitária [kW]	Potência elétrica [kW]	W/m2
computadores	2	0,5	1	93
impressora	1	0,5	0,5	
TOTAL			1,5	

Gabinete coordenador (Piso 1)

Tabela A3.41 – Iluminação gabinete coordenador.

Piso	Zona	A (m ²)	Pd [m]	n lâmpadas	P [w]	P TOTAL [w]	tipo	[w/m ²]
1	Gabinete coordenador	16,7	3,5	12	26	312	PL-C fluorescente	18,68

Tabela A3.42 – Equipamentos elétricos.

Equipamento	Quantidade	Potência elétrica unitária [kW]	Potência elétrica [kW]	W/m2
computadores	6	0,5	3	210
impressora	1	0,5	0,5	
TOTAL			3,5	

Gabinete da Manutenção (Piso 1)

Tabela A3.43 – Iluminação do gabinete de manutenção.

Piso	Zona	A (m ²)	Pd [m]	n lâmpadas	P [w]	P TOTAL [w]	tipo	[w/m ²]
1	Manutenção	17,1	3,5	12	26	312	PL-C fluorescente	18,25

Tabela A3.44 – Equipamentos elétricos.

Equipamento	Quantidade	Potência elétrica unitária [kW]	Potência elétrica [kW]	W/m2
computadores	4	0,5	2	146
impressora	1	0,5	0,5	
TOTAL			2,5	

Cave (Piso -1)

Tabela A3.45 – Iluminação da cave.

Piso	Zona	A (m ²)	Pd [m]	n lâmpadas	P [w]	P TOTAL [w]	tipo	[w/m ²]
-1	Cave	984,6	3,5	86	36	3096	TL-D T8	3,50
				4	58	232	TL-D T8	
				1	58	58	TL-D T8	
				1	58	58	TL-D T8	

Anexo 4 – Perfis de ocupação e utilização.

Tabela A.4.1 – Perfil de ocupação.

Edit schedule - Clubes Desportivos com Piscina Ocupação RSECE

Schedules Data

General

General

Name Clubes Desportivos com Piscina Ocupação RSECE

Description padrões de referência - valores nominais

Source RSECE

Category General

Region PORTUGAL

Schedule type 2-Compact Schedule

Profiles

```
SCHEDULE:COMPACT,
Clubes Desportivos com Piscina Ocupação,
Fraction,
Through: 31 Dec,
For: Weekdays SummerDesignDay WinterDesignDay Saturday,
Until: 07:00, 0,
Until: 08:00, 0.25,
Until: 10:00, 0.75,
Until: 20:00, 1,
Until: 21:00, 0.5,
Until: 24:00, 0,
For: Holidays AllOtherDays,
Until: 24:00, 0;
```

Help

Info Data

General

A schedule consists of one daily profile for each day of the week, for each month of the year.

Schedules are used when the model detail is set to 'Schedules'

Compact Schedules

Define the schedule using Compact Schedule script based on the EnergyPlus Schedule:Compact dataset.

[Press F1 for more information.](#)

Model data Help Cancel OK

Tabela A.4.2 – Perfil de iluminação.

Edit schedule - Clubes Desportivos com Piscina Iluminação RSECE

Schedules Data

General

General

Name Clubes Desportivos com Piscina Iluminação RSECE

Description padrões de referência - valores nominais

Source RSECE

Category General

Region PORTUGAL

Schedule type 2-Compact Schedule

Profiles

```
SCHEDULE:COMPACT,
Clubes Desportivos com Piscina Iluminação,
Fraction,
Through: 31 Dec,
For: Weekdays SummerDesignDay WinterDesignDay Saturday,
Until: 07:00, 0,
Until: 08:00, 0.15,
Until: 09:00, 0.40,
Until: 12:00, 0.45,
Until: 13:00, 0.35,
Until: 14:00, 0.70,
Until: 15:00, 0.80,
Until: 16:00, 0.90,
Until: 17:00, 0.95,
Until: 18:00, 1,
Until: 19:00, 0.50;
```

Help

Info Data

General

A schedule consists of one daily profile for each day of the week, for each month of the year.

Schedules are used when the model detail is set to 'Schedules'

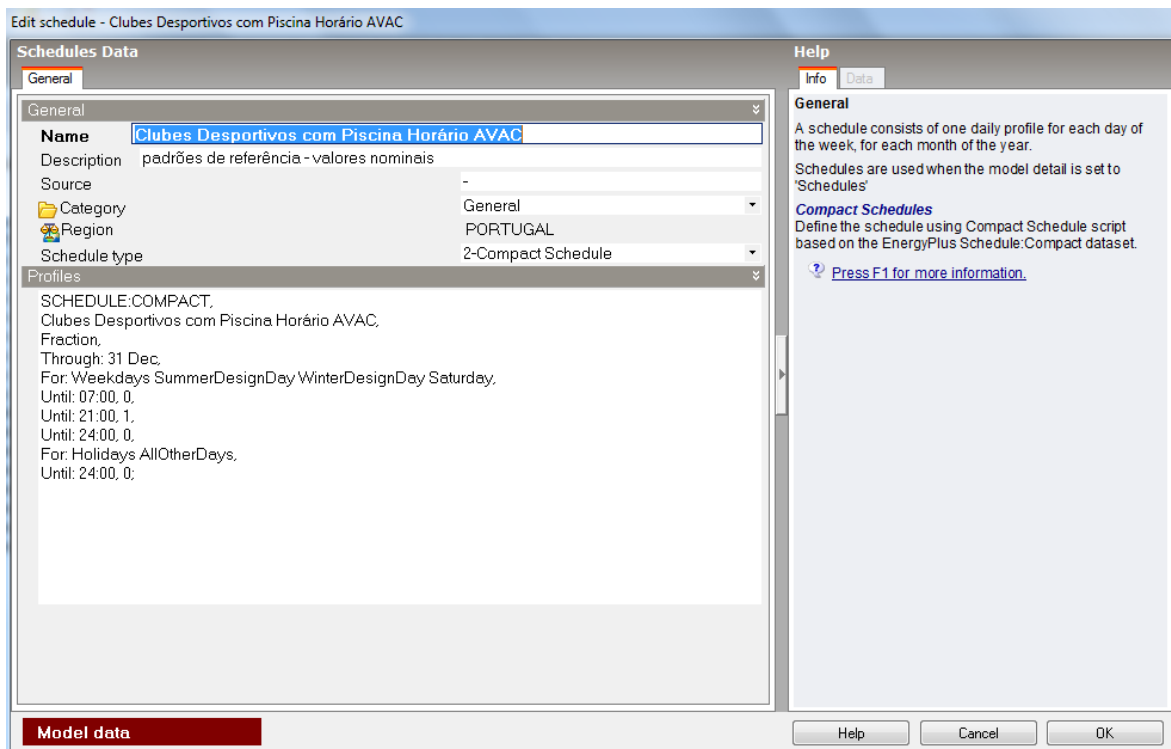
Compact Schedules

Define the schedule using Compact Schedule script based on the EnergyPlus Schedule:Compact dataset.

[Press F1 for more information.](#)

Model data Help Cancel OK

Tabela A.4.3 – Perfis dos equipamentos de climatização.



Anexo 5 – Tipologias de envidraçados usados na análise energética comparativa.

Edit glazing - Trp LoE (e2=e5=.1) Clr 3mm/13mm Air		Edit glazing - Dbl LoE (e2=.1) Tint 6mm/13mm Arg		Edit glazing - Dbl LoE (e2=.2) Clr 3mm/13mm Air	
Glazing Data		Glazing Data		Glazing Data	
Layers	Calculated	Layers	Calculated	Layers	Calculated
Calculated Values		Calculated Values		Calculated Values	
Total solar transmission (SHGC)	0.474	Total solar transmission (SHGC)	0.373	Total solar transmission (SHGC)	0.691
Direct solar transmission	0.358	Direct solar transmission	0.284	Direct solar transmission	0.624
Light transmission	0.661	Light transmission	0.444	Light transmission	0.744
U-value (EN 673) (W/m2-K)	0.997	U-value (EN 673) (W/m2-K)	1.357	U-value (EN 673) (W/m2-K)	1.929
U-Value (W/m2-K)	0.982	U-Value (W/m2-K)	1.493	U-Value (W/m2-K)	1.960

Edit glazing - T6/CX10/T6		Edit glazing - Sgl Ref-D Tint 6mm	
Glazing Data		Glazing Data	
Layers	Calculated	Layers	Calculated
General		Calculated Values	
Name	T6/CX10/T6	Total solar transmission (SHGC)	0.467
Description		Direct solar transmission	0.301
Source	EnergyPlus dataset	Light transmission	0.251
Category	Single	U-value (EN 673) (W/m2-K)	5.664
Region	General	U-Value (W/m2-K)	5.720
Definition method			
Definition method	2-Simple		
Simple Definition			
Total solar transmission (SHGC)	0.777		
Light transmission	0.817		
U-Value (W/m2-K)	4.000		

Anexo 6 – Consumos energéticos para diferentes áreas de envidraçados e por orientação.

NE	SE	SO	NO	NE	SE	SO	COBERTURA	NE	SE	SO	COBERTURA	NE	SE	SO	COBERTURA	NE	SE	SO	COBERTURA	NE	SE	SO	COBERTURA	NAVE										EDIFÍCIO																														
ATran/A Opac	ATran/A Opac	ATran/A Opac	ATran/A Opac	Qsolar [MWh]	Qsolar [MWh]	Qsolar [MWh]	Qsolar [MWh]	A transparente / A opaca	A transparente / A opaca	A transparente / A opaca	A transparente / A opaca	A transparente / A opaca	A transparente / A opaca	A transparente / A opaca	A transparente / A opaca	A transparente / A opaca	A transparente / A opaca	A transparente / A opaca	A transparente / A opaca	A transparente / A opaca	A transparente / A opaca	A transparente / A opaca	A transparente / A opaca	A transparente / A opaca	A total	A total	A total	A total	% env	% env	% env	% env	Consumo total [MWh]	Consumo total [MWh]	Consumo total [MWh]	Consumo total [MWh]	Qsyst. [MWh] - NE	Qsyst. [MWh] - SE	Qsyst. [MWh] - SO	Qsyst. [MWh] - COBER	Q aq. [MWh] - NE	Q aq. [MWh] - SE	Q aq. [MWh] - SO	Q aq. [MWh] - COBER	Q arr. [MWh] - NE	Q arr. [MWh] - SE	Q arr. [MWh] - SO	Q arr. [MWh] - COBER	Consumo global elet. [MWh] - NE	Consumo global elet. [MWh] - SE	Consumo global elet. [MWh] - SO	Consumo global elet. [MWh] - COBER	Consumo global gás [MWh] - NE	Consumo global gás [MWh] - SE	Consumo global gás [MWh] - SO	Consumo global gás [MWh] - COBER	TOTAL [MWh] - NE	TOTAL [MWh] - SE	TOTAL [MWh] - SO	TOTAL [MWh] - COBER	Q arr. [MWh] - NE	Q arr. [MWh] - SE	Q arr. [MWh] - SO	Q arr. [MWh] - COBER
0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0	0	84	132	398	1703	0	0	0	0	230,3	230,3	230,3	230,3	0	0	0	0	230,3	230,3	230,3	230,3	230,30	230,30	230,30	230,30	216,40	216,40	216,40	216,40	-13,90	-13,90	-13,90	-13,90	225,55	225,55	225,55	225,55	805,59	805,59	805,59	805,59	1031,14	1031,14	1031,14	1031,14	13,90	13,90	13,90	13,90
0,04	0,03	0,01	0,00	0,9	2,3	1,5	3,4	0,04	0,03	0,01	0,00	3	3	3	4	8	12	125	391	1695	84	132	398	1703	14	5	2	0	230,68	229,5	229,86	229,12	230,68	229,50	229,86	229,12	216,40	215,13	215,80	214,21	-14,28	-14,37	-14,06	-14,91	225,72	226,10	225,62	227,34	805,58	803,47	804,59	801,94	1031,30	1029,57	1030,21	1029,28	14,28	14,37	14,06	14,91				
0,08	0,08	0,04	0,01	1,8	7,0	6,1	13,4	0,08	0,08	0,04	0,01	6	10	14	16	78	122	384	1687	84	132	398	1703	7	8	3	1	230,52	229,11	229,42	228,11	230,52	229,11	229,42	228,11	216,43	214,52	215,22	212,16	-14,09	-14,59	-14,20	-15,95	225,69	226,47	225,61	229,09	805,63	802,45	803,61	798,52	1031,32	1028,92	1029,22	1027,61	14,09	14,59	14,20	15,95					
0,27	0,11	0,04	0,02	5,4	9,3	9,1	26,9	0,27	0,11	0,04	0,02	18	14	17	32	66	118	381	1671	84	132	398	1703	21	10	4	2	230,93	228,747	229	226,37	230,93	228,75	229,00	226,37	216,51	213,93	214,66	208,14	-14,42	-14,82	-14,34	-18,23	225,87	226,86	225,87	233,74	805,77	801,47	802,69	791,83	1031,64	1028,33	1028,56	1025,57	14,42	14,82	14,34	18,23					
0,40	0,18	0,08	0,04	7,1	13,9	14,0	53,7	0,40	0,18	0,08	0,04	24	20	31	64	60	112	367	1639	84	132	398	1703	28	15	8	4	231,08	228,04	228,8	224,1	231,08	228,04	228,80	224,10	216,49	212,75	214,21	200,73	-14,59	-15,29	-14,59	-23,37	225,90	227,60	226,08	243,98	805,74	799,50	801,94	779,48	1031,64	1027,10	1028,02	1023,46	14,59	15,29	14,59	23,37					
0,55	0,26	0,10	0,08	8,9	18,6	16,5	107,4	0,55	0,26	0,10	0,08	30	27	37	128	54	105	361	1575	84	132	398	1703	36	21	9	8	231,31	226,75	228,76	223,56	231,31	226,75	228,76	223,56	216,55	211,58	214,05	187,89	-14,76	-15,17	-14,71	-35,67	226,07	228,39	226,24	269,89	805,84	797,55	801,67	758,06	1031,91	1025,94	1027,91	1027,95	14,76	15,17	14,71	35,67					
0,74	0,35	0,12	0,18	10,7	23,2	18,9	215,2	0,74	0,35	0,12	0,18	36	34	44	256	48	98	354	1447	84	132	398	1703	43	26	11	15	231,54	226,69	228,69	226,69	231,54	226,69	228,69	226,69	216,61	210,44	213,86	168,17	-14,93	-16,25	-14,83	-67,17	226,21	229,23	226,41	336,27	805,94	795,65	801,36	725,21	1032,15	1024,88	1027,77	1061,48	14,93	16,25	14,83	67,17					
0,99	0,45	0,15	0,29	12,5	27,8	21,3	323,0	0,99	0,45	0,15	0,29	42	41	51	384	42	91	347	1319	84	132	398	1703	50	31	13	23	231,77	226,07	228,62	256,39	231,77	226,07	228,62	256,39	216,67	209,32	213,67	153,66	-15,10	-16,75	-14,95	-102,73	226,31	230,07	226,47	407,13	806,03	793,79	801,03	701,01	1032,34	1023,86	1027,50	1108,14	15,10	16,75	14,95	102,73					
1,32	0,56	0,19	0,11	14,3	32,5	26,2	141,1	1,32	0,56	0,19	0,11	48	48	65	168	36	84	333	1535	84	132	398	1703	57	36	16	10	231,97	225,47	228,51	225,967	231,97	225,47	228,51	225,967	216,70	208,21	213,32	181,00	-15,27	-17,26	-15,19	-44,97	226,35	230,99	226,81	289,83	806,08	791,94	800,46	289,83	1032,43	1022,93	1027,27	579,66	15,27	17,26	15,19	44,97					
1,77	0,70	0,22	0,14	16,1	37,2	28,6	174,8	1,77	0,70	0,22	0,14	54	54	71	208	30	78	327	1495	84	132	398	1703	64	41	18	12	232,19	224,92	228,45	229,61	232,19	224,92	228,45	229,61	216,75	207,13	213,14	174,87	-15,44	-17,79	-15,31	-54,74	226,50	231,85	226,87	310,48	806,16	790,13	800,16	736,37	1032,66	1021,98	1027,03	1046,85	15,44	17,79	15,31	54,74					
2,45	1,06	0,24	0,07	17,9	46,5	31,0	87,3	2,45	1,06	0,24	0,07	60	68	78	104	24	64	320	1599	84	132	398	1703	71	52	20	6	232,41	223,83	228,41	223,2	232,41	223,83	228,41	223,2	216,80	204,97	212,98	192,35	-15,61	-18,86	-15,43	-30,85	226,70	233,79	226,94	259,60	806,25	786,53	799,89	765,50	1032,95	1020,32	1026,83	1025,10	15,61	18,86	15,43	30,85					
3,57	1,45	0,36	0,07	19,7	53,5	40,7	94,0	3,57	1,45	0,36	0,07	66	78	105	112	18	54	293	1591	84	132	398	1703	78	59	26	7	232,65	223,11	228,28	223,31	232,65	223,11	228,28	223,31	216,86	203,41	212,35	190,83	-15,79	-19,70	-15,93	-32,48	226,91	235,20	227,37	262,97	806,36	783,94	798,83	762,97	1033,27	1019,14	1026,20	1025,94	15,79	19,70	15,93	32,48					
5,78	1,99	0,46	0,05	21,4	60,3	48,0	70,5	6	1,99	0,46	0,05	72	88	126	84	12	44	272	1619	84	132	398	1703	85	67	32	5	232,89	222,39	228,23	223,316	232,89	222,39	228,23	223,316	216,92	201,85	211,92	196,36	-15,97	-20,54	-16,31	-26,96	227,01	236,83	227,71	251,37	806,45	781,33	798,12	772,18	1033,46	1018,16	1025,83	1023,55	15,97	20,54	16,31	26,96					
12,06	2,54	0,62	0,33	23,2	65,1	64,4	356,7	12	2,54	0,62	0,33	78	95	153	424	6	37	245	1279	84	132	398	1703	92	72	38	25	233,13	221,84	227,02	264,27	233,13	221,84	227,02	264,27	216,98	200,71	208,95	149,86	-16,15	-21,13	-18,07	-114,41	227,51	237,95	231,02	430,09	806,63	779,44	793,17	694,69	1034,14	1017,39	1024,19	1124,78	16,15	21,13	18,07	114,41					
179,87	3,29	0,83	0,37	25,2	69,7	80,7	390,4	180	3,29	0,83	0,37	84	101	180	464	0	31	218	1239	84	132	398	1703	99	77	45	27	233,38	221,48	226,12	272,60	233,38	221,48	226,12	272,60	217,03	199,77	206,20	146,32	-16,35	-21,71	-19,92	-126,28	238,96	234,51	452,87	777,86	788,59	688,78	0,00	1016,82	1023,10	1141,65	16,35	21,71	19,92	126,28							
0,00	5,40	0,72	0,42	76,9	72,5	424,1	0,00	5,40	0,72	0,42	0	111	167	504	84	21	231	1199	84	132	398	1703	0	84	42	30	0	220,89	226,54	281,34	0	220,89	226,54	281,34	0	198,24	207,55	143,07	0	-22,65	-18,99	-138,27	240,77	232,00	475,62	775,33	790,84	683,37	0,00	1016,10	1022,84	1158,99	0,00	22,65	18,99	138,27								
0,00	34,48	1,09	0,58	89,0	97,1	525,2	0,00	34	1,09	0,58	0	128	207	624	84	4	191	1079	84	132	398	1703	0	97	52	37	0	220,03	225,43	309,76	0	220,03	225,43	309,76	0	201,12	127,16	0	0	-24,28	-21,85	-174,87	243,88	238,25	543,59	771,16	784,21	669,74	0,00	1015,04	1022,46	1213,33	0,00	24,28	21,85	174,87								
0,00	0,00	1,44	0,82	113,5	646,5	0,00	0,00	1,44	0,82	0	0	235	768	84	132	163	935	84	132	398	1703	0	0	59	45	0	0	224,99	345,85	0	0,00	224,99	345,85	0	0,00	201,12	127,16	0	0	-23,87	-218,69	242,12	622,69	780,13	656,86	0,00	0,00	1022,25	1279,55	0,00	0,00	23,87	218,69											
0,00	0,00	1,78	3,03	124,1	1077,8	0,00	0,00	1,78	3,03	0	0	255	1280	84	132	143	423	84	132	398	1703	0	0	64	75	0	0	224,91	473,40	0	0,00	224,91	473,40	0	0,00	199,86	109,37	0	0	-25,05	-364,03	244,30	841,20	778,01	627,19	0,00	0,00	1022,31	1468,39	0,00	0,00	25,05	364,03											
0,00	0,00	2,08	9,44	130,5	1296,8	0,00	0,00	2,08	9,44	0	0	269	1540	84	132	129	163	84	132	398	1703	0	0	68	90	0	0	225,14	521,75	0	0,00	225,14	521,75	0	0,00	199,35	104,45	0	0	-25,79	-417,30	245,59	957,52	777,17	619,00	0,00	0,00	1022,76	1576,52	0,00	0,00	25,79	417,30											
0,00	0,00	2,31	22707	137,1	1431,4	0,00	0,00	2,31	22707	0	0	278	1703	84	132																																																	