

**UNIVERSIDADE DO MINHO**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**RELAÇÃO DOS CONSUMOS ENERGÉTICOS DOS EDIFÍCIOS DE  
HABITAÇÃO COM AS EMISSÕES DO CICLO DE PRODUÇÃO  
DAS SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS.**

**ORIENTADOR CIENTÍFICO**

**PROFESSOR DOUTOR LUÍS MANUEL BRAGANÇA DE MIRANDA E LOPES**

**DISSERTAÇÃO APRESENTADA A UNIVERSIDADE DO MINHO,  
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE  
EM ENGENHARIA CIVIL**

**CARLOS EDUARDO REGADAS PESSOA**

**JANEIRO DE 2009**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por ter dado a força necessária para que o trabalho fosse realizado.

Ao Professor Doutor Luís Bragança, pela disponibilidade em ajudar.

Aos meus pais que, com a força do pensamento, minimizaram a distância e me encheram de força, principalmente nos momentos mais fustigantes.

À minha mulher e à minha filha pois, sem o amor e a amizade delas, seria impossível realizar este trabalho.

## RESUMO

A sustentabilidade é um conceito que começa a permear todas as linhas de pensamento da nossa sociedade. O sector da construção civil, principalmente pelo facto de ser um dos que maior impacto causa à sustentabilidade do nosso planeta, não poderia ficar fora das alterações de comportamento que visam tornar a nossa sociedade, como um todo, mais sustentável.

Porém, a grande problemática desta questão são os paradigmas que definem cada actividade nossa. No caso da actividade profissional da construção civil, estes paradigmas são ainda mais vinculados pelo facto do segmento ser, ainda em grande parte, um sector manufactureiro que emprega muita mão-de-obra pouco qualificada. O facto de alguns materiais e algumas formas construtivas serem paradigmáticos dificulta a evolução do sector no sentido de implementar práticas novas que possam tornar este segmento da sociedade menos impactante ao planeta.

Para sensibilizar o sector quanto à questão da sustentabilidade é necessário focar na questão económica, visto ser este um dos grandes paradigmas do sector. Ou seja, usar o paradigma dos lucros excessivos com o objectivo de atingir melhores desempenhos ambientais e sociais. Para tal, é preciso mudar o paradigma da dimensão tempo, pois só o alargamento do horizonte de análise tornará possível que soluções sustentáveis apresentem resultados económicos mais favoráveis.

Por outro lado, a nossa sociedade atravessa, neste momento, a crise da necessidade de mudar o seu paradigma energético. Isso, em parte, facilita a implantação de práticas mais sustentáveis no sector da construção, visto serem as edificações responsáveis por mais de um quarto de todo consumo energético actual.

Neste contexto, o presente trabalho baseia o seu objectivo de estudo em comparações das performances de soluções construtivas, soluções ortodoxas e inovadoras, com ênfase para as vertentes ambientais e económicas, levando em conta o tempo de vida útil da edificação.

## **Abstract**

The sustainability is a concept that is beginning to permeate the entire line of thought in our society. The civil construction sector, mainly because it is one that will cause greater impact to the sustainability of our planet, could not be left out of the changes in behaviour aimed at making our society as a whole, more sustainable.

But the big problem of this issue are the paradigms that define our every activity. In the case of activity on civil construction, these paradigms are even more pronounced because of the segment is still in large part, a manufacturing sector that employs many labour-low qualifications. The fact that some materials and some constructive ways paradigmatic be difficult in the sector to implement new practices that can make this segment of society least impacting the planet.

To sensitize the industry on the issue of sustainability is necessary to focus on the economic issue, since this is a major sector of the paradigms. That is, use the paradigm of excessive profits in order to achieve better environmental and social performance. This requires us to change the paradigm of time dimension, because only the enlargement of the horizon of analysis will make possible sustainable solutions that have more favourable economic results.

Furthermore, our society through at the moment, the crisis of the need to change the energy paradigm. That, in part, facilitates the deployment of more sustainable practices in the construction sector, since the buildings are responsible for more than a quarter of all current energy consumption.

In this context, the present work based on its goal of study in comparisons of the performance of constructive solutions, Orthodox and innovative solutions, with emphasis on the environmental and economic dimensions, taking into account the life of the building.

## ÍNDICE

1 ENQUADRAMENTO DA DISSERTAÇÃO	3
<b>1.1 Introdução</b>	<b>3</b>
<b>1.2 Fundamentos</b>	<b>4</b>
<b>1.3 Objectivos</b>	<b>4</b>
<b>1.4 Organização</b>	<b>5</b>
2 SUSTENTABILIDADE	9
<b>2.1 Conceito</b>	<b>9</b>
<b>2.2 Desenvolvimento sustentável</b>	<b>10</b>
<b>2.3 Construção sustentável.</b>	<b>37</b>
2.3.1 Eficiência do edifício.	37
3 PANORAMA ENERGÉTICO MUNDIAL	57
<b>3.1 Energia</b>	<b>57</b>
3.1.1 Segurança	57
3.1.2 Protecção ao meio ambiente	58
3.1.3 Garantia de desenvolvimento	63
<b>3.2 Produção</b>	<b>63</b>
<b>3.3 Consumo</b>	<b>69</b>
<b>3.4 Panorama da construção civil</b>	<b>74</b>
4 ARQUITETURA, CLIMA E CONFORTO	79
<b>4.1 Arquitectura e clima</b>	<b>79</b>
4.1.1 Histórico da arquitectura	79
4.1.2 Arquitectura bioclimática	81
<b>4.2 Variáveis climáticas</b>	<b>87</b>
4.2.1 Atmosfera terrestre	87
4.2.2 Radiação solar	89
4.2.2.1 Distribuição da radiação	91
4.2.3 Balanço energético do planeta.	92

4.2.4	Temperatura do ar	94
4.2.5	Circulação atmosférica	97
4.2.6	Circulação oceânica	100
4.2.6.1	Circulação termohalina.	101
4.2.6.2	Circulação induzida pelo vento:	103
<b>4.3</b>	<b>Condições de conforto</b>	<b>103</b>
4.3.1	Mecanismo de regulação térmica do corpo humano	104
4.3.2	Balanço energético	108
4.3.3	Cálculo da temperatura de conforto	109
4.3.4	Equações da abordagem adaptativa	112
<b>4.4</b>	<b>Relação entre arquitectura e consumo energético</b>	<b>115</b>
4.4.1	Estratégias para a estação fria:	116
4.4.1.1	Minimizar a condução (isolamento e factor de forma)	116
4.4.1.1.1	Reduzir a diferença de temperatura entre o ambiente interior e o meio exterior.	118
4.4.1.1.2	Reforçar a resistência térmica da envolvente.	118
4.4.1.1.2.1	Controlo da condução nos vãos envidraçados.	119
4.4.1.1.2.2	Controlo da condução na envolvente vertical opaca.	119
4.4.1.1.2.3	Controlo da condução na cobertura.	120
4.4.1.1.2.4	Controlo da condução em pavimentos.	121
4.4.1.1.3	Redução da área da envolvente.	121
4.4.1.2	Minimizar a infiltração.	122
4.4.1.3	Promover ganhos solares: (Captação solar e massa térmica).	124
4.4.2	Estratégias para a estação quente:	129
4.4.2.1	Minimizar a condução (inércia térmica)	129
4.4.2.2	Promover a condução ( earth cooling)	135
4.4.2.3	Minimizar a convecção (Proteger do vento)	137
4.4.2.4	Promover a convecção (ventilação) :	138
4.4.2.5	Minimizar os ganhos solares (protecção solar)	144
4.4.2.6	Promover o arrefecimento radiativo.	148
4.4.2.7	Promover o arrefecimento evaporativo:	150
<b>4.5</b>	<b>Comportamento do edifício:</b>	<b>153</b>
<b>5 ELEMENTOS CONSTRUTIVOS FUNDAMENTAIS NO CONSUMO</b>		
<b>ENERGÉTICO</b>		
		157
<b>5.1</b>	<b>Análise do RCCTE.</b>	<b>157</b>
5.1.1	Necessidades anuais de aquecimento.	158
5.1.1.1	Perdas por condução	159
5.1.1.2	Perdas por convecção	160

5.1.1.3	Ganhos térmicos _____	161
5.1.2	Necessidades anuais de arrefecimento. _____	163
5.1.2.1	Ganhos pela envolvente opaca _____	164
5.1.2.2	Ganhos através dos envidraçados _____	164
5.1.2.3	Perdas por ventilação _____	165
5.1.2.4	Ganhos internos _____	165
5.1.3	Necessidades de energia para preparação de águas quentes sanitárias _____	166
5.1.4	Necessidades globais de energia primária _____	167
<b>5.2</b>	<b>Definição de possíveis vulnerabilidades de projecto: _____</b>	<b>168</b>
<b>5.3</b>	<b>Definição dos elementos construtivos fundamentais ao consumo _____</b>	<b>170</b>
<b>6</b>	<b>COMPARAÇÃO DAS SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS _____</b>	<b>177</b>
<b>6.1</b>	<b>Simulação das soluções construtivas. _____</b>	<b>177</b>
6.1.1	Estudo de performance _____	178
6.1.1.1	Escolha da melhor envolvente vertical opaca: _____	178
6.1.1.2	Estudo sobre a localização _____	180
6.1.1.3	Alteração das características construtivas da cobertura _____	182
6.1.1.4	Alteração da classe dos caixilhos _____	184
6.1.1.5	Alteração das características físicas dos vãos envidraçados. _____	185
6.1.1.6	Alteração da localização dos vãos envidraçados _____	188
6.1.1.7	Conclusões do estudo _____	189
<b>6.2</b>	<b>Estudo de sustentabilidade da envolvente vertical opaca _____</b>	<b>189</b>
6.2.1	Estudo ambiental _____	189
6.2.1.1	Impactos da Solução 1 _____	190
6.2.1.1.1	Impactos do Poliestireno _____	190
6.2.1.1.2	Impactos do betão _____	191
6.2.1.1.3	Impactos do reboco. _____	191
6.2.1.1.4	Impactos globais da solução construtiva por unidade funcional _____	192
6.2.1.2	Impactos da Solução 2 _____	193
6.2.1.2.1	Impactos do tijolo cerâmico de 0.22m de espessura. _____	193
6.2.1.2.2	Impactos da argamassa de assentamento _____	194
6.2.1.2.3	Impactos globais da solução construtiva por unidade funcional _____	195
6.2.1.3	Impactos da Solução 3 _____	196
6.2.1.3.1	Impactos globais da solução construtiva por unidade funcional. _____	197
6.2.1.4	Impactos da Solução 4 _____	198
6.2.1.4.1	Impactos da estrutura em aço enformado a frio. _____	199
6.2.1.4.2	Impactos da lã de rocha _____	199
6.2.1.4.3	Impactos da placa OSB _____	200

6.2.1.4.4 Impactos da placa de gesso cartonado	200
6.2.1.4.5 Impactos globais da solução construtiva por unidade funcional.	201
6.2.1.5 Normalização dos impactos.	202
6.2.2 Estudo económico	208
6.2.2.1 Custos de ciclo de vida das soluções.	208
6.2.2.1.1 Custos dos ciclos de vida das unidades funcionais das soluções.	208
6.2.2.1.2 Custos Globais do ciclo de vida.	211
6.2.2.2 Custos das soluções inseridas na moradia.	211
6.2.2.3 Custos totais	212
6.2.3 Estudos sociais	213
6.2.4 Performance global	214
<b>7 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS</b>	<b>219</b>
<b>7.1 Conclusões</b>	<b>219</b>
<b>7.2 Perspectivas futuras</b>	<b>221</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>223</b>
<b>SITES</b>	<b>229</b>

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Sequestro de carbono _____	14
Tabela 2: Equivalência para o potencial aquecimento global (BEES 4.0) _____	23
Tabela 3: Equivalência para o potencial de acidificação (BEES 4.0) _____	24
Tabela 4: Equivalência para o potencial de eutrofização (BEES 4.0) _____	25
Tabela 5: Equivalência ao índice de degradação combustíveis fósseis (BEES 4.0) ____	26
Tabela 6: Equivalência ao índice de alteração ao habitat (BEES 4.0) _____	28
Tabela 7: Equivalência ao índice de poluição do ar (BEES 4.0) _____	29
Tabela 8: Equivalência ao impacto à saúde humana (BEES 4.0) _____	30
Tabela 9: Equivalência ao potencial de formação de smog (BEES 4.0) _____	31
Tabela 10: Equiv. ao potencial de degradação da camada de ozônio (BEES 4.0) ____	32
Tabela 11: Equivalência ao índice de tox. Ecológica (BEES 4.0) _____	33
Tabela 12: Normalização dos impactos (BEES 4.0) _____	34
Tabela 13: Cinco maiores emissores de CO <sub>2</sub> e suas projecções (WEO 2007) ____	62
Tabela 14: Albedo de algumas superfícies, fonte AYOADE 1998. _____	92
Tabela 15: Actividade metabólica (ASHRAE 1997) _____	104
Tabela 16: Isolamento do vestuário (McCullough and Jones) _____	105
Tabela 17: Escala do modelo PMV _____	108
Tabela 18: Planilha de Mahoney para os limites confortáveis de temperatura ____	112
Tabela 19: Estratégias bioclimáticas _____	115
Tabela 20: Intervalo de condutibilidade das classes de materiais _____	118
Tabela 21: Coeficientes de absorção das radiações solar e secundária _____	126
Tabela 22: Difusividade de alguns materiais _____	130
Tabela 23: Simulação energética para diferentes soluções de envolvente opaca. ____	179
Tabela 24: Simulação para diferentes localizações. _____	181
Tabela 25: Simulações de cobertura (envolvente vertical STEEL FRAME). ____	183
Tabela 26: Simulação para a variação da classe do caixilho. _____	184
Tabela 27: Simulação para diferentes soluções de vãos envidraçados. _____	185
Tabela 28: Simulação em função da localização dos vãos envidraçados. ____	188
Tabela 29: Impactos do poliestireno. _____	190
Tabela 30: Impactos do betão. _____	191

Tabela 31: Impactos do reboco. _____	192
Tabela 32: Impactos solução 1 _____	192
Tabela 33: Impactos tijolo. _____	194
Tabela 34: Impactos argamassa de assentamento. _____	194
Tabela 35: Impactos globais solução 2. _____	195
Tabela 36: Impactos globais solução 3. _____	197
Tabela 37: Impactos estrutura em aço enformado a frio. _____	199
Tabela 38: Impactos lâ de rocha. _____	199
Tabela 39: Impactos placa OSB. _____	200
Tabela 40: Impactos placa de gesso cartonado. _____	200
Tabela 41: Impactos globais solução 4 _____	201
Tabela 42: Pesos dos impactos. _____	203
Tabela 43: Normalização dos impactos, fonte BEES 4.0 _____	203
Tabela 44: Pontuação ambiental solução 1 _____	204
Tabela 45: Pontuação ambiental solução 2 _____	205
Tabela 46: Pontuação ambiental solução 3 _____	206
Tabela 47: Pontuação ambiental solução 4. _____	206
Tabela 48: Custo da unidade funcional da solução 1. _____	209
Tabela 49: Custo da unidade funcional da solução 2. _____	209
Tabela 50: Custo da unidade funcional da solução 3. _____	209
Tabela 51: Custo da unidade funcional da solução 4. _____	210
Tabela 52: Custos globais de ciclo de vida. _____	211
Tabela 53: Custo total de performance. _____	212
Tabela 54: Custos globais das soluções. _____	212
Tabela 55: Normalização dos impactos ambientais e económicos. _____	215
Tabela 56: Pontuação global das soluções. _____	215

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Detalhe do revestimento de fachada do SHIODOME TOWER _____	42
Figura 2: Detalhe do pátio interno do SHIODOME TOWER _____	42
Figura 3: Detalhe interior dos caixilhos do edifício da companhia BORDO. _____	44
Figura 4: Detalhe da fachada e sombreadores do edifício da companhia BORDO. __	44
Figura 5: Perspectiva exterior do edifício da companhia BORDO. _____	45
Figura 6: Sombreadores verticais do centro automotivo da KANGAN BATMAN. __	47
Figura 7: Vista de espaço interior do centro automotivo da KANGAN BATMAN __	47
Figura 8: Painéis solares do centro automotivo da KANGAN BATMAN. _____	48
Figura 9: Cobertura sombreando fachada do centro automotivo KANGAN BATMAN. _____	48
Figura 10: Perspectiva exterior do centro automotivo da KANGAN BATMAN. ____	49
Figura 11: Esquema de funcionamento do sistema BATISO. _____	49
Figura 12: Fachada do The Blazer Theater at Herren`s _____	51
Figura 13: Painéis fotovoltaicos para produção de energia no COLORADO COURT. 52	
Figura 14: Esboço da perspectiva exterior do COLORADO COURT. _____	52
Figura 15: Mapa das emissões mundiais. _____	62
Figura 16: Mapa da produção energética mundial. _____	64
Figura 17: Mapa da produção energética da América do Norte. _____	65
Figura 18: Mapa da produção energética da América do Sul. _____	65
Figura 19: Mapa da produção energética do Oriente Médio. _____	66
Figura 20: Mapa da produção energética da África. _____	67
Figura 21: Mapa da produção energética da Europa. _____	68
Figura 22: Mapa da produção energética da Ásia. _____	69
Figura 23: Mapa mundial do consumo de energia primária. _____	70
Figura 24: Mapa do consumo de energia primária na América do Norte. _____	71
Figura 25: Mapa do consumo de energia primária na América do Sul. _____	71
Figura 26: Mapa do consumo de energia primária na Europa. _____	72
Figura 27: Mapa do consumo de energia primária na África. _____	72
Figura 28: Mapa do consumo de energia primária no Oriente Médio. _____	73
Figura 29: Mapa do consumo de energia primária na Ásia. _____	74

Figura 30: Pueblo de Taos, Novo México Estados Unidos.	82
Figura 31: Casa vernacular da Dinamarca.	83
Figura 32: Habitação troglodita chinesa.	83
Figura 33: Habitação Beribere da Tunísia.	84
Figura 34: Habitação Beribere da Tunísia.	84
Figura 35: Carta bioclimática de OLGYAY.	85
Figura 36: Carta bioclimática para edifícios, adaptada por GIVONI(WATSON).	86
Figura 37: Movimento de translação terrestre.	90
Figura 38: Distribuição da radiação solar.	91
Figura 39: Modelo de circulação atmosférica.	97
Figura 40: Circulação oceânica esquematizada pela NASA.	101
Figura 41: Mapa da transmissão de calor pela circulação termohalina, em PETA W.	102
Figura 42: Valor médio do factor de forma entre uma pessoa sentada e a superfície próxima, por Fanger.	110
Figura 43: Diagrama psicrométrico de temperatura de conforto.	111
Figura 44: Esquema de transmissão de calor numa superfície.	117
Figura 45: Esquema construtivo da cobertura plana invertida.	121
Figura 46: Factor de forma de figuras geométricas em função da dimensão.	122
Figura 47: Balanço térmico de um local num edifício.	124
Figura 48: Esquema de ganhos solares.	127
Figura 49: Sistema de protecção para evitar ganhos solares no verão.	129
Figura 50: Variação da onda de calor.	129
Figura 51: Esquema de inércia térmica conforme isolamento.	132
Figura 52: Comportamento do fluxo de calor, diurno e nocturno.	133
Figura 53: Habitação de inércia mista.	133
Figura 54: Pontos críticos das construções enterradas.	136
Figura 55: Pontos críticos das construções enterradas.	136
Figura 56: Corte transversal das moradias “ SEWARD TOWN HOUSES”.	137
Figura 57: Efeitos aerodinâmicos.	138
Figura 58: Interferência dos elementos na aerodinâmica da habitacional.	140
Figura 59: Interferência de deflectores na ventilação.	140
Figura 60: Gráfico de determinação do facto C e corte transversal esquemático.	141
Figura 61: Chaminé solar.	142
Figura 62: Ventoinha de tecto.	143

Figura 63: Sistema misto de ventilação. _____	143
Figura 64: Uso de sombreamento com árvores de folhas caducas. _____	145
Figura 65: Radiação incidente em Lisboa nos meses de Janeiro e Junho. _____	146
Figura 66: Esquema de transmissão de energia no plano de uma superfície em vidro. _____	147
Figura 67: Esquema do sistema SKYTHERM. _____	150
Figura 68: Pormenor de uma torre de ventilação "badger". _____	152
Figura 69: Combinação de "malkaf" e "shuksheika" seg. Hassan Fathy. _____	152
Figura 70: Carta adaptada de WATSON. _____	154

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Produção de CO <sub>2</sub> em relação ao PIB dos países. _____	60
Gráfico 2: Produção de CO <sub>2</sub> per capita. _____	60
Gráfico 3: Emissões por sector na economia mundial. _____	61
Gráfico 4: Temperatura de conforto para as diversas hipóteses em climas diferentes. _____	114
Gráfico 5: Factor solar dos vãos envidraçados. _____	148
Gráfico 6: Crescimento das necessidades de energia primária. _____	180
Gráfico 7: Comportamento das soluções em função do local. _____	182
Gráfico 8: Necessidade energética x eficiência térmica da coberta. _____	183
Gráfico 9: Classe do caixilho x consumo. _____	184
Gráfico 10: Consumo x solução dos vãos envidraçados. _____	186
Gráfico 11: Performance em função do posicionamento dos vãos envidraçados. _____	188
Gráfico 12: Pontuação ambiental solução 1 _____	204
Gráfico 13: Pontuação ambiental solução 2 _____	205
Gráfico 14: Pontuação ambiental solução 3. _____	206
Gráfico 15: Pontuação ambiental solução 4. _____	207
Gráfico 16: Comparativo das pontuações ambientais das soluções. _____	207
Gráfico 17: Comparação dos custos de ciclo por unidade funcional. _____	201
Gráfico 18: Custos globais das soluções. _____	213
Gráfico 19: Pontuação Global das Soluções _____	215

## **CAPÍTULO 1 - ENQUADRAMENTO DA DISSERTAÇÃO**



# 1 ENQUADRAMENTO DA DISSERTAÇÃO

## 1.1 Introdução

A questão da sustentabilidade é a grande problemática com que a humanidade se depara nos nossos dias. Isto porque, por um lado, está em causa a própria perpetuação da nossa espécie, tal como somos hoje. E, por outro, a mudança de muitos dos nossos paradigmas de vida, com o objectivo de termos uma postura sustentável em relação ao planeta.

O facto da sociedade ocidental ter focado a sua felicidade no consumo gerou um desequilíbrio ambiental brutal. Isto porque o homem, hoje, consome muito mais do que a terra tem capacidade de regenerar.

Um facto importante vem ocorrendo nos últimos anos. A sociedade começa a ter a consciência de estar vivendo uma situação insustentável e, em muitos casos já vem colocando em prática algumas atitudes que vão de encontro a uma forma de vida mais sustentável.

Claro que a mudança não é fácil, principalmente no universo da sustentabilidade, pois mexe com paradigmas de vida. Pressupostos muitas vezes de toda uma vida e que em muitos casos são considerados intocáveis.

O ritmo a que o estado de coisas vem mudando ainda é baixo. Mas, além de trabalhar para que ele seja acelerado, é também preciso ter uma visão optimista que contribua para a aceleração das mudanças que possam ir de encontro a um mundo mais sustentável.

No que toca à construção, esta consciência de mudança é ainda mais lenta. Apesar de ser premente a mudança, visto que até mesmo as matérias-primas utilizadas hoje na construção se encontram em risco de extinção.

É de fundamental importância a incorporação do conceito de sustentabilidade em toda cadeia de produção, manutenção, uso e desconstrução da indústria da construção, haja

vista ser uma indústria de alto impacto ambiental. Não só na fase de construção do seu produto final (as obras de engenharia), como também por este produto apresentar um alto consumo durante o seu ciclo de vida.

## 1.2 Fundamentos

Este trabalho pretende ser um contributo como orientação para o estudo de estratégias a adoptar na construção civil, com o intuito de buscar soluções que apresentem custos ambientais, sociais e económicos mais equilibrados que os actuais.

O consumo de energia no sector dos edificios em Portugal está a aumentar a uma taxa de 7% ao ano e, além disso, este sector apresenta um desperdício de energia de cerca de 1000 Milhões de Euros por ano. Estes factos, como também a questão da maioria dos edificios existentes em Portugal terem área inferior a 1000 m<sup>2</sup>, foram fundamentais para a motivação deste trabalho.

De entre os elementos construtivos de uma edificação, a envolvente vem a ser o que mais influência tem para determinar os consumos energéticos demandados por uma habitação. O presente trabalho, então, foi centrado neste elemento, com um enfoque primordial para a envolvente vertical opaca. Este enfoque deveu-se ao facto de este ser o elemento de maior rigidez evolutiva de entre todos os elementos da construção civil.

## 1.3 Objectivos

O objectivo deste trabalho é a comparação, quanto à sustentabilidade, entre soluções construtivas da envolvente vertical opaca. A comparação será feita através de pontuação de sustentabilidade para cada uma das soluções estudadas. Esta pontuação será dividida em: pontuação ambiental e pontuação económica. Será feito, também, um estudo sócio cultural para as diferentes pontuações. Não com o objectivo de pontuação, mas como elemento de reflexão sobre impactos sociais que alguma opção possa vir a gerar.

Para tal, foi necessário primeiro enquadrar a importância energética e o aspecto fundamental que a arquitectura desempenha nesse contexto. Isso com o objectivo de situar a problemática da sustentabilidade na construção civil. Para que fosse possível

recolher dados e simular desempenho foi necessário recorrer a algumas ferramentas de apoio e reconhecimento da sustentabilidade desenvolvidas em diversos países.

#### 1.4 Organização

O trabalho desenvolvido encontra-se organizado em oito capítulos. Assim, no presente capítulo, “Enquadramento do Dissertação”, é feita uma primeira abordagem ao tema na introdução. Em seguida são apresentadas as justificações que motivaram o tema e, por último, os objectivos a que o trabalho se propõe.

No segundo capítulo “Sustentabilidade”, é abordado o conceito de sustentabilidade, onde é feito um enfoque ao desenvolvimento sustentável. É desenvolvido o tema da sustentabilidade na construção, com ênfase para as soluções sustentáveis utilizadas em diversas construções inovadoras através do planeta.

No âmbito do terceiro capítulo, intitulado “Panorama Energético Mundial”, é trabalhado o conceito de energia bem como a sua produção e o seu consumo a nível mundial. É feito, também, um enquadramento do panorama energético na construção.

O quarto capítulo traz o tema da “Arquitectura Clima e Conforto”. Nesse capítulo é traçada a evolução da arquitectura mundial. É dado um enfoque muito especial à arquitectura bioclimática, com ênfase nas suas estratégias. É abordada a questão das variáveis climáticas e do conforto ambiental.

No quinto capítulo “ Elementos Construtivos Fundamentais no Consumo Energético”, é feita uma análise detalhada ao RCCTE, com o objectivo de caracterizar a importância dos elementos construtivos para o consumo energético de uma edificação.

O sexto capítulo “Comparação das Soluções Construtivas”, faz as simulações de consumos das diversas soluções construtivas de envolvente opaca. Faz um comparativo de performance entre os outros elementos da envolvente exterior e, por fim, faz a análise de sustentabilidade das soluções de envolvente opaca.

No sétimo capítulo “Conclusões e Perspectivas Futuras”, são apresentadas as conclusões do estudo e perspectivadas as alternativas para o futuro da construção, dentro do contexto da sustentabilidade.

## **CAPÍTULO 2 - SUSTENTABILIDADE**



## 2 SUSTENTABILIDADE

### 2.1 Conceito

O planeta Terra está a sofrer, é fácil perceber pela forma e velocidade com que acontecem as alterações climáticas. É verdade que este facto não é inédito, mas ocorreu por causa externa ao planeta, o impacto de um grande asteróide na superfície da terra. Asteróide esse, que infelizmente, como cita Al Gore<sup>1</sup>, dessa vez somos nós. Não estamos a caminha no sentido correcto, é preciso olhar o que nos rodeia com uma visão global e que incorpore a dimensão “tempo” na análise das mudanças.

Essa preocupação leva-nos a reflectir sobre conceitos que antes não eram abordados como questões fundamentais. Valores como o bem-estar e até mesmo a perpetuidade da humanidade tal como existe actualmente estão em risco de se alterarem negativamente. Para que tais valores se perpetuem é fundamental pensar na sustentabilidade do planeta. A sustentabilidade é um conceito sistémico, ou seja interdisciplinar, baseado nos pressupostos da simplicidade, da estabilidade e da objectividade, que actuam em conjunto a fim de simplificar o objecto em estudo (dimensão da simplicidade) para conhecê-lo ou saber como funciona (dimensão da estabilidade) tal como ele é na realidade (dimensão da objectividade). O conceito está intimamente relacionado com a perpetuidade dos aspectos económicos, sociais, culturais e ambientais da sociedade.

A sustentabilidade propõe-se a ser um meio de configurar a civilização e actividades humanas, de tal forma que a sociedade, os seus membros e as suas economias possam preencher suas necessidades e expressar o seu maior potencial no presente e, ao mesmo tempo, preservar a biodiversidade e os ecossistemas naturais, para as gerações futuras. Qualquer actividade humana precisa ser planeada com uma visão holística do universo em que está inserida e só pode ser classificada como sustentável se apresentar resultados que sejam ecologicamente correctos, economicamente viáveis, socialmente justos e culturalmente aceites. Quando estes aspectos são alcançados com sucesso estamos na presença de um processo que primou por ser sustentável.

A sustentabilidade abrange todos os níveis de organização desde a nossa vizinhança até ao planeta inteiro e é fundamental, mais uma vez, usarmos do pressuposto sistémico da

---

<sup>1</sup> Al Gore ex vice-presidente Americano no seu livro “Uma Verdade Inconveniente” 2006

simplicidade com a finalidade de conseguirmos uma hierarquia de medidas para que seja abrangido tanto o nível mais próximo de nós quanto a sustentabilidade global que nada mais é que a soma de pequenos actos sustentáveis.

## 2.2 Desenvolvimento sustentável

O sentimento de que era necessário fazer algo que alterasse a nossa forma de agir em relação ao meio ambiente passou a ser um sentimento comum a partir do momento em que foi tomada a consciência sobre o esgotamento dos recursos naturais. Este processo é desencadeado com a crise petrolífera dos anos Setenta do século passado. A partir de então o debate vem à tona. Em 1968 é fundado pelo industrial e académico Italiano Aurélio Peccei e pelo cientista escocês Alexander King, o **CLUBE de ROMA**, grupo de estudo do qual faziam parte pessoas ilustres que começaram a debater um vasto conjunto de assuntos relacionados com a política, economia internacional e, sobretudo, o meio ambiente<sup>2</sup>. Em 1972 o grupo torna-se bastante conhecido em função da publicação por parte do MIT (Instituto Tecnológico de Massachusetts), que fora contratado pelo clube, de um relatório intitulado **Os Limites do Crescimento**<sup>3</sup>. A publicação vendeu mais de 30 milhões de exemplares sendo, até ao presente, o livro sobre ambiente mais vendido do mundo. O referido relatório tratava de problemas cruciais para o futuro desenvolvimento da sociedade tais como: energia, poluição, saneamento, saúde, ambiente, tecnologia, crescimento populacional entre outros. O MIT utilizou modelos matemáticos e chegou à conclusão que o planeta não suportaria o crescimento populacional em função da pressão que geraria sobre os recursos naturais e energéticos, mesmo levando em consideração o avanço das tecnologias.

Em 1972 em resultado da conferência sobre ambiente patrocinada pela ONU<sup>4</sup> em Estocolmo, surgem os primeiros conceitos que indicavam para a poluição ser um sintoma e não a causa do problema ambiental.

Esta reflexão indiciou que era necessário ter-se uma visão globalizada do problema, mostrou a necessidade de ser fundamental a participação das instituições governamentais e também das não governamentais nas questões do ambiente bem como

---

<sup>2</sup> Historial do clube de Roma, Segundo a sua pagina na internet [www.clubofrome.org](http://www.clubofrome.org)

<sup>3</sup> Meadows et al. – “The limits of growth” – Universe Books. Nova York, 1972

<sup>4</sup> Organização da Nações Unidas.

da necessidade de existir uma relação mais próxima entre os especialistas e o grande público. Estes avanços culminam em 1987 com a divulgação do relatório de Brundtland obra intitulada “ O Nosso Futuro Comum”<sup>5</sup>, que foi desenvolvida por uma comissão patrocinada pela Organização das Nações unidas, e que implementa o conceito de desenvolvimento sustentável como sendo;

**“Desenvolvimento sustentável é aquele que satisfaz as necessidades presentes sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades”**. Em 1992, na Eco 92<sup>6</sup> realizada no Rio de Janeiro, é formulada a Agenda XXI, onde é colocado o ambiente no cerne da economia. O debate mostra a relação intrínseca entre os problemas ambientais e os socio-institucionais, como também reforça as dimensões políticas e geoestratégicas da questão ambiental. Neste evento foi emitido o documento Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as mudanças climáticas (CQNUMC, ou UNFCCC em inglês).

Em consequência de uma série de eventos iniciados com a Toronto Conference on the Changing Atmosphere, no Canadá (em Outubro de 1988), passando pelo IPCC’s First Assessment Report em Sundsvall, Suécia (Agosto de 1990), também pela ECO-92 no Rio de Janeiro, foi elaborado um protocolo de tratado internacional com compromissos mais rígidos para a redução dos gases que provocam o efeito estufa, considerados, de acordo com a maioria das investigações científicas, como a causa do aquecimento global.

Este protocolo foi discutido e negociado na cidade de Quioto no Japão em 1997. Foi aberto para assinaturas em Março do ano seguinte e foi ratificado em 15 de Março de 1999 por 55% dos países que juntos produziam 55% das emissões, mas só entrou em vigor em Fevereiro de 2005 após a homologação por parte da Rússia. O documento propõe um calendário pelo qual os países desenvolvidos têm a obrigação de reduzir em 5.2% a emissão de gases com efeito estufa, servindo como referência as emissões produzidas em 1990. Estas reduções teriam que se dar entre os anos de 2008 e 2012. O protocolo estimula os países signatários a cooperarem entre si, através de algumas acções básicas. Reformar os sectores de energia e transporte, promover o desenvolvimento e uso de equipamentos alimentados por fontes de energias renováveis, eliminar mecanismos financeiros e de mercado que sejam inapropriados aos fins da

---

<sup>5</sup> Relatório publicado em 1987 pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e desenvolvimento - ONU

<sup>6</sup> Conferência das Nações Unidas para o meio ambiente e o desenvolvimento, realizada entre 3 e 14 de Junho de 1992 no Rio de Janeiro, Brasil.

convenção, limitar as emissões de metano no gerenciamento de resíduos e dos sistemas energéticos, proteger florestas e outros sumidouros de carbono. Se o protocolo de Quioto for implementado com sucesso, estima-se que haja uma redução da temperatura global entre 1.4 e 5.8° C até 2100. Entretanto isso dependerá das negociações a serem feitas após o período 2008/2012, pois há comunidades científicas que dizem que a meta de redução 5.2% em relação a 1990 é insuficiente para mitigar o aquecimento global. Como é sabido, os Estados Unidos da América não ratificaram o protocolo embora seja o país que mais emissões gera. Apesar disso os EUA têm em estudo e em alguns casos já estão em acção algumas medidas de fundamental interesse para a redução do aquecimento global, mas não deixa de ser um péssimo exemplo político o facto da maior potência mundial não ratificar o protocolo referindo como principal obstáculo o facto de o protocolo de Quioto pode colocar em causa o crescimento económico necessário para satisfazer as necessidades da população mundial. Para que o documento fosse referendado foi necessário criar algumas figuras legais, entre elas a mais importante é a dos **sumidouros de carbono**. Numa abordagem inicial os países com grandes áreas de floresta, que absorvem naturalmente o CO<sub>2</sub>, poderiam usar estas florestas como crédito em troca do controle de suas emissões. Devido à necessidade de manter a sua produção industrial, e isso ser consequência directa das emissões, os países desenvolvidos teriam a oportunidade de transferir as suas indústrias mais poluentes para países menos desenvolvidos com grandes áreas de floresta preservadas e onde o nível de emissão é baixo, ou por outro lado fazer investimentos nesses países em troca de **crédito de carbono**. Porém foi levantado o problema de não se poder quantificar com exactidão a capacidade de fixação de carbono de cada floresta e por se temer que a política gerasse não uma redução, mais sim um agravamento das emissões. A partir da conferência de Joanesburgo essa questão foi aperfeiçoada, estabelecendo um mecanismo específico para a regulamentação dos **créditos de carbono**.

Créditos de carbono ou Redução Certificada das Emissões (RCE) são certificados emitidos quando ocorre a diminuição das emissões de **gases com efeito estufa** (GEE). Por convenção, uma tonelada de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub> equivalente), corresponde a um crédito de carbono. A partir da criação dessa moeda surge um mercado internacional onde os créditos são negociados. Com base no protocolo de Quioto é sabida a quantidade de emissões possíveis por país, cada membro em função da sua legislação interna, produz uma determinada quantidade de GEE. Caso a quantidade produzida ultrapasse o valor estabelecido internacionalmente, o país torna-se comprador de crédito

de carbono. Por outro lado, aqueles países que conseguem reduzir, através de tecnologias limpas, as suas emissões abaixo dos limites estabelecidos, ou que não ultrapassem as emissões por terem um parque industrial instalado menor que o potencial emissivo, ou ainda que tenham uma área muito vasta de floresta, podem vender no mercado o crédito excedente. Isto pode e deve acontecer também ao nível interno nos países pois indústrias com melhor tecnologia e que gerem menores emissões poderão negociar seu crédito internamente. Para implementação deste mercado de uma forma que satisfizesse os objectivos do protocolo foi criado o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) que faz a ligação entre projectos baseados em desenvolvimento sustentável a serem implantados em países em desenvolvimento, com a necessidade de compra de crédito de carbono por parte de países industrializados. Essa foi a forma mais harmónica encontrada para transferir recursos sem degradar o meio. Os projectos de MDL podem ser baseados em fontes renovais e alternativas de energias, eficiência e conservação de energia ou reflorestamento. Existem regras rígidas e claras para aprovação de projectos no âmbito do MDL: estes projectos devem usar metodologias aprovadas, serão validados e verificados por Entidades Operacionais Designadas (EODs), e devem ser aprovados e registados pelo Conselho Executivo do MDL. Participam como intervenientes do processo os governos, tanto do país receptor do crédito como do país comprador.

Além desse tipo de iniciativas, a comunidade internacional vem desenvolvendo inúmeros estudos científicos a fim de minorar o problema das alterações climáticas. Alguns desses exemplos, como descrito abaixo, vêm dos Estados Unidos da América. Apesar de não ter ratificado o protocolo de Quioto, os Estados Unidos têm desenvolvido estudos profundos a fim de minimizar o problema das emissões.

Os principais projectos neste sentido são: Sequestrar carbono em repositórios subterrâneos; Melhorar o ciclo terrestre natural através da remoção do CO<sub>2</sub> da atmosfera pela vegetação e stock de biomassa criada no solo; Sequestro de carbono nos oceanos através do aumento da dissolução de CO<sub>2</sub> nas águas oceânicas pela fertilização do fitoplâncton com nutrientes e pela injeção de CO<sub>2</sub> nas profundezas do oceano a mais de 1000 m de profundidade; O sequenciamento do genoma de micro organismos para o gerenciamento do ciclo de carbono; Enviar, através de foguetes milhares de mini-satélites (espelhos) para reflectir parte da radiação solar que incidiria na terra, em média 200.000 mini satélites diminuiriam 1% do aquecimento.

O conceito do sequestro de carbono nasce com o protocolo de Quioto e consiste na captura e armazenagem segura de CO<sub>2</sub> evitando, assim, a sua permanência na atmosfera terrestre. A Tabela 1 apresenta as possíveis formas de sequestro de carbono.

Tabela 1: Sequestro de carbono

SEQUESTRO DE CARBONO						
NATURAL				ARTIFICIAL		
ECOSSISTEMAS				ECOSSISTEMAS		
OCEÂNICO		TERRESTRE		OCEÂNICO		TERRESTRE
FÍSICO	BIOLÓGICO	SOLO	FLORESTA	INJ. DIRECTA	FERTILIZAÇÃO	REFLORESTAMENTO

No processo natural oceânico, o carbono é armazenado por processo físico ou biológico. No processo físico, o sequestro natural está ligado à circulação oceânica global chamada de termosalina ou termoalina. A circulação é movida pela diferença de densidade das águas que acontece devido a variação de temperatura ou salinidade. As águas vindas dos trópicos em direcção às altas latitudes (regiões polares), ao perderem calor, aumentam sua densidade e são encaminhadas para partes muito profundas do oceano. Como o CO<sub>2</sub> da atmosfera se dissolve mais facilmente em águas frias, essas águas são ricas em CO<sub>2</sub> que serão sequestrados de forma natural por um longo período. O processo natural biológico oceânico também é conhecido como **Bomba Biológica**, O fitoplâncton retira CO<sub>2</sub> da água para realizar fotossíntese. O plâncton e outros elementos marinhos extraem o CO<sub>2</sub> da água e transformam-no em carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>) que é elemento fundamental na construção dos seus esqueletos e escudos. Quando o fitoplâncton é consumido por bactérias ou por zooplâncton, liberta para o oceano nutrientes e CO<sub>2</sub> podendo ser novamente consumido por fitoplânctons ou libertado para a atmosfera. Porém quando o fitoplâncton morre parte do carbono orgânico e principalmente o carbono inorgânico são depositados no fundo do oceano, que formam inicialmente depósitos sedimentares e, posteriormente, petróleo e carvão. Em condições naturais o carbono armazenado por este sistema demora cerca de 400 milhões de anos para voltar à atmosfera através de emissões vulcânicas e hidro térmicas.

No ecossistema terrestre a fixação natural do carbono pode ser no solo ou na floresta. O CO<sub>2</sub> armazenado é o balanço entre a absorção da vegetação, a fixação no solo e as perdas por respiração e decomposição. A floresta fixa carbono através das árvores e também no seu solo. As plantas absorvem carbono no processo de fotossíntese e

armazenam o carbono como açúcar, amido e celulose. O carbono é armazenado e liberado continuamente durante a vida da planta. Essas taxas dependem da planta e da fase da vida em que se encontra. Existe um balanço de massa de carbono constante nas florestas, absorção com o processo de fotossíntese e perdas nocturnas pela respiração e por queimadas. A grande absorção só acontece enquanto a planta está em desenvolvimento ou seja é limitada naturalmente, é fundamental o cuidado com a perda instantânea gerada pela queimada.

O solo fixa uma quantidade muito maior de carbono do que as plantas. O stock de carbono do solo é duas vezes maior do que o da vegetação. A acumulação no solo é feita de forma gradual e lenta através da deterioração do material orgânico. Os resíduos orgânicos que caem no solo são gradualmente alterados por meio da fragmentação física, da interacção entre a fauna e micro organismos e também pela formação de húmus. A rapidez de decomposição e a taxa de mineralização são fortemente influenciadas pelo clima, pelo tipo e qualidade da matéria orgânica, através de associações químicas e físico - químicas com componentes minerais do solo e pela localização da matéria orgânica no solo. A humificação (formação de húmus), a agregação e a sedimentação são os processos fundamentais de fixação de carbono no solo. Por outro lado, a erosão, a decomposição, volatilização e lixiviação são as principais formas de perda do carbono fixado.

O sequestro de carbono também pode ser conseguido de forma artificial, ou seja, quando estimulados pela acção do homem, podendo da mesma forma ser no ecossistema terrestre ou oceânico.

No ecossistema oceânico o processo artificial de stock de carbono pode ser realizado de duas maneiras injeção directa e fertilização do oceano. É importante salientar que ainda não se sabe com precisão a quantidade de carbono que pode ser sequestrada sem perturbar a estrutura e função do ecossistema marinho. Pesquisas bastantes rigorosas estão sendo feitas com objectivo de mensurar os riscos e benefícios do processo bem como os custos a ele associado<sup>7</sup>.

O processo de injeção directa, como o próprio nome indica, consiste em injectar CO<sub>2</sub> directamente no oceano abaixo da termoclina, que é a camada onde há a variação brusca da temperatura das águas. A termoclina tem grande importância na distribuição dos organismos aquáticos visto que funciona como uma barreira para estes, pois a mudança

---

<sup>7</sup> Pesquisas encabeçadas nos Estados Unidos pelo Brookhaven National Laboratory, Oceanographic and Atmospheric Sciences Division.

da temperatura acarreta variação na viscosidade, densidade, pressão, solubilidade e teor de oxigénio da água que, por sua vez, influencia a flutuabilidade, locomoção e respiração dos organismos.

Este processo pode vir a acarretar problemas graves ao ecossistema já que, se a injeção de CO<sub>2</sub> for a grande profundidades, o CO<sub>2</sub> poderá vir a formar “lagos”. Como ele se dissolve facilmente em água de baixa temperatura, fará com que baixe o PH destas águas, deixando a mistura mais ácida. Com o aumento da acidez acontece uma redução do teor de carbonato de cálcio na água e isso afecta o crescimento e a taxa de reprodução de alguns organismos marinhos. Um outro factor fundamental é que a alta concentração do CO<sub>2</sub> irá dificultar a eliminação de gás carbónico dos elementos que ali habitam e levará a morte destes por asfixia.

A outra forma artificial de stock de carbono no oceano é através da fertilização oceânica que se dá pela adição de ferro (micro nutrientes), onde a produção biológica é limitada pelo ferro, provocando com isso um aumento do fitoplâncton, acelerando assim a actividade fotossintética. O processo também é delicado pois a fertilização dos oceanos poderia provocar efeitos adversos no ecossistema marinho como, por exemplo, as grandes taxas de decomposição de fitoplâncton reduziriam os níveis de oxigénio na água, que associada à actividade microbiana pode produzir potentes gases com efeito estufa, como o metano e o óxido nítrico.

No ecossistema terrestre, a forma de conseguir um stock artificial é através do reflorestamento. Esse stock não é tão linear assim em função de no início do reflorestamento o processo ser um emissor visto que o carbono que está armazenado no solo será liberado para atmosfera, mas passará a ser captador com o tempo dependendo da espécie, da área implantada e da gestão florestal da exploração. Por outro lado, é um garante de protecção do solo pois é uma actividade que consegue fixar o solo impedindo, assim, as formas de degradação do mesmo o que liberaria uma quantidade superior de carbono. O nível orgânico do carbono dos solos está severamente esgotado em algumas áreas de agricultura extensiva, por isso é fundamental para salvaguardar os stocks de carbono nesses solos, melhorar os níveis de húmus o que se consegue com o reflorestamento. Os mecanismos que realçam a fixação de carbono no solo incluem a conservação de terras naturais e rotação de culturas.

Apesar de ser a preocupação mais premente, não só o aquecimento global é importante no estudo das emissões de poluentes na natureza, atendendo à visão holística e à preocupação com outros elementos, dependendo do local de onde nos encontremos, foi

criada a necessidade de dispor de ferramentas que permitissem quantificar as emissões ambientais ou a análise do impacto ambiental de um produto, sistema ou processo. A essa ferramenta foi dado o nome de **Análise de Ciclo de Vida** (ACV ou LCA em inglês). Esse estudo é feito sobre toda “vida” do produto ou processo, desde quando é extraído o primeiro material componente do produto até o fim de vida (ou seja quando o produto deixa de ter uso e é descartado como resíduo), passando por todas as etapas intermediárias (manufatura, transporte e uso). A ferramenta é utilizada para comparar o impacto de produtos ou processos com funções similares. A ACV também é utilizada na área de gestão ambiental para comparar o impacto ambiental de diferentes tipos de tratamento de resíduos, bem como diferentes destinos para determinados resíduos. Um dos méritos da análise de ciclo de vida é permitir uma análise completa de um determinado sistema. Segundo a SETAC (Sociedade do Ambiente, Toxicologia e Química), a ACV é um procedimento de avaliação dos efeitos ambientais associados a um produto, processo ou actividade, pela identificação e quantificação da energia e materiais usados, bem como os resíduos por eles emitidos no meio ambiente, obtidos pela avaliação dos impactos da energia e materiais usados e libertados no meio ambiente e pela identificação e avaliação de oportunidades de melhorias ambientais.

Na década de sessenta do século passado, através do Midwest Research Institute, surgem nos Estados Unidos os primeiros estudos sobre ciclo de vida, com a denominação de Resource and Environmental Profile Analysis (REPA) e neles eram abordadas as necessidades de matérias primas, consumos energéticos e fluxo de produção de resíduos de cada produto estudado (Jensen et al, 1997 e Tan e Culaba,2002), comparando essencialmente dados de inventários. Na década seguinte, em função da crise do petróleo e na busca por alternativas, começam a aparecer novos estudos sobre o tema (os chamados Net Energy Analysis) que foram desenvolvidos para comparar consumos energéticos acumulados no ciclo de vida de um produto, no caso o biotanol, com valores energéticos do produto final. Estes estudos não apresentam grandes diferenças entre o desenvolvimento do inventário e a interpretação total de impactos associados porque apresentam resultados bastante ambíguos (Jesen et al, 1997 e Boustead, 2001). O resultado obtido com esses primeiros estudos não foi relevante pelo facto de, no processo de análise, só serem observadas as partes do sistema que lhes era favorável e grande parte da informação obtida não era verídica. Isso espoleta uma segunda fase onde é analisado o ciclo de vida completo de produtos e materiais

incorporando no resultado final suas vantagens e desvantagens. Essa fase é, segundo Bostead, 2001, o verdadeiro início da análise de ciclo de vida.

Fazer a análise de ciclo de vida de um produto ou processo é uma excelente ferramenta de apoio para tomada de decisões. Mas não é, em si mesma, a garantia de produzir algo mais ou menos sustentável. É apenas o indicador do grau de emissões que um produto ou processo pode gerar em comparação com outro que desempenhe função similar. Perante isto é fácil perceber que não se pode usar essa ferramenta como elemento agregador de valor num processo ou produto isolado, é sempre comparativo. O processo de execução da ACV é regulamentado internacionalmente pelas seguintes ISO (International Organization for Standardization) :

- ISO 14040:1997 – Princípios e estrutura
- ISO 14041: 1998 – Definições do âmbito e análise do inventário
- ISO 14042: 2000 – Avaliação do impacto do ciclo de vida
- ISO 14043: 2002 – Interpretação do ciclo de vida
- ISO TR 14047 – Exemplos para aplicação da ISO 14042
- ISO TR 14048 – Formato de apresentação de dados
- ISO TR 14049 – Exemplos de aplicação da ISO 14041

A ISO 14040, e posteriormente na definição das ISO's 14041 e 14042, estabelece que o processo passa pelas seguintes fases:

- Objectivos e Âmbito: Esta fase consiste na descrição do produto , processo ou serviço (unidade funcional), do contexto em que está inserida a avaliação e na identificação de fronteiras e aspectos ambientais a analisar.

- Análise do inventário: É a acção de identificar e quantificar a energia, água e materiais utilizados bem como definir e avaliar as emissões ambientais geradas no processo (ex; emissões gasosas, produção de resíduos sólidos, etc...). Para isso é preciso definir bem os limites da fronteira do sistema.

- Avaliação de impactes ambientais: Avalia os efeitos sobre o homem e a ecologia de todos os aspectos identificados na análise do inventário. Calculando com base científica ou em associação estatística um factor de caracterização, que serve para converter os dados do inventário, num indicador final.

A ISO 14043 que estabelece como deve ser feita a análise do impacto do ciclo de vida foca três aspectos principais:

- Identificação dos aspectos mais significativos

- Avaliação da abrangência, sensibilidade e consistência dos dados

- Conclusões e recomendações

Quando fazemos uma ACV a questão primordial é o conhecimento do fluxo de matéria, ou seja, o balanço de massas que ocorre no processo. É fundamental esse conhecimento pois é ele que nos permite decifrar os elementos de maior peso na cadeia produtiva. Com o fluxo podemos medir os consumos energéticos de transformação, bem como definir e quantificar os resíduos gerados por cada componente. O balanço das massas pode ser interpretado como medida de fluxo e concentração de um sistema. A toda entrada de matéria (qualitativa e quantitativa) deve existir uma saída de produtos e resíduos. Na realidade, o balanço de massas tem a função de contabilizar as emissões, pois é a através dele que podemos identificar quem e o que emite. Contudo esse balanço apenas define os fluxos e não avalia o impacto que essas emissões têm no meio em que são lançadas. Para resolver este problema é feita a análise dos impactos, onde serão transformados os factores de impacto em impactos propriamente ditos e, com isso, os resultados serão simplificados.

Analisar os impactos é uma tarefa não muito simples, pois é através dela que conseguimos exprimir os resultados do balanço de massas em um indicador de emissão

ambiental. Por exemplo, é necessário relacionar a quantidade de dióxido de carbono encontrada no fluxo de matéria com o aquecimento global que ele gera. Pois o importante não é apenas medir as emissões mais sim os efeitos que elas possam causar. Apresentam-se a seguir alguns métodos de quantificação de impactos:

- 1) Método dos volumes críticos<sup>8</sup>: O método faz uma comparação da carga emitida por cada produto com o seu volume legal permitido. São analisados critérios de emissão para o AR, a ÁGUA, o SOLO e para as ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. A grande vantagem do método é a de possibilitar uma longa lista de fluxos para os meios em estudo. Mas o método também tem desvantagens pois não leva em consideração a exposição ao risco. Parte de um pressuposto incorrecto de que o risco residual nos níveis iniciais é o mesmo para todas as substâncias. E como o limite legal só cobre algumas substâncias, não admite dessas substâncias nem o impacto de outras. Por exemplo o potencial de aquecimento global, como efeito, não é levado em consideração.
- 2) Método da escassez ecológica<sup>9</sup>: É um método de análise mais global desenvolvido na Suíça e usado também, na Alemanha, Holanda, Bélgica e Suécia. O método consiste em calcular ecopontos em função de um eco-factor determinado para cada fluxo. Os eco-factores são baseados em fluxos actuais relativos a alvos máximos de fluxos anuais, para cada área geográfica considerada. Todos os pontos ecológicos são somados para gerar uma única medida de impacto. O método peca por só ser validado nas áreas especificadas. E, também, porque estimar o cálculo dos fluxos pode vir a ser uma tarefa difícil e demorada. Tal como o método anterior também admite que o risco residual nos níveis iniciais é igual para todas as substâncias. Por outro lado o cálculo é feito aliando impactos ambientais com julgamento políticos subjectivos o que poderá distorcer resultados.
- 3) Sistema de prioridades ambientais<sup>10</sup>: Primeiro método a integrar os impactos ambientais com questões sociais e económicas. Resulta em um único valor que soma todos os impactos ambientais baseados em: julgamento da sociedade sobre cada impacto, intensidade e frequência do impacto, localização e duração do impacto, contribuição de cada fluxo no impacto e o custo do decrescimento do fluxo do inventário para uma unidade de moeda.

---

<sup>8</sup> Critical Volumes Method, método suíço para cálculo de impactos baseado nos volumes críticos de emissão.

<sup>9</sup> Swiss Ecological Scarcity Method, método desenvolvido na suíça em 1990.

<sup>10</sup> Environmental Priorities System, método sueco pioneiro na inserção de aspectos sociais e económicos.

- 4) ECO-INDICADOR 99<sup>11</sup> : Foca os resultados nos danos causados e limita a três as categorias dos danos: Saúde humana, Qualidade do ecossistema e Uso de recursos minerais e fósseis.
- 5) PROBLEMAS AMBIENTAIS<sup>12</sup>: O método envolve duas etapas de análise: A primeira classifica o fluxo do inventário que contribui para impactos ambientais específicos. A segunda caracteriza a contribuição potencial de cada fluxo de inventário, relacionando-a com o impacto ambiental correspondente. Com isso o método consegue diferenciar o grau de relevância para cada impacto diferente mas que pode levar a um problema: no caso de se tratar de impactos dependentes de condições locais, os resultados podem ser demasiadamente simplificados.

Existem no mercado algumas ferramentas de apoio para realização de ACV entre elas é possível destacar:

- SIMAPRO ( HOLANDA) suporte para realização de ACV

- GaBi ( ALEMANHA ) suporte para realização de ACV

Existem também no mercado algumas ferramentas, que usando de forma directa ou indirecta o ACV, servem de base para tomada de decisão quanto a sustentabilidade das construções.

- ATHENA (CANADÁ) suporte para tomada de decisões na concepção de edifícios

- EcoQuantum (HOLANDA) suporte para tomada de decisões na concepção de edifícios

- EnVest (REINO UNIDO) suporte para tomada de decisões na concepção de edifícios

- LEED (EUA) suporte para avaliação de sistemas completos de edifícios

- GBTool (INTERNACIONAL) suporte para avaliação de sistemas completos de edifícios

- ECOPROFILE ( NORUEGA) suporte para avaliação de sistemas completos de edifícios

- BEES 4.0 (EUA) suporte para selecção de materiais.

Todas as ferramentas têm como objectivo comum analisar os impactos causados no meio ambiente para cada produto ou processo que foi foco de atenção. As abordagens apresentam algumas diferenças quanto aos impactos. Por isso, a título de exemplo

---

<sup>11</sup> Eco-indicator 99, Método desenvolvido na Holanda.

<sup>12</sup> Método desenvolvido pela SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry), sociedade internacional dedicada ao estudo, desenvolvimento e educação ambiental.

apresenta-se abaixo os impactos da ferramenta BEES 4.0<sup>13</sup>. Apesar de divergirem em nomenclatura ou forma de enquadrar os impactos, as ferramentas avaliam basicamente impactos no meio físico, impactos na saúde humana, alteração ao habitat natural, impactos atmosféricos e qualidades de ambiente interior e exterior.

- a) POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL
- b) POTENCIAL DE ACIDIFICAÇÃO
- c) POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO
- d) DEGRADAÇÃO DE COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS
- e) QUALIDADE DO AR INTERIOR
- f) ALTERAÇÃO DO HABITAT
- g) CONSUMO DE ÁGUA
- h) CRITÉRIOS DE POLUIÇÃO DO AR
- i) SAÚDE HUMANA
- j) POTENCIAL DE FORMAÇÃO DE SMOG
- k) POTENCIAL DE DEGRADAÇÃO DA CAMADA DE OZÔNIO
- l) TOXICIDADE ECOLÓGICA

-POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL: O potencial de aquecimento global de um produto ou processo consiste em medir as suas emissões de gases com efeito estufa. Para tal, é tomado como parâmetro de unidade poluente o grama de dióxido de carbono. E todos os gases com efeito estufa são relacionados com ele pela Equação (1) e pela Tabela 2.

$$\text{ÍNDICE DE AQ. GLOBAL} = \sum \text{MASSA}_i \times \text{GWP}_i \text{ ( tabelado)} \quad \text{Eq (1)}$$

Em que:

MASSA<sub>i</sub> – Massa de cada gás com efeito estufa

GWP<sub>i</sub> – Potencial de aquecimento equivalente de cada gás com efeito estufa

---

<sup>13</sup> BEES (Building for Environmental and Economic Sustainability), programa Americano para análise de ciclo de vida e de custo de ciclo de vida de materiais ligado a construção.

Tabela 2: Equivalência para o potencial aquecimento global (BEES 4.0)

<b>TABELA DE EQUIVALÊNCIA PARA O POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL</b>	
<b>SUBSTÂNCIA</b>	<b>CO2 EQUIVALENTE</b>
DÍOXIDO DE CARBONO (CO <sub>2</sub> )	1
TETRACLORETO DE CARBONO (CCL <sub>4</sub> )	1800
TETRAFLUORETO DE CARBONO (CF <sub>4</sub> )	5700
CFC 12 (CCL <sub>2</sub> F <sub>2</sub> )	10600
CLOROFÓRMIO (CHCL <sub>3</sub> ,HC-20)	30
HALON 1301 (CF <sub>3</sub> Br)	6900
HCFC22 (CHF <sub>2</sub> Cl)	1700
METANO (CH <sub>4</sub> )	23
METIL BROMIDO (CH <sub>3</sub> Br)	5
METIL CLORIDO (CH <sub>3</sub> Cl)	16
METILENO CLORIDO (CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> , HC-130)	10
ÓXIDO NITROSO (N <sub>2</sub> O)	296
TRICLOROETANO (1,1,1-CH <sub>3</sub> CCl <sub>3</sub> )	140

- POTENCIAL DE ACIDIFICAÇÃO: É a referência ao potencial de algumas emissões em criar compostos ácidos que possam ser precipitados com a chuva, estarem presentes na humidade ou mesmo fixarem-se em partículas sólidas. A acidificação tem efeito sobre as árvores, o solo, os edifícios, sobre os animais e seres humanos. Os compostos de enxofre e nitrogénio são os principais elementos químicos envolvidos na acidificação, que tem como principal fonte de emissões os combustíveis fósseis e de biomassa. O milimol de íon de hidrogénio é usado como unidade de medida para o potencial de acidificação, e o potencial é calculado pela Equação (2), usando para isso a correlação da Tabela 3.

$$\text{POTENCIAL DE ACIDIFICAÇÃO} = \sum \text{MASSA}_i \times \text{AP}_i \text{ (tabelado)} \quad \text{Eq (2)}$$

Em que:

MASSA<sub>i</sub> – Massa da substância emissiva

AP<sub>i</sub> – Potencial de acidificação equivalente

Tabela 3: Equivalência para o potencial de acidificação (BEES 4.0)

TABELA DE EQUIVALÊNCIA PARA O POTENCIAL DE ACIDIFICAÇÃO	
SUBSTÂNCIA	ION DE HIDROGÉNIO EQUIVALENTE
AMÔNIA (NH <sub>3</sub> )	95,49
CLORETO DE HIDROGÉNIO (HCl)	44,70
CIANETO DE HIDROGÉNIO (HCn)	60,40
FLUORETO DE HIDROGÉNIO (HF)	81,26
SULFATO DE HIDROGÉNIO (H <sub>2</sub> S)	95,90
ÓXIDOS DE NITROGÉNIO (NO <sub>x</sub> , NO <sub>2</sub> )	40,04
ÓXIDOS SULFÚRICOS (SO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> )	50,79
ÁCIDO SULFÚRICO (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	33,30

- POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO: A eutrofização ocorre quando são adicionados nutrientes minerais específicos ao solo ou a água. Em ambos os meios, quando adicionados ,em grande escala, nutrientes como o nitrogénio ou o fósforo, resultam na alteração do ecossistema e, em decorrência disso, na perda de bio diversidade. Na água essa adição acelera o desenvolvimento de algas que consomem o oxigénio do reservatório, reduzindo (ou até mesmo impedindo) a co-existência de peixes. Para caracterizar o potencial de eutrofização estabeleceu-se como unidade padrão de medida do efeito a grama de nitrogénio e sempre é calculado o potencial de eutrofização da unidade funcional em função das suas emissões que relacionam-se pela Equação (3) e também pela Tabela 4.

$$\text{ÍNDICE DE EUTROFIZAÇÃO} = \sum \text{MASSA}_i \times \text{EP}_i \text{ ( TABELADO)} \quad \text{Eq (3)}$$

Em que:

MASSA<sub>i</sub> – Massa da substância emissiva

EP<sub>i</sub> – Potencial de eutrofização equivalente

Tabela 4: Equivalência para o potencial de eutrofização (BEES 4.0)

TABELA DE EQUIVALÊNCIA PARA O POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO	
SUBSTÂNCIA	NITROGÉNIO EQUIVALENTE
AMÓNIA (NH <sub>3</sub> )	0,12
AMÓNIA (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	0,99
ÓXIDOS DE NITROGÉNIO (NO <sub>x</sub> , NO <sub>2</sub> )	0,04
ÓXIDO NITROSO (N <sub>2</sub> O)	0,09
FÓSFORO PARA O AR (P)	1,12
FÓSFORO PARA A ÁGUA (P)	7,29
BOD <sub>5</sub> (DEMANDA DE OXIGÉNIO BIOQUÍMICO)	0,05
COD (DEMANDA DE OXIGÉNIO QUÍMICO)	0,05
NITRATO (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	0,24
NITRITO (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	0,32
FOSFATOS (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> , H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )	7,29

- DEGRADAÇÃO DE COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Antes de qualquer análise em relação ao impacto da degradação dos combustíveis fósseis é fundamental salientar que eles são as fontes de maior incidência na grande maioria dos impactos mensurados numa análise de ciclo de vida. A extracção de combustíveis fósseis contribui de duas maneiras na geração de impactos ambientais. A primeira delas corresponde à extracção em si mesma, admitindo como verdade a teoria biogénica da formação de combustíveis fósseis, extrair carbono que levou um grande tempo para ser fixado em forma de crude, gás ou carvão, vai gerar um desequilíbrio no sistema, que demandará uma eternidade para se reequilibrar. A outra fonte de impacto será a das emissões necessárias ao processo de extracção que em muitas vezes é bastante difícil. Para se ter uma ideia, alguns poços de petróleo são abandonados logo após ultrapassar a metade do seu potencial, pois o custo energético de extracção não será gerado pelo material extraído. Como os combustíveis fósseis são uma fonte não renovável de energia, e pelo facto de serem a matriz energética actual da nossa civilização, sabemos que a sua degradação irá provocar uma grave crise económica e social. É consenso entre a comunidade científica o facto de vir a existir um pico de produção de combustíveis fósseis. Esse pico significaria o ponto em que a produção passaria a ser menor que a procura. Alguns

cientistas divergem em relação a quando seria isso. Alguns até acham que este limiar já foi alcançado, mas o que volta a ser consenso é que este horizonte temporal está muito próximo, o que levaria a mudanças às vezes drásticas na sociedade de consumo. Por este facto é fundamental mensurar a degradação desses combustíveis e para tal é usada como unidade básica de medida para uma determinada unidade funcional o MJ. Ou seja, será verificado quanta energia é consumida no fabrico, através da Equação 4, e pela Tabela 5 chegar-se-á na energia total consumida.

$$\text{INDICE DE DEGRADAÇÃO} = \sum \text{CONS. COMB.} \times \text{FP}_i \text{ (tabelado)} \quad \text{Eq (4)}$$

Em que:

CONS. COMB – Consumo de combustível da actividade

FP<sub>i</sub> – Factor de equivalência ao índice de degradação

Tabela 5: Equivalência ao índice de degradação combustíveis fósseis (BEES 4.0)

TABELA DE EQUIVALÊNCIA PARA O POTENCIAL DE DEGRADAÇÃO DE COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS	
SUBSTÂNCIA	FP <sub>i</sub> MJ/KG
CARVÃO	0,25
GÁS NATURAL	7,80
PETRÓLEO	6,12

- **QUALIDADE DO AR INTERIOR:** A qualidade do ar interior é um instrumento de análise importante pois o seu estado influi directamente na saúde de seus ocupantes. São basicamente três os factores de risco ao ar interior: **BIOAEROSSOIS** (esporos, fungos, poléns, fragmentos celulares e secreções) que podem causar nos ocupantes de espaços expostos a eles desde simples irritações até doenças graves. Desenvolvem-se ou pela falta de manutenção em sistemas de climatização ou pela deficiente taxa de renovação de ar dos ambientes.

**COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS** (produtos manufacturados, carpetes, tintas, vernizes, revestimentos, colas, impressoras lasers, fax, aldeídos, álcoois) Elementos integrantes da construção, principalmente elementos de acabamento, de acondicionamento acústico, tratamento térmico e mobiliário são elementos emissores desses compostos voláteis que podem ser altamente prejudicial à saúde humana.

Requerem então uma atenção específica afim de reduzir os danos que possam vir a causar.

**POEIRAS** (fibras, partículas metálicas, sílica amianto e fumo de combustão) são elementos altamente danosos aos sistemas respiratórios dos ocupantes destas habitações.

A combinação destes elementos dentro do ambiente interior de um edifício dá origem à chamada “síndrome do edifício doente” que é caracterizada por uma péssima qualidade do ar interior. O BEES não mensura directamente com um factor de equalização esse impacto, mas menciona o grau de emissão dos compostos orgânicos voláteis já que são elementos externos ao ambiente e independentes do projecto.

- **ALTERAÇÃO DO HABITAT**: A biodiversidade traduz-se na quantidade de espécies de seres vivos existentes no planeta. Existem espécies adaptadas a ambientes tão diversos como o gelo da Antárctida ou fontes submarinas com actividades vulcânicas e temperaturas superiores a 100 graus Célsius. Ainda se conhece pouco sobre a biodiversidade do planeta. Calcula-se que existam entre 10 à 20 milhões de espécies mas que apenas 10% delas estão estudadas ao nível científico. A eliminação ou alteração do habitat natural pelo homem é principal factor da diminuição da biodiversidade. A eliminação da vegetação local para construções as mais diversas possíveis bem como para actividades agro-pecuárias, altera o meio ambiente de forma muitas vezes irreversível. Em média 90% das espécies extintas acabaram em função da alteração ao seu habitat. Para mensurar o impacto é levada em consideração a área ocupada pela unidade funcional bem como o possível impacto de prejuízo as espécies designados por **TeD** que são relacionados pela Equação (5) e pela Tabela 6.

$$\text{ÍNDICE DE ALT. DO HABITAT} = \sum \text{ÁREA} \times \text{TeD (tabelado)} \quad \text{Eq (5)}$$

Em que:

ÁREA – Área ocupada pela unidade funcional

TeD – Impactos em função do uso

Tabela 6: Equivalência ao índice de alteração ao habitat (BEES 4.0)

<b>TABELA DE EQUIVALÊNCIA PARA O ÍNDICE DE ALTERAÇÃO AO HABITAT</b>	
<b>SUBSTÂNCIA</b>	<b>TED T&amp;E/M2</b>
USO DA TERRA (DESPERDÍCIO NA INSTALAÇÃO)	6,06E-10
USO DA TERRA (DESPERDÍCIO NA REPOSIÇÃO)	6,06E-10
USO DA TERRA (DESPERDÍCIO FIM DE USO)	6,06E-10

CONSUMO DE ÁGUA: A água, por ser um recurso finito e muito raro em algumas regiões, é um factor de fundamental importância no estudo de produção de uma unidade funcional numa análise de ciclo de vida. Outro aspecto importante para que seja mensurado o consumo da água é o facto de algumas vezes não ser utilizada uma água com características ideais a quem fará uso dela. Então essas concentrações poderão ser mensuradas afim de detectar algum impacto não directamente ligado a falta da água mas sim ao malefício que ela por ventura possa vir a causar. É usado como unidade básica de medida para o consumo o L/unidade funcional.

- CRITÉRIOS DE POLUIÇÃO DO AR: O impacto de poluição atmosférica é gerado pela deposição no ar de partículas sólidas e líquidas que contaminam esse mesmo ar e são originadas em diversas actividades como a combustão, a operação de veículos, geração de energia, manejo de materiais e operação de prensa e moagem. O impacto é altamente prejudicial à saúde humana podendo, inclusive, vir a degradar o eco sistema exposto a estes poluentes. Graves problemas respiratórios bem como alérgicos podem ter como resultado a diminuição da qualidade de vida podendo mesmo reduzir bastante a expectativa de vida das pessoas atingidas pelo problema. Para mensurar o impacto é levada em consideração a massa de poluente expelida, bem como a quantidade de micro DALY por grama que cada substância gera de poluição e que são definidas pela Equação 6 e pela Tabela 7.

$$\text{ÍNDICE DE POLUIÇÃO DO AR: } \sum \text{Massa} \times \text{Fep}_{\text{micro DALY/grama}} \quad \text{Eq (6)}$$

Em que:

Massa – Massa de poluente expelida

Fep – Factor de equivalência para poluição de cada substância

Tabela 7: Equivalência ao índice de poluição do ar (BESS 4.0)

TABELA DE EQUIVALÊNCIA PARA O ÍNDICE DE POLUIÇÃO DO AR	
SUBSTÂNCIA	CP <sub>1</sub> MICRODALYS/g
ÓXIDOS DE NITROGÉNIO (NOX, NO <sub>2</sub> )	0,02
PARTÍCULAS (>PM <sub>10</sub> )	0,046
PARTÍCULAS (<=PM <sub>10</sub> )	0,083
PARTÍCULAS (NÃO ESPECIFICADAS)	0,046
ÓXIDOS SULFÚRICOS (SOX, SO <sub>2</sub> )	0,014

SAÚDE HUMANA: São várias as substâncias que causam algum tipo de efeito nocivo à saúde humana quando alguém fica exposto a estas emissões. Os efeitos causados por estas substâncias podem ir desde uma simples irritação até à morte.

Para mensurar o efeito da emissão estudada foi estabelecido como parâmetro unitário, o potencial de toxicidade equivalente (TEP em inglês). Este factor caracteriza o efeito que as substâncias mais diversas possíveis podem causar à saúde humana. Os efeitos são classificados em duas categorias: os cancerígenos e os não cancerígenos. Para mensurar os cancerígenos o potencial de toxicidade equivalente é expresso em benzeno equivalente. Enquanto que para as substâncias não cancerígenas a unidade é o tolueno equivalente. Como é necessário equalizar as emissões numa só unidade, foi definida a relação de 21 kg tolueno/ kg de benzeno, para que seja feita a transformação de benzeno equivalente em tolueno equivalente, e ficou atribuída como unidade equalizada o tolueno equivalente. A Equação 7 mensura o impacto usando para tal a Tabela 8 que faz a equivalência de substâncias diversas com o tolueno.

$$\text{ÍMPACTO SAÚDE HUMANA: } \sum \text{Massa} \times \text{Eq impacto grama equiv. tolueno} \quad \text{Eq (7)}$$

Em que:

Massa – Massa da substância emissiva

Eq impacto – Equivalência do impacto

Tabela 8: Equivalência ao impacto à saúde humana (BEES 4.0)

<b>TABELA DE EQUIVALÊNCIA PARA O IMPACTO À SAÚDE HUMANA</b>	
SUBSTÂNCIA	TOLUENO EQUIVALENTE
DIÓXINAS CANCERÍGINAS	3,82927E+13
DIÓXINAS NÃO CANCERÍGINAS	2,2864E+12
DIETANOL AMINA (C <sub>4</sub> H <sub>11</sub> O <sub>2</sub> N)	2532000000
ARSÊNICO (As)	69948708
MERCÚRIO (Hg)	19255160
TETRACLORETO DE CARBONO (CCl <sub>4</sub> )	17344285
PIRENO (C <sub>20</sub> H <sub>12</sub> )	34210977
BENZO FLUORETANO	12333565
HEXACLORETANO	8415642
FENOL (C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH)	8018000
CADIMÍUM (Cd)	3530974

POTENCIAL DE FORMAÇÃO DE SMOG: As emissões atmosféricas de algumas indústrias bem como dos transportes, sob algumas condições climáticas, quando reagem com a luz do sol dão origem ao SMOG, névoa fotoquímica, que tem como principal impacto os efeitos na saúde humana e na vegetação. Um dos componentes do smog é o ozono, que não é emitido directamente mas sim resultado da combinação de compostos orgânicos voláteis com os óxidos de nitrogénio. Os compostos voláteis no caso são os emitidos em ambiente aberto visto que os emitidos em ambiente fechado são mensurados na qualidade do ar interior. Outros elementos como o dióxido de enxofre, dióxido de nitrogénio e monóxido de carbono também são altamente prejudiciais a saúde humana quando suspensos nessa mistura de nevoeiro e fumaça. Para mensurar o impacto de uma análise de ciclo de vida de um produto ou processo é usado o óxido de nitrogénio equivalente, como unidade, e o impacto é calculado pela Equação (8), com as substâncias relacionadas na Tabela 9.

$$\text{ÍNDICE DE FORMAÇÃO DE SMOG: } \sum \text{Massa} \times \text{FE}_{\text{grama de oxid. Nitro. Equiv}} \quad \text{Eq (8)}$$

Em que:

Massa – Massa da substância emissiva

FE – Factor de equivalência para formação de smog

Tabela 9: Equivalência ao potencial de formação de smog (BEES 4.0)

TABELA DE EQUIVALÊNCIA PARA O POTENCIAL DE FORMAÇÃO DE SMOG	
SUBSTÂNCIA	ÓXIDO DE NITROGÊNIO EQUIVALENTE
FURANO	3,54
BUTADIENO	3,23
PROPILENO	3,07
XILENO	2,73
BUTENO	2,66
CROTONALDEIDO	2,49
FORMALDEIDO	2,25
PROPIONALDEIDO	2,05
ACROLENO	1,99
TRIMETIL BENZENO	1,85
ACETALDEIDO	1,79
BUTIRALDEIDO	1,74
ISOBUTIRALDEIDO	1,74
ETILENO GLICOL	1,40
ACENAFETENO	1,30
ACENAFETILENO	1,30
HEXANAL	1,25
ÓXIDOS DE NITROGÊNIO	1,24
ETER GLICOL	1,11
METIL NAFTALENO	1,10
TOLUENO	1,03

POTENCIAL DE DEGRADAÇÃO DA CAMADA DE OZÔNIO: A camada de ozônio encontra-se na estratosfera e tem como principal função filtrar as ondas curtas de luz ultravioleta, emitidas pelo sol que em excesso são prejudiciais a vida na terra. Com a degradação da camada, uma quantidade cada vez maior de luz ultravioleta chega à superfície da terra, alterando o ecossistema, mudando a flora e fauna, criando efeito adverso na produção agrícola e potencializando o câncer de pele e a baixa imunidade nas pessoas. É factor importante no aquecimento global visto que o aquecimento gradual da superfície, combinado com os gases com efeito estufa, aumenta o aquecimento da terra. A unidade que mensura o impacto é a grama de CFC-11 (que é um gás nocivo a camada de ozônio), e é relacionado e calculado pela Tabela 10 e pela Equação (9).

$$\text{ÍNDICE de DEGRAD. CAMAD. OZON.} : \sum \text{Massa} \times \text{FE}_{\text{grama CFC-11}} \quad \text{Eq (9)}$$

Em que:

Massa – Massa da substância emissiva

FE – Factor de equivalência do potencial de degradação da camada de ozônio

Tabela 10: Equiv. ao potencial de degradação da camada de ozônio (BEES 4.0)

<b>TABELA DE EQUIVALÊNCIA PARA O POTENCIAL DE DEGRADAÇÃO DA CAMADA DE OZÔNIO</b>	
<b>SUBSTÂNCIA</b>	<b>CFC11 EQUIVALENTE</b>
TETRACLORETO DE CARBONO (CCl <sub>4</sub> )	1,10
CFC12 (CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub> )	1,00
HALON 1301 (CF <sub>3</sub> Br)	10,00
HCFC22 (CHF <sub>2</sub> Cl)	0,06
METIL BROMIDO (CH <sub>3</sub> Br)	0,60
TRICLORETANO (1,1,1-CH <sub>3</sub> CCl <sub>3</sub> )	0,10

**TOXICIDADE ECOLÓGICA:** Para mensurar o potencial de toxicidade ecológica é necessário estimar a quantidade de químicos, nocivos aos ecossistemas terrestres e aquáticos, liberados num fluxo de ACV. É usada como unidade padrão a grama de ácido acético diclofenoxido 2,4-D, e é calculado e correlacionado pela Equação (10) e a Tabela 11.

$$\text{ÍNDICE DE TOX. ECOLOGICA: } \sum \text{Massa} \times \text{ITE}_{\text{Grama 2,4D}} \quad \text{Eq (10)}$$

EM QUE:

Massa – Massa da substância emissiva

ITE – Índice de toxicidade ecológica equivalente

Tabela 11: Equivalência ao índice de tox. Ecológica (BEES 4.0)

<b>TABELA DE EQUIVALÊNCIA PARA O ÍNDICE DE TOXICIDADE ECOLÓGICA</b>	
<b>SUBSTÂNCIA</b>	<b>2,4 D EQUIVALENTES</b>
DIOXÍNAS	2486822,73
MERCÚRIO	118758,09
BENZOPERILENO	4948,81
CÁDMIO	689,74
BENZOANTRACENO	412,83
CROMO	203,67
NAFTALENO	179,80
VANÁDIO	130,37
BENZOPIRENO	109,99
BERÍLIO	106,56
ARSÊNICO	101,32
COBRE	89,46
NÍQUEL	64,34
COBALTO	49,45
SELÊNIO	35,07
FLUORETANO	29,47
FORMALDEÍDO	22,62
ZINCO	18,89

**NORMALIZAÇÃO DOS IMPACTOS:** Como cada impacto é medido por unidade própria, é necessário ter uma ideia do efeito que esse impacto tem no universo impactado em um determinado tempo. Para tal é usado como padrão o potencial de assimilação per capita anual que cada emissão pode ter. Isso é fundamental para que no passo seguinte da análise de ciclo de vida, (que é a interpretação) possa ser identificado o exacto grau de efeito que determinado impacto causa no ciclo. Para tal é usado a Tabela 12.

Tabela 12: Normalização dos impactos (BEES 4.0)

<b>TABELA DE NORMALIZAÇÃO DOS IMPACTOS</b>	
<b>IMPACTO</b>	<b>VALOR PARA NORMALIZAÇÃO</b>
AQUECIMENTO GLOBAL	25582640,09 g CO2 EQUIV./ ANO/ PER CAPTA
ACIDIFICAÇÃO	7800200000,00 milimol H+ EQUIV./ ANO/ PER CAPTA
EUTROFIZAÇÃO	19214,20 g N EQUIV./ANO/ PER CAPTA
DEGRADAÇÃO DE COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS	35309,00 MJ ENERGIA/ANO/ PER CAPTA
QUALIDADE DO AR INTERIOR	35108,09 g TVOCs/ANO/ PER CAPTA
ALTERAÇÃO AO HABITAT	0,00335 T&E/ACRE/ PER CAPTA
CONSUMO D'ÁGUA	529957,75 l ÁGUA/ANO/ PER CAPTA
POLUIÇÃO DO AR	19200,00 micro DALYs/ANO/ PER CAPTA
SMOG	151500,03 g NOX EQUIV./ANO/ PER CAPTA
TOXICIDADE ECOLÓGICA	81646,72 g 2,4-D EQUIV./ANO/ PER CAPTA
DEGRADAÇÃO DA CAMADA DE OZÔNIO	340,19 g CFC11 EQUIV./ANO/ PER CAPTA
SAÚDE HUMANA	274557555,37g C7H8 EQUIV./ANO/ PER CAPTA

INTERPRETAÇÃO DOS DADOS: Depois de ter-se em mãos o inventário dos impactos é necessário fazer a interpretação dos seus resultados. Aqui não é apenas a componente ambiental que é analisada, mas também as componentes sociais e económicas

Quanto ao resultado ambiental o mais difícil da análise é definir o peso que os impactos têm numa avaliação global, pois esta análise depende de factores como:

- Local onde está sendo feita a análise,
  - Tipo de especialização do painel que analisa,
  - Visão sociocultural da sociedade que irá ser impactada directamente,
  - Disponibilidade de recursos,
  - Grau de formação e ou especialização da mão-de-obra local,
  - Tipo de legislação a que esta sujeita a análise.
- Local onde está sendo feita a análise: É talvez o principal aspecto a ser analisado pois dele depende, em grande parte, a atribuição dos pesos dos impactos, visto que o mesmo

impacto tem importância completamente distinta dependendo do local objecto de análise. Um exemplo disso é o consumo de água. Apesar de ser uma preocupação mundial é muito mais premente em determinadas regiões que em outras. Outro exemplo é a eutrofização que, em determinadas regiões, podem mudar completamente a forma de vida de todas as espécies inclusive a do homem. Outro aspecto importante a ser salientado nesse campo é o facto de, às vezes, um impacto não parecer tão prejudicial a um local mas que pode ser altamente influente em outro. Exemplo disso são os estuários onde pássaros migratórios se reproduzem e que, uma vez impactados, podem gerar efeitos completamente devastadores em regiões longínquas, é que estas podem ser predadoras de espécies que sejam pragas para uma determinada cultura agrícola de outra região e o alimento aí produzido pode, em muitos casos, ser a única fonte nutricional de uma determinada região. Nesse aspecto é importante, mais uma vez, a visão holística, pois é ela que irá fornecer subsídio de análise sobre o local o mais amplo possível.

- Tipo de especialização do painel que analisa: Essa questão é fundamental. De facto quanto mais interdisciplinar for a equipa julgadora mais serão ponderados aspectos que uma equipe com visão focada em temas específicos não teria. Essa questão interfere em quase todas as outras, pois é decorrente da formação de cada elemento, visto que temas conflitantes irão ser levantados e também na ponderação entre os aspectos ambientais, sociais e económicos, esse nível de especialização irá ser preponderante na análise.

- Visão sociocultural da sociedade impactada: Esse aspecto vai depender muito do tipo de produto ou processo em análise, bem como dos tipos de impactos que possam vir a causar. O universo impactado poderá estar restrito a uma pequena aldeia como poderá ser global. Mais uma vez torna-se altamente relevante o local onde será produzido o bem como também a formação da equipa de análise, pois ela terá que ter a visão exacta do universo impactado e conhecer profundamente (as vezes com uma visão ampla e outras vezes focando aspectos específicos) a sociedade local, bem como sociedades próximas ou longínquas que recebam impactos em maior e menor grau.

- Disponibilidade de recursos: Para analisar a questão económica é preciso ter dois enfoques temporais: o primeiro, relativo ao custo de produção. E o segundo relativo aos custos futuros, de operação e manutenção. O custo de produção é mais simples de

mensurar visto que o seu horizonte temporal encerra com a entrega do produto. Já em relação aos custos futuros, é preciso definir alguns aspectos:

O primeiro é a definição do tempo de análise futura ou tempo de vida financeiro do produto. Isso irá definir o valor presente de todos os custos futuros que serão atualizados a uma taxa pré definida. Essa taxa, para ser a mais precisa possível, deverá levar em conta a inflação bem como o prémio pago no mercado que o produto está inserido. O tempo é fundamental também para a definição da existência ou não de valor residual, pois a vida financeira do produto pode ou não coincidir com a sua vida útil<sup>14</sup>. Outro aspecto importante é a definição das manutenções periódicas que são também proporcionais ao horizonte de vida económica em estudo.

- Grau de formação e/ou especialização da mão-de-obra local: O aspecto social é uma variante na análise de ciclo de vida completa. É fundamental perceber se o produto ou processo em causa tem resposta na mão de obra local e, caso não tenha, o que seria necessário para especializar essa mesma mão de obra se o processo valeria a pena em função do tempo de vida em análise ser mais ou menos longo. Fundamental também será determinar a identificação natural do produto com a sociedade em causa pois as perspectivas de futuro para pós vida do produto devem ser ponderadas, visto que a especialização de uma sociedade pequena num determinada actividade com vida curta pode dificultar o processo futuro de adaptação a outro tipo de produção, principalmente quando tanto a primeira quanto a segunda actividade não são parte integrante do universo funcional ou imaginário da localidade em questão.

- Tipo de legislação a que está sujeita a análise: O aspecto jurídico é de fundamental importância pois o âmbito em que está inserido pode ser simplesmente local ou mesmo internacional. O conhecimento técnico, por parte de quem analisa as diversas legislações incidentes sobre o processo é fundamental para que a análise não só seja equilibrada, mas também para que, uma vez tomada a decisão entre produtos analisados, esses possam vir a ser produzidos. Isto porque a produção está assente sobre bases legais.

A análise de ciclo de vida é uma grande ferramenta com vista a um desenvolvimento sustentado e deve ser cada vez mais demandado o seu uso para que, no futuro, tenhamos

---

<sup>14</sup> Os tempos de ciclo vida de produto e seu tempo de vida de custo podem ser diferentes, essa diferença é fundamental de ser analisada para computar um maior ou menor valor residual do produto.

produtos com impactos reduzidos garantindo, assim, a sustentabilidade tão apregoada por uns e tão desejada por todos.

### 2.3 Construção sustentável

A construção vem desenvolvendo soluções e sistemas construtivos a fim de, cada vez mais, incorporar nas suas técnicas o conceito de sustentabilidade. Isso é de fundamental importância visto que a construção civil é responsável por um grande número de emissões com respectivos impactos para o planeta. Foi feito um estudo de impacto da construção civil nos Estados Unidos. Apesar de ser restrito ao universo americano, serve de parâmetro pois é feito num país com soluções e sistemas construtivos bastante desenvolvidos. O resultado do estudo mostrou que essa indústria é responsável pelo consumo de 12 % de toda água potável consumida no país, 30% das emissões de gases com efeito estufa estão ligadas à construção, 65% dos resíduos lançados no meio ambiente são oriundos de obras, 70% do consumo de electricidade acontece nos edifícios, aproximadamente 40% de todo consumo energético está nas edificações, 39% das emissões de co2 é originada no sector, 30% dos recursos naturais extraídos à natureza são consumidos na construção e o sector gera em média 30% de desperdício por obra. Fica claro que a construção civil é uma indústria de altíssimo impacto ambiental e, por esse motivo, é essencial que seja realmente implementado o conceito de construção sustentável o mais rápido possível.

Para que esta pratica seja uma realidade é preciso abordar o problema em três vertentes básicas

- AUMENTO DA EFICIÊNCIA DO EDIFÍCIO
  
- REDUÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL
  
- MELHORIA DA QUALIDADE DO AMBIENTE INTERIOR

#### 2.3.1 Eficiência do edifício

O aumento da eficiência dos edifícios esta directamente ligado com a redução dos consumos energéticos. Os edifícios, como já foi citado, são em média responsáveis por

40% dos consumos energéticos, nos países desenvolvidos ou em vias de desenvolvimento. Esses consumos estão basicamente centrados em energia para conforto térmico, águas quentes sanitárias e iluminação. Para que estes aspectos sejam satisfeitos numa edificação e os consumos energéticos possam ser minimizados é necessário a interacção de diferentes valências na escolha e concepção da edificação. Na escolha e/ou definição dos parâmetros abaixo residem uma maior ou menor eficiência energética de uma edificação:

a) ESCOLHA DO LOCAL

b) PROJECTO

c) DEFINIÇÃO DOS MATERIAIS

a) ESCOLHA DO LOCAL

A primeira questão que se coloca é a melhor localização para a construção de um determinado tipo de edificação. Esse factor condiciona a quantidade e direcção de energia radiada à edificação. Na velocidade, direcção e intermitência da ventilação natural. No índice de pluviosidade, nas temperaturas médias de Inverno e Verão e algumas outras componentes que não directa mas indirectamente vão interferir com a edificação.

b) PROJECTO

Aliado ao local, e em mesmo grau de importância, está o desenho da edificação. Através dele podem ser minoradas as deficiências apresentadas pelo local da construção.

É o projecto que define o factor de forma da edificação responsável pelas trocas térmicas com a envolvente. Também muito importante é o volume interno, pois o índice de renovação do ar interior é função deste volume. Ou seja, quanto maior o volume maior a energia necessária à renovação do ar e, com isso, a criação de melhores condições ao ambiente interior. O projecto define a quantidade de vãos envidraçados, o tipo de caixilho e vidro que compõe cada vão, em que fachada e a posição (dentro da fachada escolhida) que cada abertura se localiza, o tipo sombreamento, a existência ou não de protecção que altere o factor solar do vão e também a geometria do vão. Esses factores, em conjunto, serão responsáveis pela luminosidade no interior da edificação e pelos ganhos e/ou perdas térmicas para o exterior em função da radiação e ventilação

natural a que a edificação será submetida. Os projectos mais elaborados hoje em dia começam a ter a preocupação com o destino final da habitação. Ou seja, passa a ser importante, na fase de projecto, a forma como será feita a desconstrução da obra e o destino que terão os resíduos daí decorrentes quando chegar o final de ciclo de vida da edificação.

É fundamental para o êxito do projecto que haja uma multidisciplinaridade na sua concepção a fim de que sejam abrangidas e articuladas todas as variáveis influentes no seu resultado final.

### c) DEFINIÇÃO DOS MATERIAIS

Definir materiais é, no fundo, designar a performance que a construção poderá desempenhar. Um dos aspectos principais da eficiência energética gira em torno da definição do nível de isolamento da envolvente opaca, condicionante principal da carga térmica no interior da edificação. Essas cargas serão responsáveis pela definição da quantidade de energia necessária para incorporar ou retirar calor do ambiente interior, afim de lhe fornecer temperaturas de conforto pré determinadas em projecto. Outro aspecto fundamental na definição dos materiais é que eles condicionam a inércia térmica da edificação. A inércia é importante em climas onde haja uma variação diária de temperatura relativamente grande e que, apesar das temperaturas diurnas serem elevadas, as temperaturas nocturnas são amenas. A inércia gera um atraso térmico, ou seja, um retardo na transmissão de calor e, com a baixa temperatura exterior nocturna acontece a inversão do fluxo de transmissão do calor passando a ser do interior para o exterior da habitação. Ou seja, a massa térmica concentra energia enquanto é aquecida e, quando for irradiá-la, esse ciclo estará invertido devido à menor temperatura exterior. A fim de reduzir o consumo de água podem ser usados dispositivos de descarga em aparelhos sanitários com fluxo duplo, urinóis de baixo consumo e duches com controlo de vazão. Estes três elementos podem, em conjunto, reduzir bastante o consumo de água da construção. O uso de lâmpadas de baixo consumo bem como de dispositivo de controlo de iluminação reduzem o consumo eléctrico.

Além de todos esses recursos a materiais mais inteligentes eles funcionam muito melhor quando incorporado a sistema domóticos que tornam os materiais mais funcionais e consegue-se retirar muito mais rendimentos das suas propriedades.

Os edificios representam uma grande fonte de impactos como já foi citado anteriormente. Então é de fundamental importância tentar reduzir ao máximo os

impactos possíveis. Essa preocupação também engloba a qualidade do ambiente interior, pois são factores completamente interligados. A seguir apresentam-se algumas medidas de redução de impactos e de controlo da qualidade interior do edifício:

- Utilizar materiais reciclados
- Utilizar materiais fabricados o mais próximo possível do local de aplicação, a fim de reduzir as emissões de transporte
- Utilizar madeira reciclada ou de exploração certificada
- Reduzir consumo de PVC
- Controle emissão dos compostos orgânicos voláteis nos materiais
- Controle de emissão de formaldeídos nos materiais
- Dar prioridade a materiais com baixa energia incorporada no processo de fabrico
- Utilizar material refrigerante com impacto zero na camada de ozónio
- Dar prioridade aos inertes reciclados
- Dar prioridade aos materiais de baixa emissão de CO<sub>2</sub>
- Reduzir consumo de cimento
- Utilizar vegetação local
- Reduzir o tempo de construção
- Aumentar a vida útil da edificação

É fundamental, também, lançar mão das energias renováveis a fim de suprir as necessidades energéticas das edificações. A forma mais comum de energia renovável incorporada na edificação é a energia solar, que, quando captada, pode ser transformada em energia térmica ou eléctrica. A energia solar térmica é mais viável visto que o custo de captação/geração já é bastante razoável permitindo um pay-back do investimento em prazos de até 3 anos<sup>15</sup>. A energia solar térmica é basicamente usada no aquecimento de águas quentes sanitárias, como apoio aos sistemas de aquecimento e começam a ser desenvolvidas máquinas de arrefecimento com base na energia térmica solar. A energia solar eléctrica ainda não é muito desenvolvida em função dos custos de implantação do sistema, visto que os painéis de captação têm como componente principal o silício que, além de ser caro (haja vista a concorrência de consumo com o sector informático) apresentam também o rendimento de geração ainda baixo, fazendo com que o tempo de retorno dos painéis seja bastante longo. Existe uma tendência para que esses custos

---

<sup>15</sup> Estudo de viabilidade técnico/económico realizado pela AREAL (Agência Regional de Energia e Ambiente do Algarve) para as piscinas municipais de Vila Real de Santo António.

venham a diminuir bastante e também que a concepção geração/produção mude. Ou seja, que aproxime o mais possível a geração do consumo. O impacto das megas gerações são muito grandes e os custos de transmissão são directamente proporcionais a distância. Então é natural que cada vez mais surjam incentivos relacionados com a auto geração energética. Hoje já é fácil incorporar esses elementos nas arquitecturas de fachada e/ou coberturas. Outra fonte importante de atitude sustentável é captação de água da chuva, bem como o tratamento selectivo de esgotos com fins de reaproveitamento o que diminui a demanda por água externa.

É possível que surja conflitos na escolha dos materiais, pois nem sempre, o material que melhor isola a envolvente (e por conseguinte reduz o consumo energético), tem menores impactos ambientais. Essa ambiguidade é a grande equação a ser resolvida pelo projectista afim de ter um produto final o mais sustentável possível. Será apresentado, mais a frente, um estudo mais aprofundado sobre a relação entre a escolha de soluções construtivas de envolvente opaca que reduzam o consumo energético e os seus respectivos impactos. Apresenta-se a seguir, alguns casos de estudos de edifícios com alta preocupação com a sustentabilidade.

O primeiro exemplo vem do SHIODOME TOWER<sup>16</sup> que é um edifício de escritórios com hotel incorporado, localizado em Tóquio no Japão. O prédio é composto por 42 pisos, sendo 38 acima do solo e 4 em subsolo. Tem área total construída de 72.131 m<sup>2</sup> projectado e construído pela Kajima Corporation e pode ser ocupado por 4000 pessoas. Nesse edifício foram postas em prática diversas iniciativas afim de reduzir os impactos da construção. Cita-se abaixo alguns exemplos.

Na fachada foi usado como revestimento ladrilho de terra cota fabricado com controlo de temperatura no processo de queima, representado na Figura 1. Para a produção desse revestimento, 40% da matéria-prima usada teve origem em reciclagem. Com isso reduziu-se as emissões de gases com efeito estufa e consequentemente o aquecimento global. Foi diminuído o impacto na camada de ozono e houve uma menor intervenção ao habitat, visto que parte da matéria-prima é originária em reciclagem. O facto de ter sido feita essa opção gerou uma imperfeição na constância de tonalidade do revestimento que, a princípio, seria encarada como problema mas que, no caso do

---

<sup>16</sup> SHIODOME TOWER edifício sustentável construído no Japão com o tema de concepção “ Uma torre sustentável é amiga das pessoas e do ambiente”.

edifício, foi encarada como mais valia na fachada. Isso mostra que a arquitectura foi sensível à problemática ambiental.

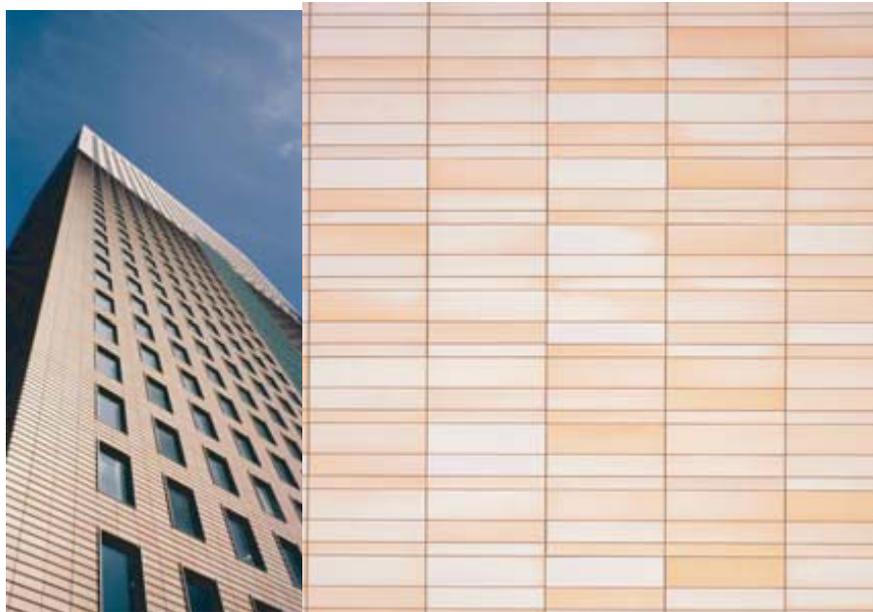


Figura 1: Detalhe do revestimento de fachada do SHIODOME TOWER

Com a preocupação de aumentar a produtividade das pessoas que ocupam ambiente interior foram criados escritórios com pé direito duplo, com um espaço de comunicação e jardim interior, representado na Figura 2. Tudo isto com foco no bem-estar do ocupante e a produtividade que isso vai dinamizar.



Figura 2: Detalhe do pátio interno do SHIODOME TOWER

Foi adoptado um sistema inteligente de ventilação natural que contribuiu para a redução do recurso a ar condicionado. O sistema baseia-se em introduzir a ventilação natural directa no jardim do escritório. Nas zonas de trabalho, como é necessário o controle da ventilação e humidade, a ventilação é feita através de saídas de ar no tecto, também usadas para a pressurização do ambiente em caso de incêndio, reduzindo assim o custo de construção. É importante salientar que nos meses mais quentes é feita uma purga nocturna do calor, fazendo o sistema trabalhar invertido e, com isso, retirando calor do espaço ocupado e arrefecendo tanto o sistema quanto as saídas de ventilação que farão o processo de introdução do ar exterior no dia seguinte.

O sistema de climatização é híbrido, usado em parte do ano para aquecimento e em parte para arrefecimento. É composto de pequenas colunas de distribuição do ar que andam paralelas à envolvente exterior e que são ligadas a tubos, que transportam ar frio, no verão, pelo tecto ar quente no Inverno pelo piso. E também extraem o ar interior, fazendo a sua renovação. O prédio é provido de um sistema de gestão de energia (BEM) que é capaz de melhorar a eficiência energética na operação e de verificar a performance, resultando num baixo custo operacional.

O prédio ainda conta com vaporização para controle de humidade, monitorização das emissões de compostos orgânicos voláteis (VOC'S), monitorização de níveis de CO<sub>2</sub>, áreas de fumadores separadas, cobertura ajardinada, centro de controle, janelas com estudo de dimensionamento levando em conta o factor perda/ganho, vidros duplos de baixa emissividade, equipamento para conservação de água, aproveitamento de água da chuva, reutilização das águas residuais, uso de agregados reciclados, uso de adesivos não emissivos de VOC's, uso de tinta de base aquosa, sistema de aquecimento e arrefecimento fornecido pelo distrito, sistema de purificação dos resíduos de cozinha e controlo de vibração e sistema anti-sismos.

Todos esses referenciais fazem deste edificio uma obra certificada GBtool score 2.7

O segundo exemplo é o edificio comercial da companhia BORDO situado na Austrália, desenhado por James W. Sadler (SBE) e construído pela construtora Kingston<sup>17</sup>. O empreendimento é certificado com ranking de 5 estrelas pela GREEN STAR, para tal não foi necessário aumentar significativamente o custo de construção. Adoptando-se medidas relativamente simples foi alcançado um excelente resultado final. Medidas como a preocupação com orientação do edificio, o uso de janelas eficientes, um super

---

<sup>17</sup> Kingston Property Constructions Pty Lda, empresa de construção civil australiana.

isolamento da envolvente e um sombreamento eficiente, reduziram o consumo de energia em 68% quando comparado como o edifício comercial comum na Austrália.



Figura 3: Detalhe interior dos caixilhos do edifício da companhia BORDO



Figura 4: Detalhe da fachada e sombreadores do edifício da companhia BORDO

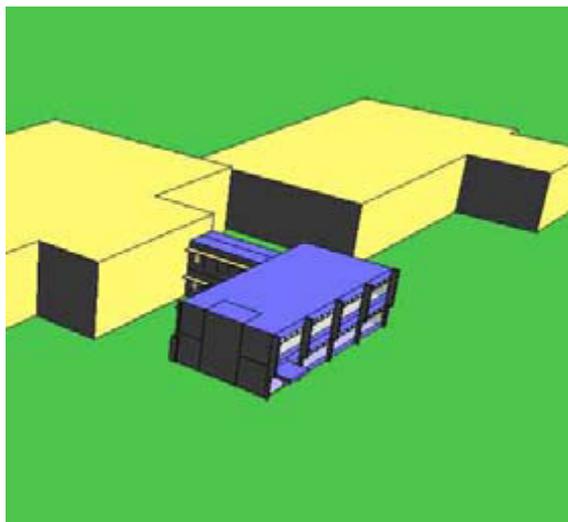


Figura 5: Perspectiva exterior do edifício da companhia BORDO

Foi ainda adoptado um sistema efectivo de ventilação natural, eliminado o encandeamento interno pela luz do sol através de sombreadores externos e protecção interna, Figura 4. Foram utilizadas lâmpadas de alta-frequência digital reduzindo efeito de sombra e custo de utilização. Fizeram-se acabamentos com carpetes e tintas de baixa emissividade em relação a VOC's. Adoptaram-se vãos de janelas com dimensão de piso ao tecto e espessura da laje o mais reduzida possível cria um ambiente interno altamente iluminado. Como as janelas e seus dispositivos podem ser operados pelos ocupantes, o nível de ventilação e sombreamento é sempre adequado ao usuário do prédio, Figura 3. Também foi usado um sistema de aquecimento solar para águas quentes sanitárias dotado de circulação por termossifão o que minimiza os consumos energéticos.

O terceiro exemplo também vem da Austrália. O edifício é um centro automotivo de excelência (ACE), foi projectado por Lyons Architects e Umow Lai Environment, construído pelo Carson Group e é propriedade da Kangan Batman Tafe<sup>18</sup>. As soluções e sistemas construtivos são considerados um marco científico na Austrália. Para o empreendimento foi desenvolvido um plano de gestão ambiental e também uma sistemática de gestão deste plano. Projectistas e gestores foram treinados pelo Green Building Council (órgão australiano de desenvolvimento da construção sustentável), foi criada uma comissão que passou um ano estudando o desenho ideal do edifício. Após a construção foi criada uma comissão independente para monitorar a performance ambiental do prédio.

---

<sup>18</sup> Kangan Batman Tafe, empresa australiana voltada para o ensino na vertente industrial.

Em relação à qualidade interior, o edifício ele é provido de: Clarabóias, alto nível de isolamento acústico, sombreamento exterior para os vãos envidraçados (Figuras 6 e 9), vigas com sistema de arrefecimento activo, chaminés térmicas para ventilação, modelação térmica que assegura a mínima flutuação da temperatura interior, aquecimento na laje de piso, medições e controle das taxas de dióxido de carbono, os móveis e derivados de madeira apresentam baixa emissividade de formaldeído e foram usados matérias para carpetes, pinturas, adesivos e selantes com baixa emissividade de outros VOC's.

Em relação à energia, as medidas adoptadas foram: Arrefecimento passivo (através do resfriamento nocturno), torre de arrefecimento da água para o sistema de refrigeração. Sistema de conforto térmico de baixo consumo energético (BATISO)<sup>19</sup>, 67% de redução da demanda energética para os sistemas de ventilação e ar condicionado. Redução de emissão de gases com efeito estufa de 44 ton/ ano o que corresponde a poupar 65 árvores. Foram dispostos na fachada norte 500 m de sombreadores, a fim de reduzir as cargas térmicas interiores do edifício. Foi projectado um átrio na fachada leste para servir de escudo térmico para o ambiente interior, Figura 7. Utilizaram-se lâmpadas eficientes e sistema de sensores para iluminação, controlo de monóxido de carbono no parque de estacionamento fechado, sistema de captação de energia solar (tanto térmica quanto eléctrica), diminuição do consumo de energia nos horários de ponta pela armazenagem de água para arrefecimento.

Em relação ao consumo de água, foram implementados: Urinóis de baixo consumo. Cisterna de 130 mil litros para captação de água da chuva afim de usar nas sanitas e urinóis, na lavagem de carros, no sistema de rega e no sistema de refrigeração nocturno. Torre eficiente para refrigeração de água. Sistema de fluxo 3/6 para descargas sanitárias e duches com classificação de 5 estrelas em consumo.

Em relação aos materiais empregados, a preocupação ficou centrada em: Usar madeira de exploração sustentável, minimizar o uso de PVC e facilitar a reciclagem do material de escritório futuro.

Houve uma preocupação específica em que todo material usado na refrigeração fosse de impacto zero na camada de ozono.

---

<sup>19</sup> BATISO, sistema, desenvolvido pela empresa alemã ZENT-FRENGER, que aproveita a inércia térmica dos elementos internos da construção nos sistemas de aquecimento e arrefecimento.

No edifício foram usadas algumas inovações muito importantes: O sistema BATISO de qualidade térmica interior (Figura 11), que é um sistema híbrido onde funciona o aquecimento de Inverno e arrefecimento de Verão e foi adoptada a estratégia de arrefecimento nocturna. O uso da água captada com a chuva para auxiliar no sistema de arrefecimento e, finalmente, o projecto no seu conjunto que foi de uma inovação notável.



Figura 6: Sombreadores verticais do centro automotivo da KANGAN BATMAN

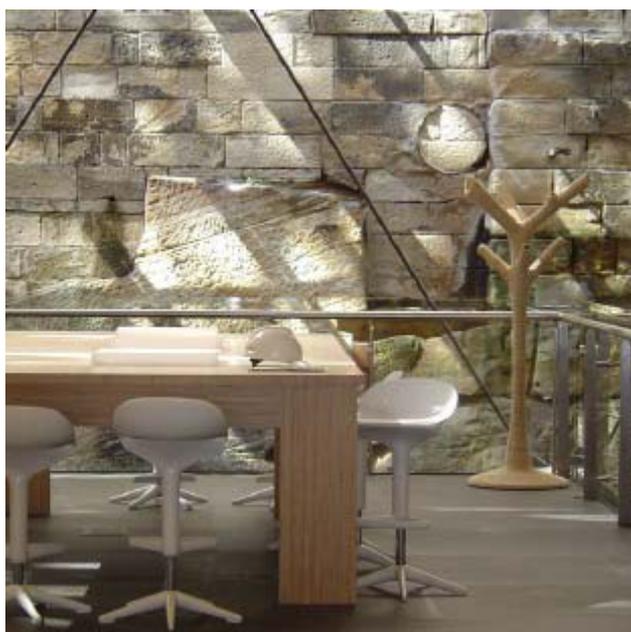


Figura 7: Vista de espaço interior do centro automotivo da KANGAN BATMAN



Figura 8: Painéis solares do centro automotivo da KANGAN BATMAN



Figura 9: Cobertura sombreando fachada do centro automotivo KANGAN BATMAN

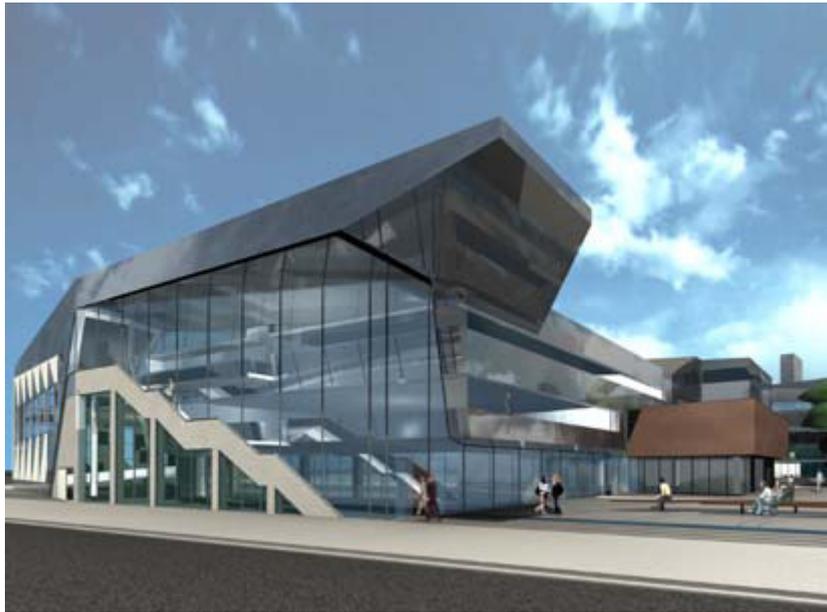


Figura 10: Perspectiva exterior do centro automotivo da KANGAN BATMAN

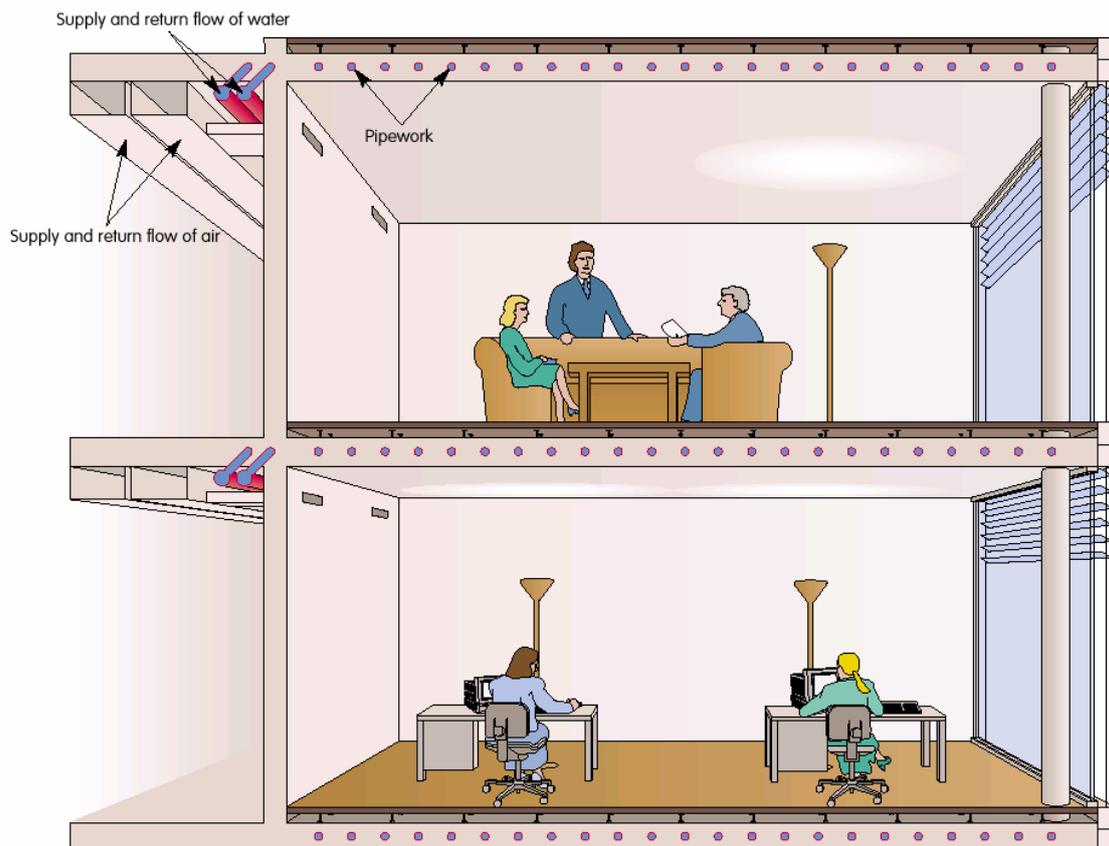


Figura 11: Esquema de funcionamento do sistema BATISO

O quarto exemplo aparece para descrever uma reabilitação de um prédio antigo, talvez o grande foco da construção nas próximas décadas em alguns países. Serve para mostrar que com um custo muito parecido com uma reabilitação usual é possível prover o edifício de características que reduzam bastante as suas emissões e seus respectivos impactos. O edifício em causa é o The Blazer Theater at Herren's<sup>20</sup>, Figura 12, localizado em Atlanta nos Estados unidos. A construção original é de 1934 e nela funcionou o famoso restaurante Herren's entre 1934 e 1987. O edifício localiza-se na baixa de Atlanta e foi escolhido exactamente para fomentar a recuperação do centro histórico daquela cidade. A reabilitação é certificada com a categoria SILVER no sistema LEED. O teatro fica numa rota muito bem servida de transportes públicos e, para beneficiar a comunidade usuária de bicicleta, é provido de um parque abrigado para os ciclistas. Dispõe de uma cisterna de aproximadamente 20 mil litros que capta água da chuva e que abastece os sistemas de descargas das casas de banho. Junto com urinóis e sanitas de baixo consumo, lavatório com fluxo de vazão controlado e sensores de utilização incorporado, foi obtida uma redução de mais de 50% da demanda necessária de água potável quando comparado com um edifício similar. Foi conseguida uma redução de 25% do consumo energético em função de: uso de janelas eficientes, do isolamento da envolvente opaca, do controle de demanda da ventilação e do uso de aparelhos e lâmpadas eficientes. Para a construção foram seleccionados materiais de baixa emissividade química, privilegiou-se o uso de materiais com baixa energia incorporada e 75% das demolições realizadas foram aproveitadas como material de enchimento no próprio local.

---

<sup>20</sup> Teatro localizado num prédio onde originalmente funcionou o famoso restaurante Herren's, na cidade de Atlanta nos Estados Unidos da América.



Figura 12: Fachada do The Blazer Theater at Herren's

O quinto exemplo vem de Santa Mónica estado da Califórnia nos Estados Unidos. O Colorado Court é composto de 44 residências, um pátio externo comum e parques distintos para automóveis e bicicletas. Foi o primeiro edifício 100% energeticamente independente dos Estados Unidos. A proposta foi dotar o projecto dos meios mais desenvolvidos afim de garantir a máxima redução do consumo energético tanto na fase de construção como nas de utilização e desconstrução. O projecto lança mão de estratégias solares passivas que incluem: Locação e orientação do edifício afim de preservar o controle solar, procura por uma exposição ideal aos ventos, indução da maior ventilação natural possível, janelas com máxima absorção de luz do dia, sombreamento de fachada sul afim de evitar sobreaquecimento, tratamento da fachada oeste para não acontecer encandeamentos e sobreaquecimento, janelas desenhadas para facilitar a ventilação natural e lay-out interior que facilite a distribuição da luz e ventilação captada no exterior. O edifício é provido de sistema misto de produção de energia. E primeiro plano aparece uma turbina alimentada a gás natural provida de sistema de recuperação de calor e, em conjunto com ela, a geração eléctrica por painéis fotovoltaicos. O sistema consegue converter o gás natural em energia eléctrica com uma eficiência maior que o dobro da eficiência da energia primária servida pela rede local e ainda aproveita o desperdício de calor da operação para aquecer a água quente sanitária durante todo ano e gerar energia para o aquecimento no meses de frio, o que reduz significativamente o consumo de gás para estes fins. Os painéis fotovoltaicos geram energia que é vendida a rede durante o dia que, por ventura, poderá ser usada em

horários de pico. A previsão de retorno do sistema é que seja pago em 10 anos visto que apresenta uma redução de custo de gás mais electricidade de 6000 dólares/ano. A Figura 13 mostra o detalhe dos painéis fotovoltaicos no edifício e a Figura 14 apresenta um esboço do edifício, apresentando assim uma ideia global da arquitectura exterior da edificação.



Figura 13: Painéis fotovoltaicos para produção de energia no COLORADO COURT



Figura 14: Esboço da perspectiva exterior do COLORADO COURT

Do estudo aprofundado destes e de diversos outros exemplos é possível identificar que algumas soluções ou sistemas construtivos são característicos de determinados empreendimentos, mas os aspectos mais importantes e que definem a directriz comum são os seguintes: A preocupação com a localização do edifício em relação a sua exposição solar (visto que é ela que pode vir a ser o grande factor de prejuízo ou ganho de energia incidente no interior da edificação). A escolha de materiais para a envolvente opaca e translúcida que gerem o menor impacto possível com os melhores resultados desejados. A evolução contínua de sistemas de ventilação, aquecimento e arrefecimento activos e passivos do edifício. Uma busca constante por sistema de captação, armazenamento e transformação de energias renováveis. Uma preocupação cada vez maior com a qualidade do ambiente interior, facto que interfere desde da escolha dos materiais empregues até à forma é feita a distribuição dos fluxos luminosos e de ventilação dentro do lay-out interior. A água passa a ser questão decisiva nos projectos, com ênfase para captação de águas da chuva, redução dos consumos e reutilização de águas residuais. O tempo de construção passa a ser factor importante e decisivo na forma como se opta pela modelo construtivo, visto que o prazo representa impactos ambientais significativos pelo simples facto de existir, bem como o custo do dinheiro no tempo tende a ser cada vez maior. Os resíduos gerados numa construção também são de fundamental importância na decisão do sistema construtivo pois a gestão deles é cada vez mais custosa em termos ambientais, económicos e sociais. O tempo de vida útil das edificações ainda é muito curto e é importante que aumente, e muito, afim de diluir os impactos que tendem a ser cada vez menores num espaço de tempo cada vez maior. A escolha de equipamentos eléctricos e electrónicos precisa passar pelo consumo.

A grande questão que se coloca é a do discernimento necessário para escolher soluções, sistemas e materiais construtivos que equacionem bem a relação ganho/impacto quando comparado o ganho de performance com o aumento do impacto. Essa questão é colocada muitas vezes e quase nunca é de fácil solução, demandando um conhecimento bastante aprofundado por parte dos profissionais envolvidos.



## **CAPÍTULO 3 - PANORAMA ENERGÉTICO MUNDIAL**



### 3 PANORAMA ENERGÉTICO MUNDIAL

#### 3.1 Energia

Definir energia não é uma questão simples. O conceito físico de energia pode ser definido como o potencial inato para executar trabalho ou realizar uma acção. Porém, o conceito de energia é muito mais amplo que isto. A energia tem desempenhado um papel fundamental no desenvolvimento humano e económico das sociedades. A madeira foi durante muito tempo a matriz energética da humanidade, basicamente a partir da revolução industrial a sociedade moderna usa cada vez mais energia para a indústria, serviços, residências e transportes. Isso fez mudar a matriz energética, visto que a madeira já não supria com eficiência a demanda. O carvão mineral torna-se, então, o suporte energético, passando posteriormente a ser o petróleo.

A questão energética atravessa há já algumas décadas uma situação altamente delicada com consequências difíceis de mensurar. A questão resume-se basicamente a três tópicos:

- Segurança do fornecimento energético
- Protecção ambiental
- Garantia do crescimento económico

##### 3.1.1 Segurança

A questão da segurança é um problema global que interfere inclusive na soberania das nações, tanto das demandantes quanto das fornecedoras.

A industrialização no decorrer do século 20 está marcada pela ascensão do petróleo como a mais importante das fontes de energia primária. Aqui cabe um parêntesis para tocar nas nomenclaturas da energia. Designa-se por energia primária aquela oriunda de fontes providas pela natureza na sua forma directa. É o caso do petróleo, do gás natural, do carvão mineral, da energia hidráulica, da lenha etc. A maior parcela dessa energia é consumida (transformada), nos centros de transformação (refinarias, plantas de gás natural etc.) e é convertida em fontes de energia secundária (óleo diesel, gasolina etc.), com suas respectivas perdas de transformação. Outra parcela da energia primária é consumida directamente nos diversos sectores da economia, sendo este consumo designado por consumo final. Exemplo disso é o consumo de lenha para cozimento, consumo de carvão em fornos, etc. A energia secundária tem grande parte da sua

produção consumida directamente, mas também pode sofrer nova transformação, dando origem a novas fontes de energia secundária. É o caso da transformação de óleo combustível em electricidade, nafta em gás canalizado, etc.

Voltando a situação do petróleo, como a suas maiores jazidas convencionais são em áreas de forte vulnerabilidade política e militar esse fornecimento é sempre condicionado por conflitos que já existem ou estejam na eminência de existir. Zonas como o médio oriente, a Rússia, alguns países africanos e agora também a Venezuela, são ambientes de grande volatilidade institucional, uns por questões religiosas, outros são geridos por ditaduras muitas vezes militares. Tudo isso cria uma grande incerteza no mercado consumidor que, pelo seu lado, não tem feito seu papel e é cada vez mais dependente da energia produzida nessas zonas conflituosas. Essa instabilidade política e militar desses países, bem como a volatilidade do mercado globalizado, faz do preço futuro do barril de petróleo um dado difícil de ser previsto e altamente influenciador do custo de outros produtos.

A grande questão que se coloca é que para que haja uma opção sustentável de fonte energética é preciso, além da vontade política a contribuição científica para o desenvolvimento. Mas para que tal ocorra são necessários recursos, muitas vezes de risco. Acontece que na conjectura actual, onde o retorno no negócio dos hidrocarbonetos é muito alto, os possíveis investidores não se habilitam para tal.

### 3.1.2 Protecção ao meio ambiente

A protecção ambiental passa por tentar conter a emissão de gases com efeito estufa, que está directamente ligada ao consumo de combustíveis fósseis. O WEO 2007 da Agência Internacional de Energia (EIA)<sup>21</sup> faz um ponto da situação das emissões e projecta dois cenários futuros. Num primeiro cenário projectado, chamado cenário de referência, estima-se para o ano de 2030 que as projecções dos poluentes sejam conforme são o nível de emissões actuais. Outro cenário projectado é o cenário das alterações que contempla todas as acções políticas que já estão propostas, em regulamentação e outras já recém colocadas em prática. Pelo relatório verifica-se que as emissões no ano de 2005 são da ordem de 28.1Gton equivalentes de CO<sub>2</sub>. No cenário de referência, em 2030, essas emissões seriam de 42.3Gton equivalentes de CO<sub>2</sub>, e no cenário mais

---

<sup>21</sup> EIA (International Energy Agency) corpo autónomo de trabalho criado dentro da OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) em 1974.

favorável de 23Gton equivalentes de CO<sub>2</sub>. Isto mostra que é fundamental a implementação das políticas relativas a sustentabilidade. Primeiro, porque as alterações climáticas do cenário de referência seriam insustentáveis em segundo lugar, porque existe um protocolo assinado e os países signatários precisam fazer honrar o compromisso assumido. Conseguir reduzir as emissões não será uma tarefa simples, uma vez que cada vez será maior a parcela de contribuição para elas dos países em desenvolvimento e não se pode, de forma alguma, vir a negar a estes países a possibilidade de desenvolvimento que o mundo desenvolvido já obteve desde o século passado. Para que este impacto não seja degenerativo para o planeta é necessário o intercâmbio de técnicos de países em desenvolvimento com as tecnologias mais avançadas já usadas por países desenvolvidos. Para se ter uma ideia a respeito do que o desenvolvimento pode fazer, o governo japonês estima que, se as plantas industriais dos Estados Unidos da China e da Índia tivessem a eficiência da indústria japonesa, seria possível reduzir em 1.3 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes as emissões anuais, o que corresponde a todas as emissões japonesas<sup>22</sup>. É necessário identificar as melhores práticas ambientais de cada sector produtivo e fazer com que elas possam ser utilizadas por todos. Outra questão fundamental é a tentativa de reduzir o valor da relação CO<sub>2</sub>/PIB a valores menores possíveis e sempre decrescentes. É fundamental que se consiga elevar o PIB dos países, mas sem pressionar o aumento das emissões. Isso só se consegue com eficiência energética. A União Europeia foca a sua atenção nas energias renováveis, num mercado internacional de energia e em desenvolver novas tecnologias energéticas. Uma das principais apostas é a da cogeração de energia, processo que consegue conjugar a produção de energia eléctrica com energia térmica, reduzindo as perdas de transformação a 10% (quando seriam naturalmente de 40%). É muito importante focar o combate às emissões no processo de produção de energia pois ainda é uma grande fonte geradora de perda e, com isso, de emissão. O Gráfico 1 relaciona a produção de CO<sub>2</sub> com o PIB de cada país, já o Gráfico 2 relaciona as emissões por habitantes.

---

<sup>22</sup> Dados do WEO 2007

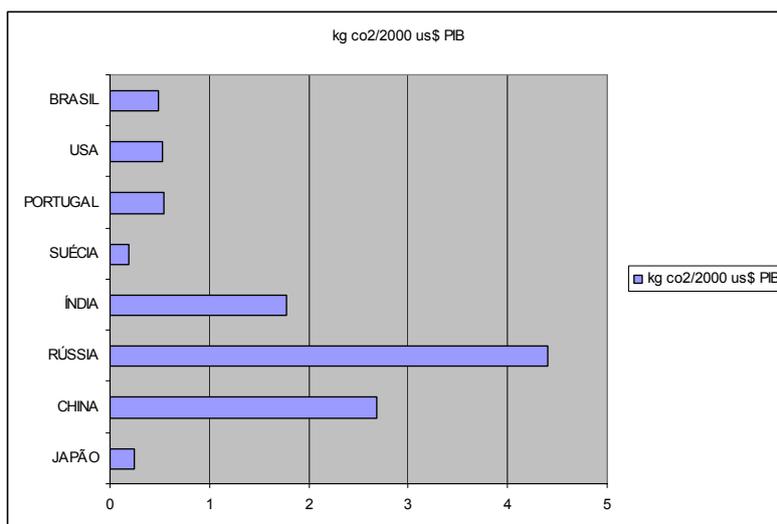


Gráfico 1: Produção de CO2 em relação ao PIB dos países

Observando o Gráfico 1 é fácil de identificar a excelência de Japão e Suécia em relação à eficiência energética, bem como o péssimo desempenho de Rússia, China e Índia e a grande margem de melhora que pode ocorrer nos estados Unidos.

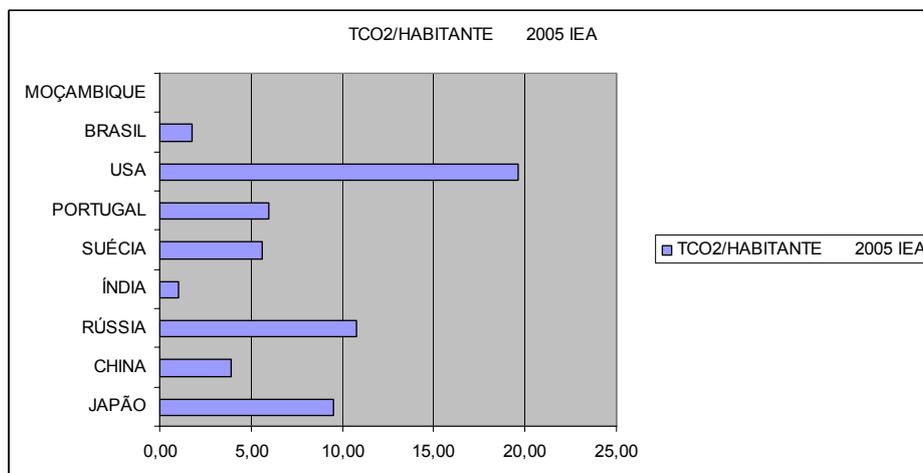


Gráfico 2: Produção de CO2 per capita

O Gráfico 2 representa a pegada ecológica de cada habitante de diversos países. É claro que o mundo desenvolvido requisita muito mais do planeta que os países mais pobres, mas também é fácil de perceber a diferença de cultura ambiental entre a Suécia (e até mesmo o Japão) e os Estados Unidos. Um dado curioso é que a Rússia, mesmo não fazendo parte do mundo desenvolvido, tem uma grande parcela de emissão per capita. O dado mais triste disso tudo é a quase inexistência da parcela de emissões em

Moçambique. Se por um lado não polui, por outro todos sabemos que é uma população sem acesso a nada.

As políticas passam por introduzir na indústria toda a tecnologia possível para a eficiência energética. No sector das habitações, apostar nas construções de baixo impacto construtivo bem como no baixo consumo no tempo de uso, projectadas para uma vida útil mais longa. E também dotar as habitações de electrodomésticos e iluminação de baixo consumo. No que toca aos transportes, tentar dotar os antigos veículos de um combustível mais eficiente e mudar a nova geração de automóveis para veículos menos emissivos ( híbridos, eléctricos, hidrogénio, biocombustíveis, etc.).

O Gráfico 3 mostra os percentuais de emissões de cada sector da economia no ano de 2005 (fonte na Agência Internacional de Energia).

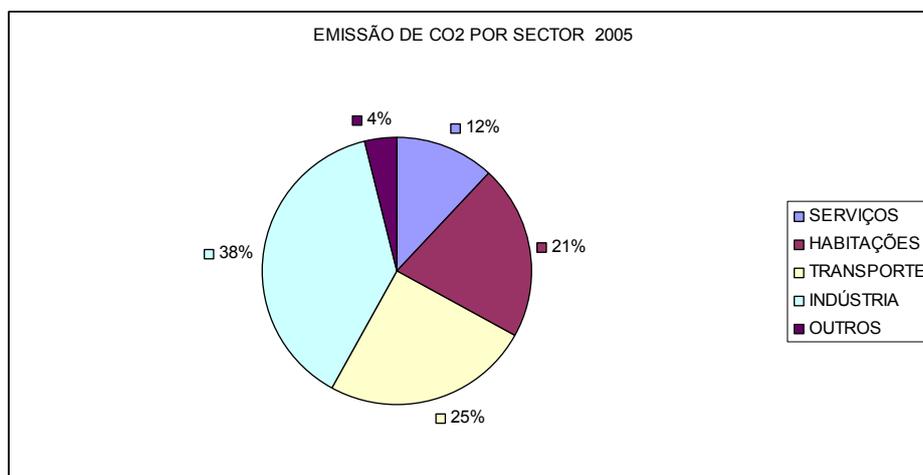


Gráfico 3: Emissões por sector na economia mundial

Além da eficiência, que já foi responsável por reduzir em 5.5Gton equivalentes de CO2 as emissões quando comparada com a curva projectada na década de 80 do século passado, é importante promover a conservação de energia, o recurso a energia nuclear e as novas formas de energia que tenham baixo poder emissivo.

China e Índia têm um papel fundamental no processo de contenção das emissões. Por essa razão, o WEO (World Energy Outlook) 2007 da Agência internacional de energia focou as análises nesses países. E concluiu que, para 2030, China e Índia irão mais que dobrar suas emissões pelo crescimento previsto. A grande estratégia aqui passa por alterar a eficiência produtiva desses países e procurar soluções quanto à questão da matriz energética. Os Estados unidos, a Rússia e o Japão completam, com aqueles dois países antes já citados, um grupo de cinco países que são responsáveis por mais de 50%

de todas as emissões de CO<sub>2</sub>. O Japão vem tentando cumprir seu papel, os Estados Unidos são ambíguos na matéria pois, apesar de não serem signatários de Quioto, têm desenvolvido grande inovação no sector. A Rússia, por seu lado, preocupa mais pois tem um parque industrial envelhecido e, apesar das projecções de crescimento serem inferiores as da China e Índia, tem um grande potencial para crescer e, com isso, emitir de forma descontrolada. A Tabela 13 apresenta as emissões dos cinco países mais poluentes no ano de 2005 e suas projecções para 2015 e 2030.

Tabela 13: Cinco maiores emissores de CO<sub>2</sub> e suas projecções (WEO 2007)

CINCO MAIORES EMISSORES DE CO <sub>2</sub> E SUAS PROJEÇÕES (WEO 2007)								
2005			2015			2030		
PAÍS	EMISSÕES GTON	POSIÇÃO	PAÍS	EMISSÕES GTON	POSIÇÃO	PAÍS	EMISSÕES GTON	POSIÇÃO
USA	5,8	1 <sup>a</sup>	USA	6,4	2 <sup>a</sup>	USA	6,9	2 <sup>a</sup>
CHINA	5,1	2 <sup>a</sup>	CHINA	8,6	1 <sup>a</sup>	CHINA	11,4	1 <sup>a</sup>
RÚSSIA	1,5	3 <sup>a</sup>	RÚSSIA	1,8	4 <sup>a</sup>	RÚSSIA	2	4 <sup>a</sup>
JAPÃO	1,2	4 <sup>a</sup>	JAPÃO	1,3	5 <sup>a</sup>	JAPÃO	1,2	5 <sup>a</sup>
ÍNDIA	1,1	5 <sup>a</sup>	ÍNDIA	1,8	3 <sup>a</sup>	ÍNDIA	3,3	3 <sup>a</sup>

A seguir, e no intuito de resumir o contexto das emissões apresenta-se a Figura 15 com o mapa global das emissões, com dados da Agência Internacional de Energia relativos a 2005.

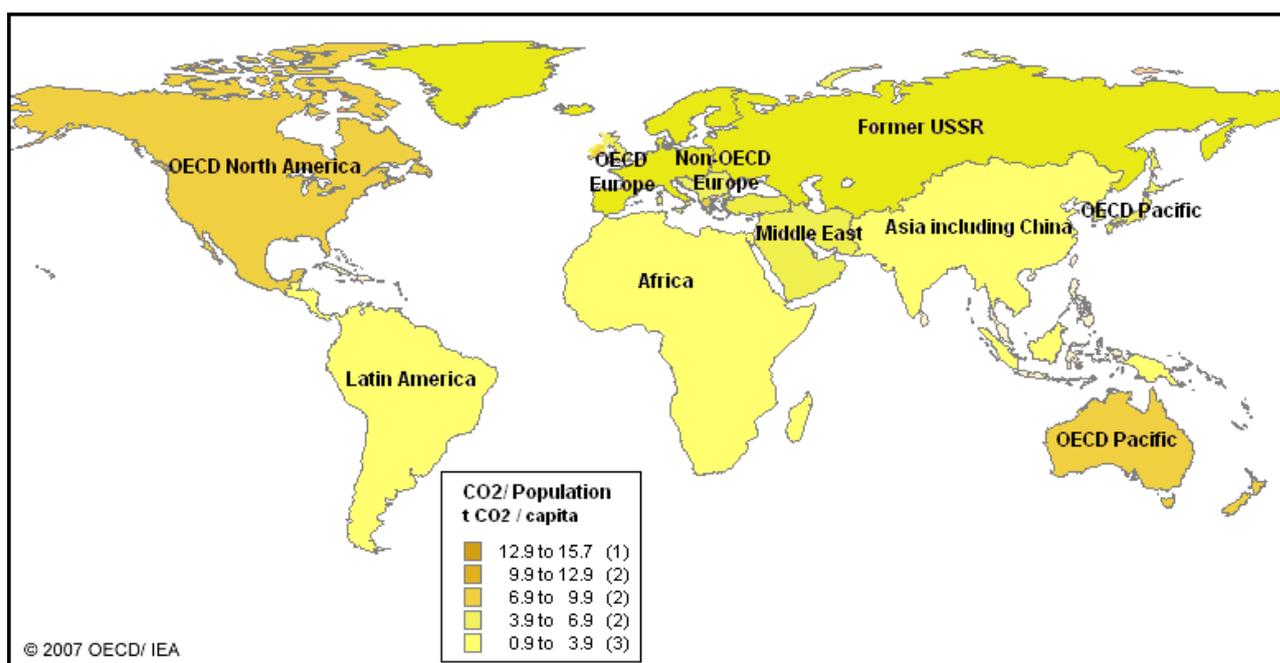


Figura 15: Mapa das emissões mundiais

### 3.1.3 Garantia de desenvolvimento

Garantir o crescimento económico talvez seja a questão mais complexa, pois a interferência da tecnologia não basta. Ou seja, não é meramente uma questão científica, já que depende do funcionamento do mercado e este é muito complexo e por muitas vezes imprevisível. Então temos a situação actual: todas as previsões das agências de energia indicavam que o preço do barril de petróleo em meados de 2008 não estaria acima dos 75 dólares americanos. Apesar disso, a cotação de Junho já flutuava em torno dos 130 dólares americanos por barril. É facto que o preço da energia nunca mais será barato, é difícil entender hoje em dia, que a crise da década de setenta do século passado se deu com o petróleo a 10 dólares por barril. O grande problema que surge agora é que o mercado é especulativo em relação ao petróleo. Como é a commodity de maior negociação internacional foi para ela que especuladores actuantes em outras actividades se voltaram no surgimento de uma crise generalizada. O problema maior disto é que a alta dos preços do petróleo é um factor indutor da inflação noutros itens, já que é parte integrante de todas as cadeias produtivas. Essa inflação faz subir as taxas de juros que, por estarem altas, são impulsionadoras do preço do petróleo. Ou seja, existe aqui uma equação de difícil solução já que é cíclica e que tende a dificultar o crescimento económico.

Outro factor indutor das altas dos preços é a produção pois é cartelizada pela OPEP<sup>23</sup>.

### 3.2 Produção

A produção energética mundial está representada na figura 16. Nela está designada toda a produção de energia primária, isto é carvão, turfa, petróleo, gás natural, combustíveis renováveis, nuclear, hídrico, geothermal, solar e calor aproveitado do ambiente. O cálculo da energia é feito depois de retiradas as impurezas.

O mapa da Figura 16 mostra a distribuição da produção no globo. Por ele é fácil de perceber que a produção está praticamente concentrada no hemisfério norte e com concentração quase que total na América do norte, no Oriente Médio, na Rússia e na China. A ligação do mundo desenvolvido com a energia é óbvia. E o mapa energético mundial ajuda-nos a perceber melhor o porque de existir muita pressão política e militar em algumas regiões do globo.

---

<sup>23</sup> OPEP, Organização dos Países Exportadores de Petróleo, também conhecida pela sigla em inglês OPEC.

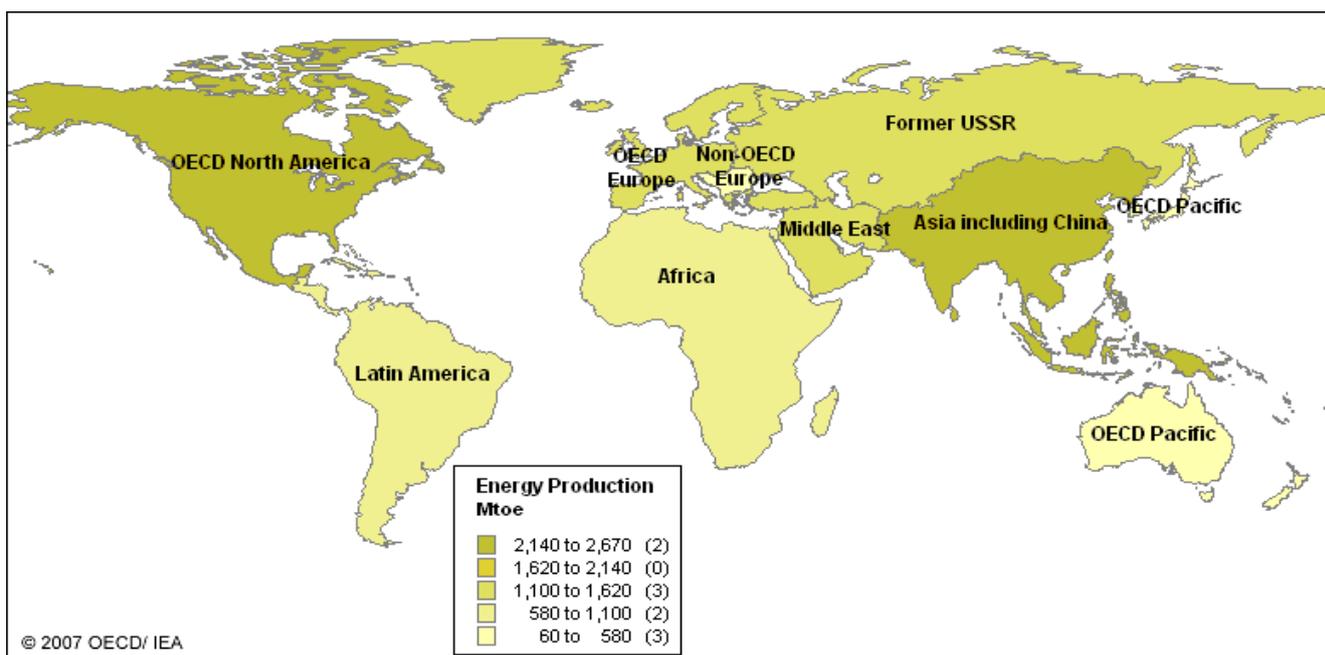


Figura 16: Mapa da produção energética mundial

A América do Norte apresenta uma grande taxa de produção, logicamente encabeçada pelos Estados Unidos que produzem mais de 1.630 M toe<sup>24</sup>. Apesar de serem os grandes produtores, pelo facto de consumirem bastante, não são auto-suficientes no que concerne a energia sendo, pelo contrário, um grande importador, chegando a importar mais de 40% do que produz. Em seguida aparece o Canadá que produz apenas 25% do que os Estados Unidos produzem. Ou seja, aproximadamente 400 M toe. Porém, por ter uma população muito menor que aquele, é exportador de energia chegando a vender 30% do que produz. O México produz 259 M toe e também é exportador vendendo aproximadamente 80 M toe, como mostra a Figura 17.

<sup>24</sup> Toe, tonelada de óleo equivalente.

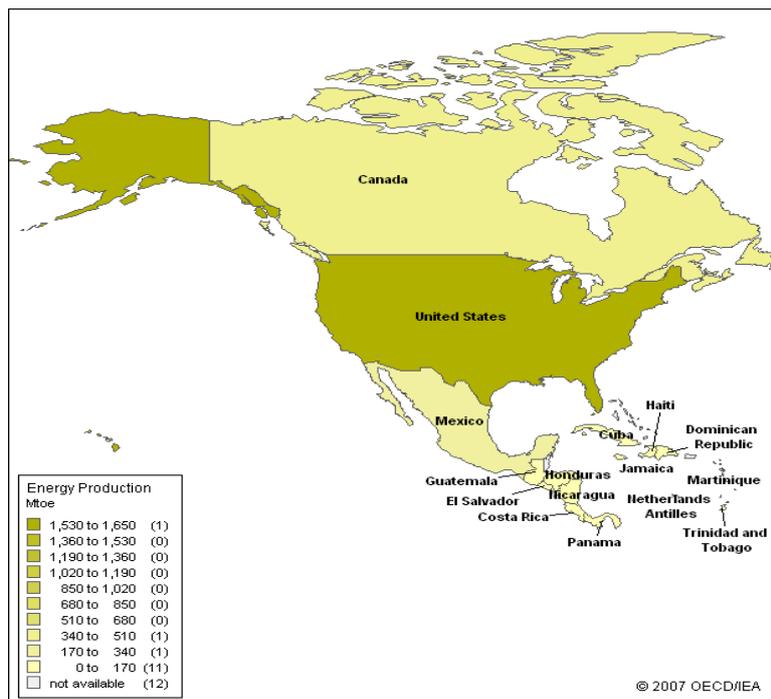


Figura 17: Mapa da produção energética da América do Norte

O cenário na América do Sul é de razoável equilíbrio energético. Os seus dois grandes consumidores, Brasil e Argentina, são auto-suficientes sendo a Argentina ainda vendedora de energia. O país com maior influência energética internacional da região é a Venezuela que produz quase a metade que o Canadá, mas como tem um baixo consumo, consegue vender mais energia, passando a ser um importante jogador no cenário internacional. A Colômbia em maior nível o Equador e a Bolívia também tem excedentes de produção. A Figura 18 representa a produção desta região

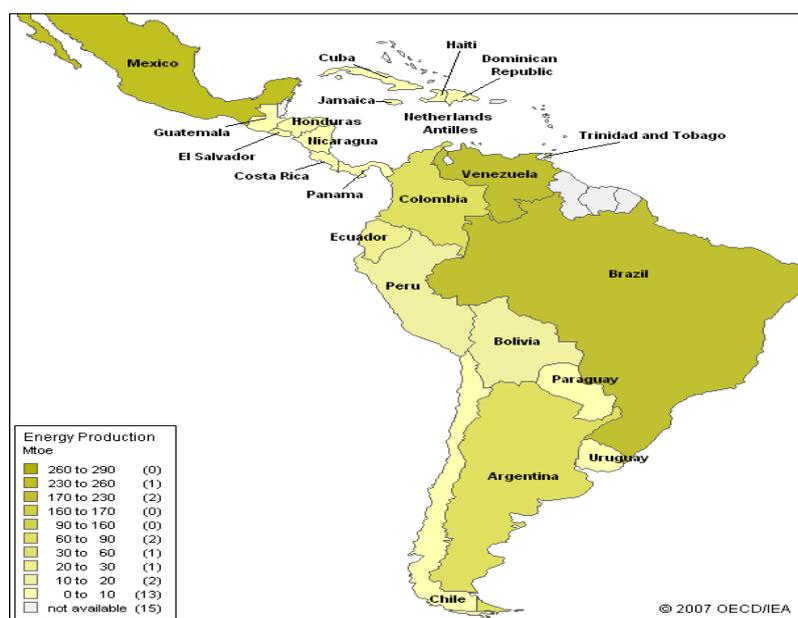


Figura 18: Mapa da produção energética da América do Sul

Com exceção de Israel, Jordânia e Líbano, todo o Oriente Médio é grande produtor de energia. O destaque maior vai para a Arábia Saudita, com uma produção de 576 M toe dos quais 75% é vendido. O Irão aparece num patamar inferior, mas com nível de exportação similar à Venezuela e ao Canadá. A Figura 19 representa o mapa de produção do Oriente Médio.

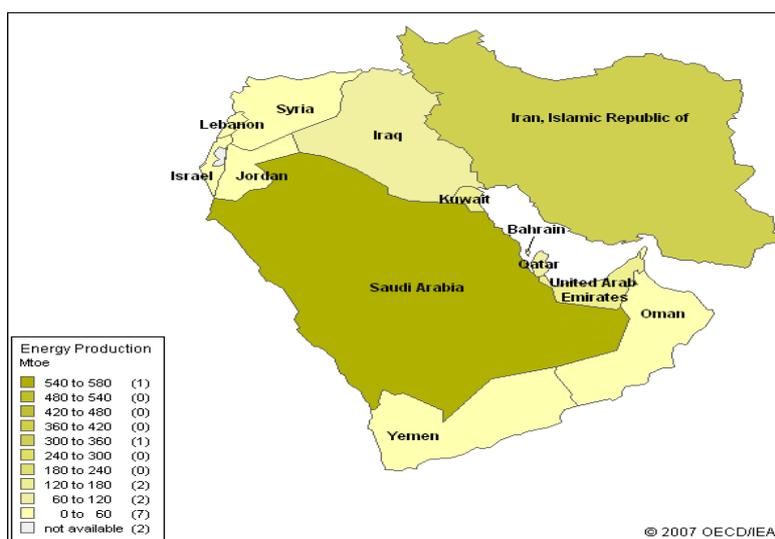


Figura 19: Mapa da produção energética do Oriente Médio

A realidade em África não é equitativa. Alguns países, num primeiro plano Argélia e Nigéria, exportam em nível com o Canadá e com a Venezuela. A seguir a estes a Líbia e Angola também apresentam um valor de exportação relativamente alto. Num terceiro patamar, aparecem o Egito, o Sudão e a África do Sul que também são vendedores de energia mas já com valores relativamente baixos. Um outro grupo é auto-suficiente em energia e um quinto conjunto apresenta a difícil realidade de ser dependente energético de terceiros e ser formado por países altamente pobres. A Figura 20 representa a produção africana de energia

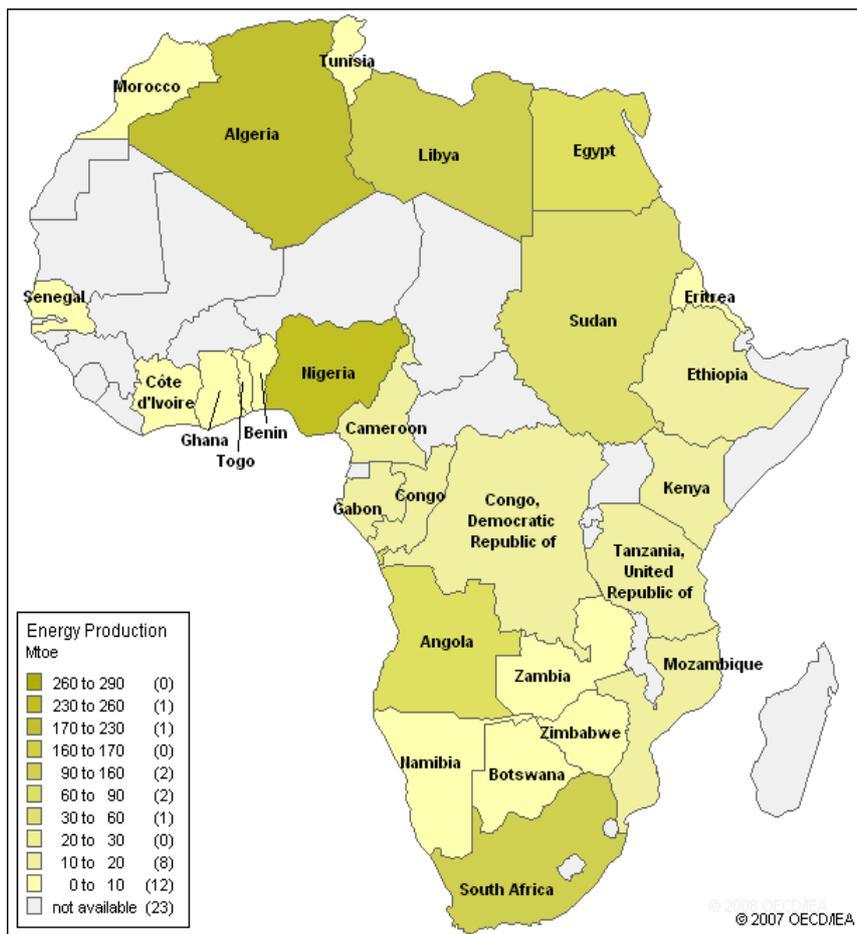


Figura 20: Mapa da produção energética da África

A Europa (considerada aqui a parte ocidental) está numa situação muito difícil no que concerne a energia. Com excepção da Noruega (que é um grande exportador de energia, chegando a vender anualmente 200 M toe) e da Dinamarca (com um pequeno excedente), os outros países são sempre compradores energéticos, a situação limite ocorre na Alemanha que tem uma dependência de 60% de fornecimento externo. Isso é um ponto fulcral para que a União Europeia apresente uma política externa comum, e também revela a necessidade de investir maciça e rapidamente em fontes alternativas de energia que sejam endógenas ao continente. A Figura 21 representa a produção energética da Europa.

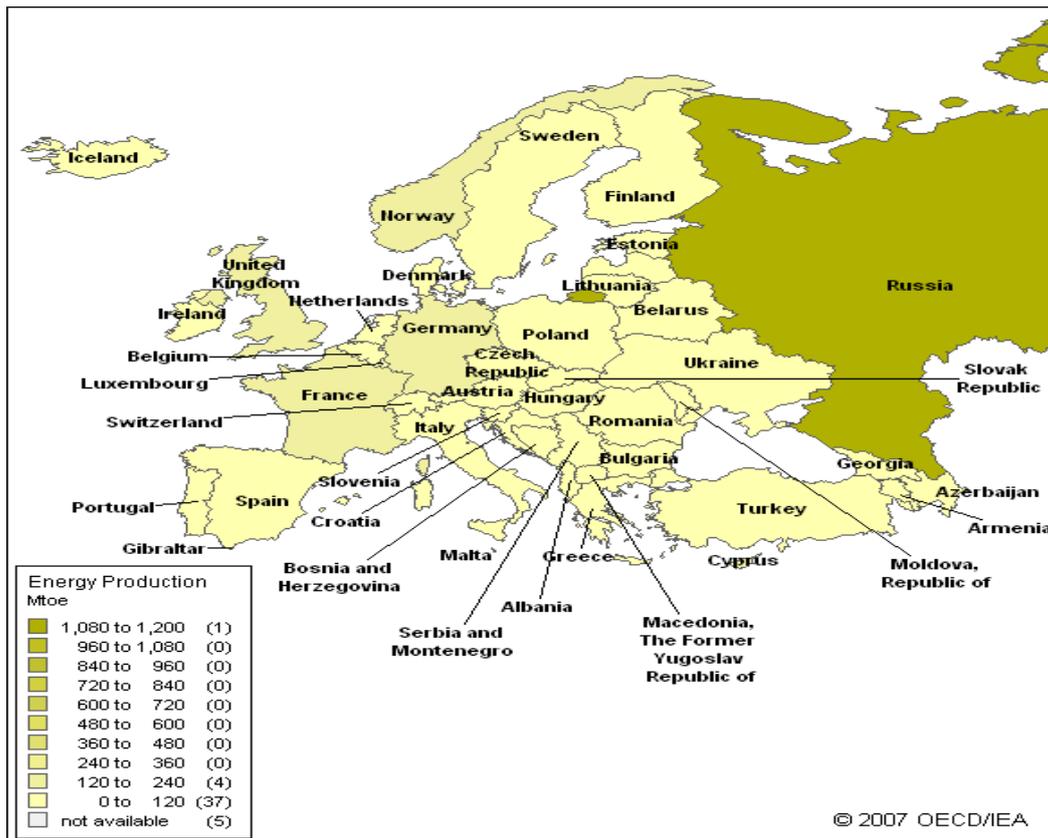


Figura 21: Mapa da produção energética da Europa

Na Ásia além de grandes produtores, como a Rússia e China, aparecem também grandes consumidores. Além dos dois já citados, o Japão a Índia e a Coreia do Sul.

A Rússia aparece numa situação altamente favorável, pois é o grande vendedor de energia da região com mais de 500 M toe vendidas anualmente. A China e a Índia, por apresentarem uma grande população e por terem aumentado bruscamente a suas taxas de crescimento, passaram a ser grandes consumidores, o que já ocorre com Japão e Coreia do Sul. É uma região problemática pois é muito populosa e existe uma demanda enorme por crescimento, o que pode desestabilizar todo o contexto mundial. Mais uma fonte de volatilidade para Europa e Estados Unidos, pois a Rússia, o Oriente Médio e a África começam a ter grandes relações diplomáticas e mercantis com esta parte do mundo. A Figura 22 representa a produção energética do continente asiático.

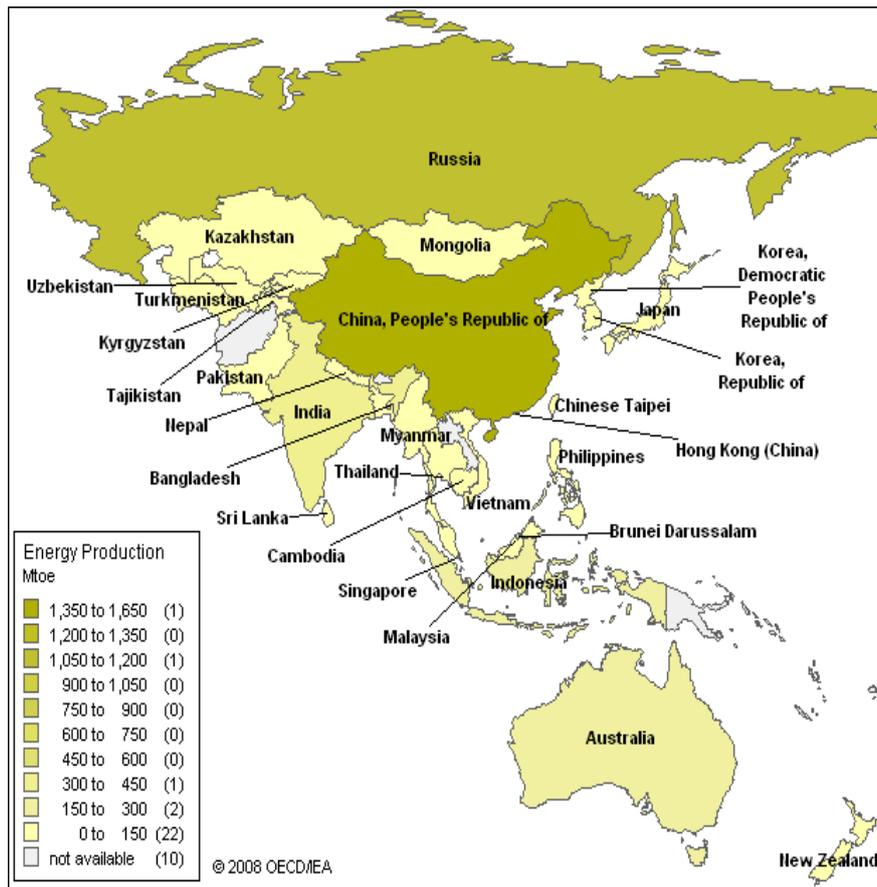


Figura 22: Mapa da produção energética da Ásia

### 3.3 Consumo

Os mapas das Figuras 23 à 29 apresentam os consumos energéticos globais e por região. O cálculo do consumo é feito pela quantidade de energia primária produzida, acrescida da energia importada subtraído da exportada, e acrescido ou subtraído, conforme o caso, da energia que esteja em transporte e/ou em stock.

Da leitura do mapa mundial do consumo energético fica claro, tal como tinha acontecido com a produção, a desigual distribuição. O hemisfério Norte é o grande consumidor. Em parte se explica pela população que aí vive. Mas também demonstra a forma desigual de distribuição da riqueza no planeta. É importante observar que o consumo está basicamente concentrado em três regiões: a América do Norte, a Europa ocidental e o sudeste Asiático. São nessas regiões que se encontram os países mais ricos do mundo, e também os países emergentes que mais crescem.

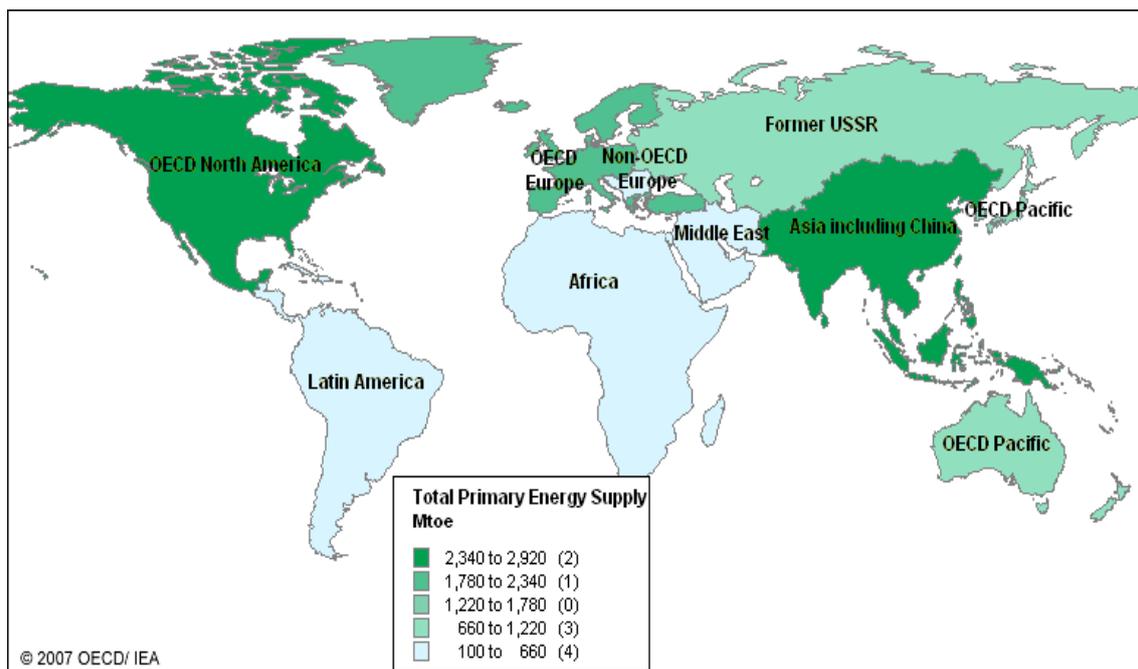


Figura 23: Mapa mundial do consumo de energia primária

Na América do Norte temos os Estados Unidos que são os grandes consumidores mundiais. Nesse país o consumo é tão grande que, apesar de ser o maior produtor mundial, o país necessita de importar mais de 40% do que produz, apresentando um consumo total maior que 2340 M toe, e um consumo per capto de 7.89 toe/hab. O Canadá é auto-suficiente, energeticamente falando, e além disso, é um grande vendedor mundial de energia. Como nos Estados Unidos, também apresenta um alto consumo per capto de 8.43 toe/hab, facto que se repete nos países ricos. O México também é auto-suficiente em energia, agindo também como vendedor no mercado internacional. Apresenta um consumo per capto de 1.68 toe/hab , o que é compatível com os países emergentes.

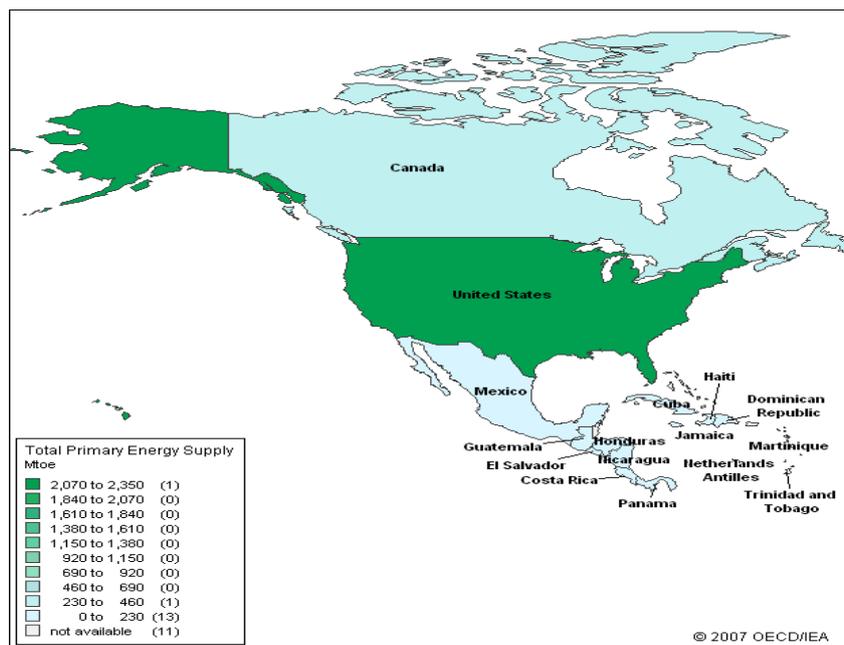


Figura 24: Mapa do consumo de energia primária na América do Norte

A América do Sul é auto-suficiente em energia, aparecendo a Venezuela como o maior vendedor no mercado internacional. Os consumos per capita são baixos, apresentando um valor mais elevado na Venezuela (justificado pelo baixo preço dos combustíveis o que incentiva demasiado o consumo). Mesmo assim esse valor é de 2.29 toe/hab.

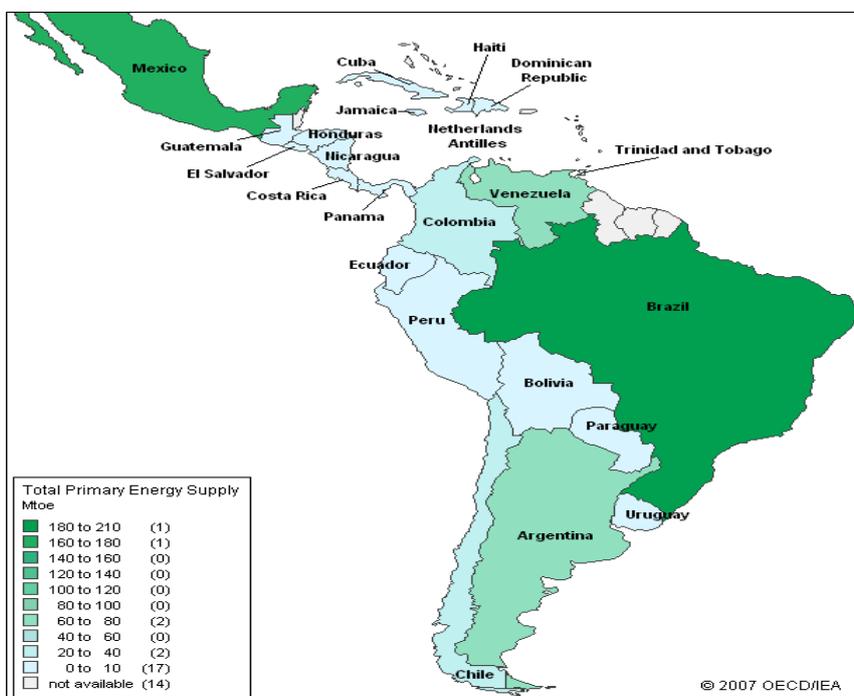


Figura 25: Mapa do consumo de energia primária na América do Sul

A Europa Ocidental é, também, uma grande consumidora de energia. Aqui estão localizados três dos oito maiores produtos internos brutos do mundo, mesmo assim a Europa, no que toca o consumo, apresenta taxas per capita muito inferiores as atingidas na América do Norte. Destaca-se, neste aspecto, a Dinamarca que apresenta a taxa de 3.62 toe/hab.

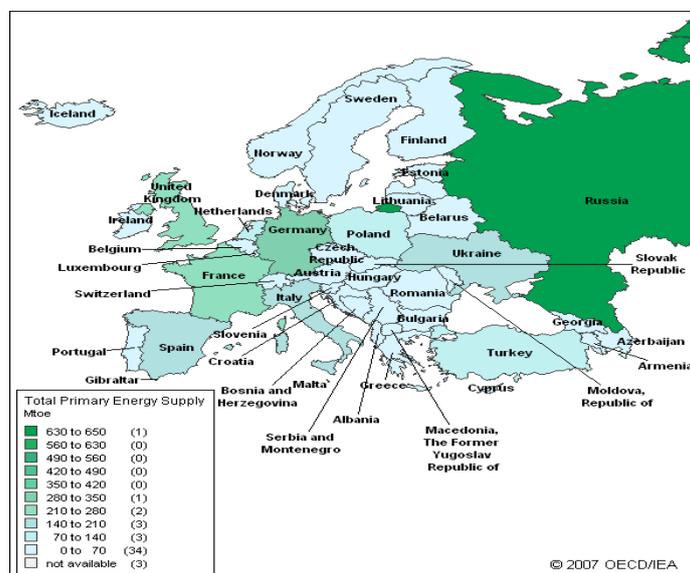


Figura 26: Mapa do consumo de energia primária na Europa

A África apresenta baixíssimos consumos per capita. Exceptuando a África do Sul e a Líbia, que têm consumos próximos das 3 toe/hab, todos os outros países apresentam consumos inferiores a 1 toe/hab, até mesmo Angola e Nigéria que são grandes produtores de energia.

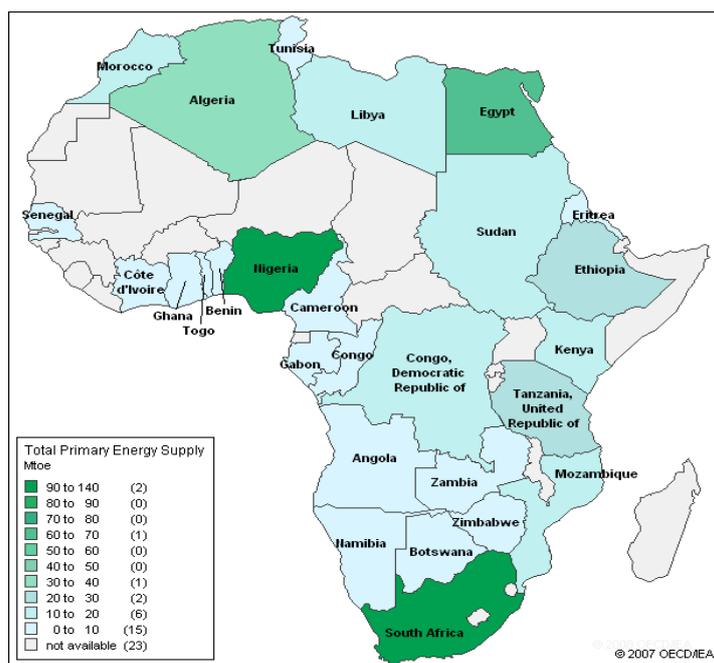


Figura 27: Mapa do consumo de energia primária na África

O Oriente Médio apresenta uma realidade muito particular, pois os países produtores de petróleo, mesmo exportando muito, são grandes consumidores per capita, ultrapassando inclusive as taxas praticadas na Europa. O pior exemplo é o do Qatar, que consome 19.47 toe/hab, sendo esta a maior taxa per capita mundial.

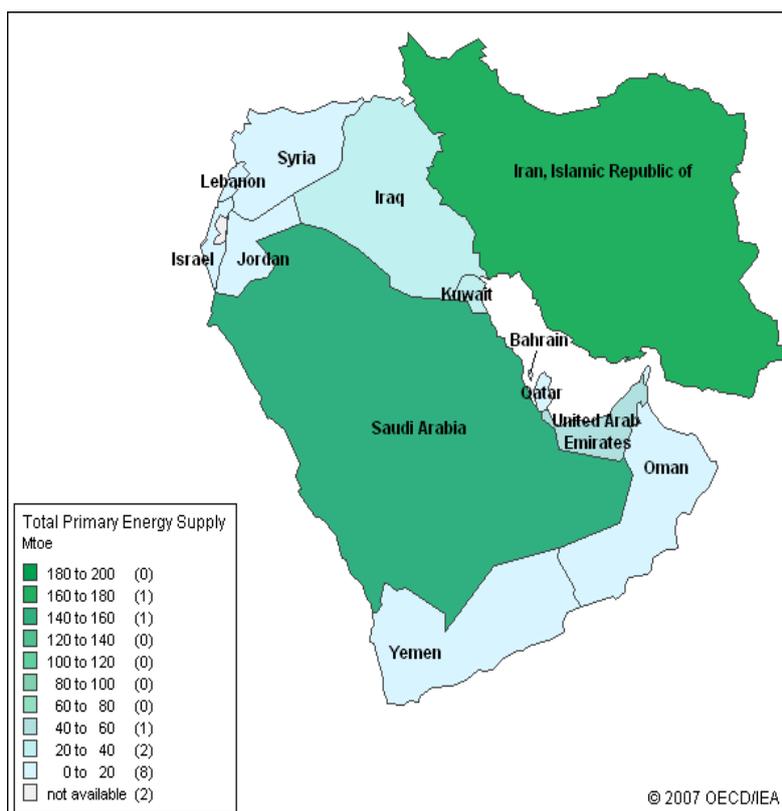


Figura 28: Mapa do consumo de energia primária no Oriente Médio

Na Ásia existem duas situações bem claras e distintas. Por um lado existem grandes consumidores já consolidados, como o Japão e a Rússia<sup>25</sup>. Depois existe um segundo grupo de países encabeçado por Índia e China estes, além de já serem considerados altos consumidores no aspecto do consumo absoluto, projectam-se como futuros grandes consumidores per capita.

<sup>25</sup> O Japão e a Rússia são altos consumidores por motivos distintos, no caso de Japão é função de apresentar um PIB elevadíssimo e no caso da Rússia por ter uma péssima eficiência energética.

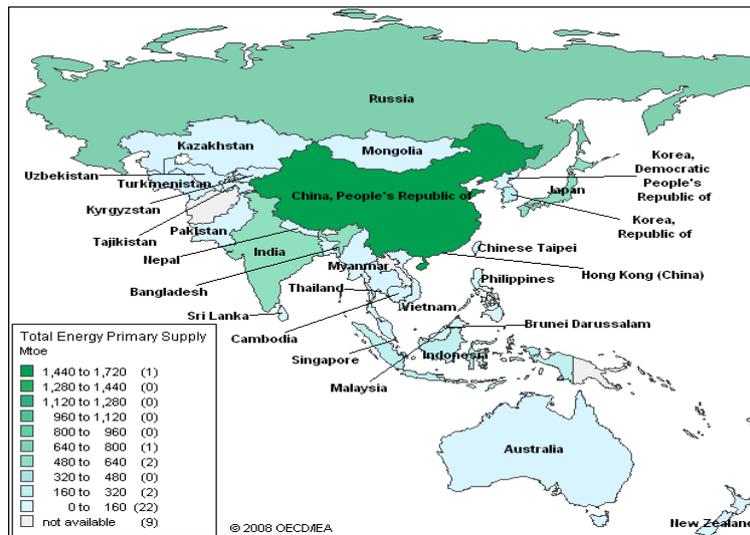


Figura 29: Mapa do consumo de energia primária na Ásia

### 3.4 Panorama da construção civil

No âmbito da construção civil, os dois grandes subsectores que demandam a maior quantidade de energia primária são a indústria do cimento e a siderurgia. A indústria manufactureira é responsável por aproximadamente 35% do consumo total de energia primária, bem como pelas emissões de CO<sub>2</sub>. Desse total, a indústria do cimento e a siderurgia são responsáveis por mais da metade.

No que toca à siderurgia, o instituto internacional do ferro e aço (IISI), reunido em 2007, desafiou os governantes mundiais a implementarem políticas energéticas com o objectivo de reduzir o consumo de energia primária e mitigar as emissões de CO<sub>2</sub>. Para tal, procurou identificar e incentivar a implementação dos processos produtivos mais eficientes: incentivar o desenvolvimento de novas tecnologias que possam tornar a produção radicalmente menos emissiva; continuar promovendo e maximizar o incentivo à reciclagem; facilitar o uso de novas gerações de aço dando algum tipo de incentivo aos consumidores e, por fim, tentar adoptar o acesso a uma especificação para a produção ao nível mundial. No que concerne ao desenvolvimento intrínseco da construção, é necessário um estudo mais aprofundado quanto ao percentual ideal de aço nas secções de betão armado. Pois o paradigma agora não é mais de apenas responder aos esforços solicitantes a que a peça está sujeita, mas também que esta resposta seja a de menor energia incorporada, que seja a menos emissiva possível e que tenha a maior vida útil dentre as possibilidades viáveis estudadas.

Como o betão é o material mais utilizado na construção mundial (cerca de 2000 M t/ano) e o cimento Portland é quase sempre o aglutinante deste, o consumo de cimento

na construção é de uma grandeza brutal. Como a indústria do cimento é grande demandante de energia e também muito emissiva, só restam dois caminhos. O primeiro é tentar dotar a indústria do cimento de uma maior eficiência energética. O segundo é tentar substituir o cimento como o grande aglomerante do betão.

Em relação a tornar o processo de fabricação mais eficiente é possível abordar o tema em dois aspectos. O primeiro, no que tange a produção do clínquer e o segundo em relação a produção do cimento. Na produção do clínquer, processo que chega a demandar até 90% do total da energia consumida, é necessário o recurso às melhores matérias-primas possíveis. Tentar, o mais possível, trabalhar com matérias secas, visto que o processo molhado consome muito mais energia. Tornar mais eficiente o processo de queima com o uso de combustíveis menos emissivos, inclusive materiais reciclados, e a captura e stock do carbono residual da queima afim de ser usado como fonte de calor. Para a moagem e produção do cimento, a grande questão é o percentual de resíduos que possam ser incorporados afim de melhorar as características do cimento. Isso resultará numa menor taxa de clínquer adicionada, ou mesmo de adicionar resíduos apenas como filler afim de reduzir o consumo de clínquer sem diminuir a qualidade do produto final. O impacto energético e por conseguinte ambiental que um determinado material tem é função directa da sua vida útil, isto é, um betão que apresente uma vida útil de 500 anos é muito menos impactante que um de vida útil próxima dos cinquenta. A vulnerabilidade dos betões é, em grande parte, ligada ao cimento Portland, pois este adere mal aos agregados, possibilitando a permeabilidade de gases, água e outras substâncias agressivas, que atacam quimicamente a cal presente no cimento gerando com isso o processo de carbonatação e de corrosão das armaduras. A utilização de ligantes com características superiores ao cimento Portland podem aumentar, e muito, a vida útil dos betões. Exemplos disso são os ligantes activados alcalinamente, também chamados de ligantes geopoliméricos. Fisicamente compreendem basicamente duas etapas, uma de dissolução da sílica e alumina contida na matéria-prima, quando misturada com uma solução alcalina, e a outra no endurecimento do produto da reacção numa estrutura polimérica. A variação dos níveis de sílica e alumina da matéria-prima como da alcalinidade do activador irão ditar as características finais do produto. É uma solução que ainda apresenta um elevado custo de produção, por não existir em escala, mas que em breve tem tudo para substituir com eficiência o cimento Portland, visto que a sua temperatura de queima é muito inferior a do cimento, incorporando assim uma menor quantidade de energia no processo produtivo, tornando-o muito menos emissivo.



## **CAPÍTULO 4 - ARQUITECTURA, CLIMA E CONFORTO**



## 4 ARQUITETURA, CLIMA E CONFORTO

### 4.1 Arquitectura e clima

#### 4.1.1 Histórico da arquitectura

A arquitectura reflecte fielmente o comportamento de uma determinada civilização no tempo em que ela está inserida. A evolução da arquitectura caracteriza bem esse comportamento. Na Pré-história surgem os primeiros monumentos a partir do domínio da técnica de trabalhar a pedra. O principal elemento na organização espacial desta época era o abrigo. Ainda hoje pode ser observado, nas sociedades não integradas na chamada civilização ocidental, que o abrigo define a sua distribuição espacial. São exemplos disso os aborígenes e algumas tribos africanas e americanas. O abrigo marcará tão profundamente estes povos primitivos que será um marco cultural de diversas sociedades posteriores<sup>26</sup>.

Na idade antiga, à medida que as comunidades evoluíram e cresceram e pelo facto de estarem em constante ameaças bélicas, passou a desenvolver-se uma arquitectura basicamente militar. A humanidade confrontava-se com um mundo sobrenatural, povoado de deuses, e não conhecia nenhuma objectividade científica. As crenças determinavam a forma como o ambiente era transformado. Nesse tempo, os principais edificios existentes eram templos e palácios dedicados ao divino. Essa importância fazia com que a figura do arquitecto estivesse ligada aos sacerdotes ou aos governantes, o que condicionava inclusive a execução das obras, pois eram acompanhadas de rituais. Estas construções, porém, começaram a definir cidades que eram um ambiente marcado pela interrupção da natureza selvagem, a qual todos consideravam divina. No interior das cidades eram construídos os templos, o ambiente divino dentro da área humana marcada pela cidade. Com a criação das cidades é aguçado, então, o progresso técnico da engenharia com o objectivo de satisfazer as necessidades que, a partir desse momento a sociedade passa a exigir.

Na idade antiga existia uma realidade específica e diferente que era marcada pela arquitectura e pelo urbanismo dos Gregos e dos Romanos. Ao contrário dos outros

---

<sup>26</sup> Vários teóricos da arquitectura, em momentos diversos da história (Vitruvius, na antiguidade, Albertini, na renascença, Joseph Rykwert, mais recentemente) evocarão o mito da cabana primitiva.

povos contemporâneos, eles davam à vida cívica uma grande importância. A cidade tornou-se o elemento principal da vida política e social destes povos. Os Gregos desenvolveram-se em cidades-estado e o império romano surgiu de uma única cidade mãe, respeitada e idolatrada nos recantos mais distantes do império.

Enquanto os povos anteriores desenvolveram uma arquitectura militar, religiosa e residencial, os Gregos e os Romanos foram responsáveis pelo surgimento de espaços próprios para manifestações da cidadania e dos afazeres quotidianos. Os assuntos religiosos, contudo, ainda possuíam um papel fundamental na vida social. Mas agora foram inseridos num conjunto de equipamentos públicos. Da antiguidade clássica vem a obra deixada por Marcus Vitruvius Pollio, um arquitecto e engenheiro Romano que constitui o único tratado Greco-Romano que chegou aos nossos dias. Nessa obra o autor salienta aspectos fundamentais para uma arquitectura preocupada com a sustentabilidade. O autor referia ser fundamental a formação e educação dos intervenientes no processo tanto de projecto quanto construtivo. Fazia referência aos materiais de construção da época inclusive a sua relação com a ocorrência na natureza e com o nível de conhecimento do ser humano que o trabalhava. Tratou especificamente da construção de templos, salientando o aspecto da simetria e fazendo um paralelo com a simetria humana. Fez um contraponto entre os prédios públicos e também os privados dos Gregos e dos Romanos, salientando a existência, em cada um deles, das características próprias de cada sociedade. Abordou o tema da decoração interior e focou finalmente o seu trabalho no estudo da hidráulica e da hidrologia. É clara, olhando com os olhos da ciência de hoje, a preocupação com a sustentabilidade nas vertentes social, económica e ambiental deste trabalho.

Um pouco depois é importante também salientar o trabalho do imperador Ulpiano que dá ênfase ao Heliocaminos (leva em consideração a geometria da insolação), ao Calidarum (aquecimento das águas) e o Ipocausto (Túnel subterrâneo que serve a troca de calor para qualificar o ar interior). Foi sempre marcante nas culturas Greco-romana o domínio do sol e da água como elementos de conforto para os edifícios.

Vem a idade média e, com ela, a figura do arquitecto praticamente desaparece. A construção das catedrais, principal construção da época, era acompanhada por toda a população e o conhecimento construtivo era guardado pelas corporações. Com o fim da idade média os antigos tratados romanos foram redescobertos e influenciaram profundamente a nova arquitectura da idade moderna. Na idade contemporânea, com o desenvolvimento industrial, o uso dos materiais de construção passou a ser comum a

climas completamente distintos. Isto cria um modelo estético comum, mas com características de conforto muito distintas entre construções similares.

Por conta desta uniformização estética, a arquitectura fez com que as edificações demandassem uma quantidade insustentável de energia para garantir o seu conforto. Em contraponto a esta prática é essencial a adopção de uma arquitectura que tenha uma relação com o ambiente onde está inserida, ou seja, a chamada arquitectura bioclimática.

#### 4.1.2 Arquitectura bioclimática

A arquitectura bioclimática consiste em pensar e desenhar um edifício levando em conta a envolvente climatérica e as características ambientais do local em que esta inserido, observando a sua relação directa com o comportamento biológico dos seus ocupantes. O objectivo final de um projecto bioclimático é criar um edifício cujo desenho possa tirar partido dos recursos fornecidos pelo meio em que ele está inserido afim de tornar o ambiente interno confortável, lançando mão do mínimo de ajudas artificiais possíveis.

A ideia bioclimática não é nova. Grande parte da arquitectura chamada vernacular<sup>27</sup>, mesmo que empiricamente, lançava mão de soluções e sistemas construtivos que se aproximam muito do conceito bioclimático admitido hoje pela comunidade científica.

Em locais com características culturais muito diferentes, os povos desenvolveram edificações que, de forma empírica, visavam solucionar os problemas que as condições climáticas locais traziam às habitações. Existem exemplos que mostram soluções similares para garantir o conforto em povos de origem completamente distinta. Num estudo realizado ao nível mundial, Jonh Dollfus observa que a definição de um determinado padrão arquitectónico está mais ligada ao clima do que à cultura. Observando a arquitectura vernacular é possível perceber o respeito pela relação com o entorno em que a construção esta inserida, bem como a forma inteligente como era tirado partido de todas as possibilidades oferecidas com o objectivo de melhorar as condições de conforto interno das habitações. Apresenta-se a seguir alguns exemplos dessa arquitectura.

1- O primeiro exemplo é Pueblo de Taos (Figura 30), moradia dos indígenas que habitavam o actual estado americano do Novo México. Pueblo consiste em dois grupos de casas, construídas em adobe. Para tal era usada lama seca ao sol, as paredes tinham

---

<sup>27</sup> Arquitectura intuitiva onde são empregues os materiais e recursos do próprio ambiente onde a edificação é construída.

aproximadamente 60 cm de espessura, garantindo assim a inércia térmica necessária. Anualmente, na época das cerimónias, as paredes recebiam um novo revestimento em pasta de terra. Além do adobe era também usada a madeira de cedro como elemento estruturador de algumas paredes e dos tectos.



Figura 30: Pueblo de Taos, Novo México Estados Unidos

2- O segundo exemplo vem da casa vernacular da Dinamarca (Figura 31). A construção é em madeira com telhado de grande inclinação, em colmo. A edificação visa fazer frente a um clima bastante frio da região onde a inércia térmica não é tão importante visto que a moradia está submetida a constantes temperaturas baixas, ou seja, o fundamental neste caso é o poder de isolamento da envolvente.



Figura 31: Casa vernacular da Dinamarca

3- As habitações trogloditas, habitações escavadas em elevações de formação sedimentar, também são exemplos de como se pode tirar partido da inércia térmica do solo e edificar de uma forma que respeite o meio. Também é um exemplo de como se podem usar recursos locais para gerar um melhor conforto ao ambiente edificado. As Figuras 32,33 e 34 apresentam fotos tanto de habitações do Norte da África quanto da China.



Figura 32: Habitação troglodita chinesa



Figura 33: Habitação Beribéri da Tunísia



Figura 34: Habitação Beribéri da Tunísia

Embora a ideia bioclimática esteja presente na arquitectura vernacular, o conceito bioclimático foi criado apenas na década de 60 do século passado com os estudos, que já vinham da década anterior, dos arquitectos Victor Olgay e seu irmão Aladar. Estes estudos culminam com a publicação da obra “*Designe with climate*”, onde Victor Olgay associa a razão à sensibilidade, integrando conhecimentos científicos sobre a biologia humana sob influência climática, num método que visa projectar com o clima, admitindo que isso conduziria a uma diversificação da arquitectura fundamentada em particularidades físicas regionais, de onde vem o subtítulo do trabalho “*A bioclimat approach to architectural regionalism*”. Apesar de tratar de temas tão importantes, esta obra fica esquecida pela comunidade científica internacional durante 10 anos até o surgimento da grave crise energética da década de setenta do século passado, altura em que o tema dos consumos energéticos das habitações começa a ter valor relevante nos estudos científicos.

O trabalho tem como objectivo principal sistematizar o projecto de uma habitação redefinindo a sequência lógica do processo evolutivo de um projecto. Olgay propõem 4 fases interdisciplinares e sequenciais na concepção dos projectos. 1) A primeira seria o estudo das condicionantes climáticas. 2) Posteriormente seriam estudadas as condicionantes biológicas. 3) De seguida definiriam-se as estratégias tecnológicas para garantias do conforto. 4) Finalmente, seria definido o perfil arquitectónico do projecto. Com o estudo Olgay conseguiu desenvolver uma carta bioclimática onde eram representadas uma zona de conforto para o Inverno e outro para o Verão. O diagrama cartesiano continha, no eixo das abcissas, a representação da humidade relativa, e no eixo das ordenadas, a temperatura do bulbo seco. Para estabelecer o padrão de conforto foi admitido um habitante de clima moderado dos Estados Unidos, numa altitude inferior a 300m, com vestuário usual dentro de casa, em actividade sedentária ligeira. É representado também no diagrama elementos climáticos em forma de curvas que identificam as acções necessárias para que seja restabelecida a condição de conforto em qualquer ponto que não faça parte da região com características de conforto. Essa carta de Olgay (Figura 35) é aplicada a espaços exteriores ou ainda a edifícios em contacto com exterior.

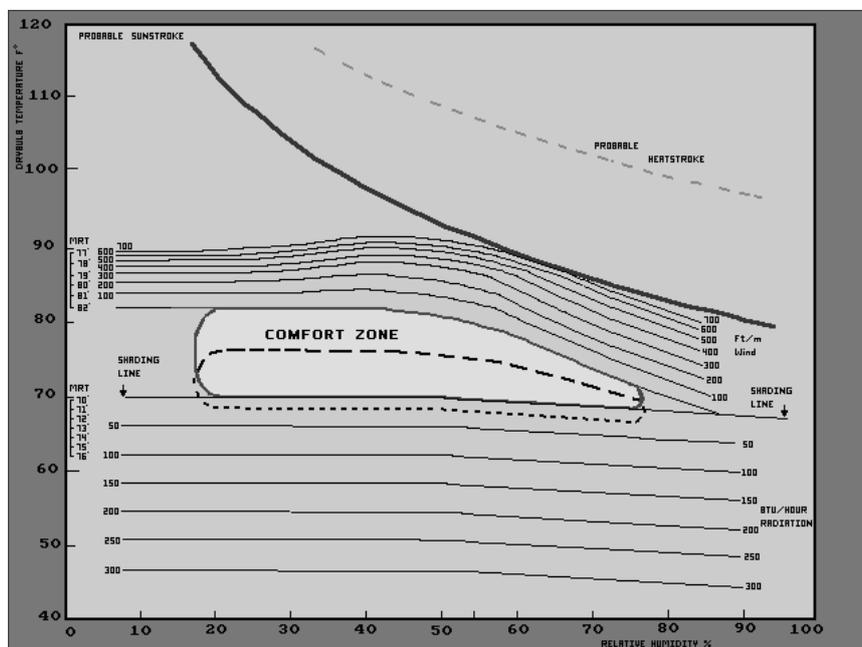
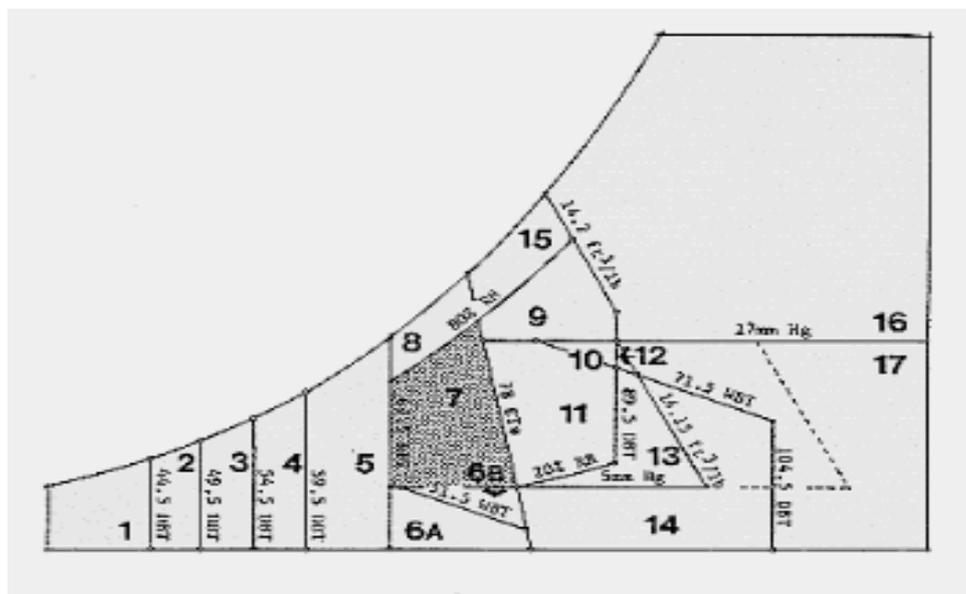


Figura 35: Carta bioclimática de OLGAY

Com base nas cartas de Olgyay, Givoni e Milne (1978) desenvolveram cartas não mais em diagramas cartesianos mas sim em diagramas psicrométricos. Estas são usadas para identificar as estratégias bioclimáticas a serem empregues.

Posteriormente, estas cartas de Givoni foram adaptadas por Watson (1983) e são actualmente as mais adoptadas para identificar estratégias (Figura 36).



<b>ANÁLISE DAS NECESSIDADES BIOCLIMÁTICAS</b>	<b>ZONAS</b>
AQUECIMENTO (<20°C)	1-5
ARREFECIMENTO (>25,5°C)	9-17
ZONA DE CONFORTO (20°C-25,5°C:5mmHG-80%HR)	7
DESUMIDIFICAÇÃO (>17mmHG ou 80%HR)	8-9;15-16
HUMIDIFICAÇÃO (<5mmHG)	6A;6B;14
<b>ESTRATÉGIA DE CONTROLO CLIMÁTICO</b>	<b>ZONAS</b>
RESTRINGIR A CONDUÇÃO (CONSTANTE)	1-5;9-17
RESTRINGIR A CONDUÇÃO (VARIÁVEL)	10-13
RESTRINGIR A CONVECÇÃO (INFILTRAÇÕES)	1-5;9-17
RESTRINGIR A RADIAÇÃO (GANHOS SOLARES)	6-17
PROMOVER A CONVECÇÃO (VENTILAÇÃO)	9-11
PROMOVER A RADIAÇÃO (GANHOS SOLARES)	1-5
PROMOVER A EVAPORAÇÃO (ARREFECIMENTO EVAPORATIVO)	11;13;14;6B
ARREFECIMENTO MECÂNICO	17
ARREFECIMENTO MECÂNICO E DESUMIDIFICAÇÃO	15-16

Figura 36: Carta bioclimática para edificios, adaptada por GIVONI(WATSON)

## 4.2 Variáveis climáticas

Para o desenvolvimento de um projecto com características bioclimáticas, ou seja, onde a sustentabilidade esteja presente, existem duas vertentes climáticas fundamentais a primeira é o macro clima ou seja as variáveis climáticas definidas pela região do globo onde se encontra o objecto de estudo, a segunda é o chamado micro clima onde leva-se em consideração os factores da envolvente da construção que apesar de serem influenciados pelo macro clima regional pode interferir nas condicionantes climáticas a que o prédio estará sujeito.

Em relação ao macro clima as condicionantes são:

- 1) Intensidade de radiação incidente.
- 2) Temperaturas: (máximas, médias e mínimas)
- 3) Índice pluviométrico.
- 4) Comportamento do vento.
- 5) Teor de humidade.

Em relação ao micro clima as variantes são a existência ou não de barreiras ao vento e a radiação, existência de massa de água na envolvente, existência de massa de terra que possa ser tirado partido na envolvente, existência de vales etc. São sempre condicionantes que interferem no macro clima e podem diferenciar regiões muito próximas.

Os elementos condicionantes do clima actuam de forma diferente no edifício, no seu entorno e nos usuários, como consequência das suas características específicas. Apesar destes elementos poderem ser analisados de forma particular, é indispensável perceber que actuam de forma simultânea, visto que não são variáveis independentes e são resultado do intercâmbio energético que ocorre entre a atmosfera do planeta, a superfície terrestre, o edifício e seus usuários.

### 4.2.1 Atmosfera terrestre

A atmosfera terrestre é a camada de gases e aerossóis que reveste a superfície terrestre e apresenta uma composição variada tanto no tempo como no espaço<sup>28</sup>.

A composição da atmosfera terrestre quando seca e abaixo dos 25 km segundo Barry e Chorley<sup>29</sup> é a seguinte: Nitrogénio (N) 78,08%, actua como suporte dos demais

---

<sup>28</sup> Definição de Ayoade J. O., no seu livro introdução à climatologia para os trópicos. São Paulo: Bertrand Brasil, 1983

<sup>29</sup> R. G. Barry e R. J. Chorley, Atmosphere, Wather and Climate, 1988

componentes, é de vital importância para os seres vivos, pode ser fixado no solo pela ação de bactérias e outros micro organismos e posteriormente absorvidos pelas plantas na forma de proteína vegetal. Oxigênio (O<sub>2</sub>) 20,94% sua estrutura molecular varia em função da altitude, é responsável pelo processo respiratório nos seres vivos. Árgon 0,93%(Ar), Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) seu percentual é variável e gira em torno de 0,035%, Néon(Ne) 0,0018% Hélio (He) 0,0052%, Ozono(O<sub>3</sub>) 0,00006%, Hidrogênio (H<sub>2</sub>) 0,00005%, e ainda indícios de Cripton (Kr), Metano ( CH<sub>4</sub>), Xénon (Xe) e Radão (Rn).

Apesar do oxigênio e o nitrogênio representarem 99% do volume de ar seco eles não tem influência significativa sobre os fenômenos climáticos, por outro lado o dióxido de carbono os aerossóis e o ozono, apesar de terem percentuais pequenos, são altamente significativos nas características climáticas. Outro elemento também fundamental no processo de fenômenos climáticos é o vapor de água.

O dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) é um gás que absorve a energia radiante de onda longa ( $\lambda > 10^{-6}$ ) emitida pela superfície da terra depois de absorver a energia solar, a sua função é exactamente esta pois só com a absorção é que é possível obter temperaturas mais elevadas nas camadas inferiores da atmosfera e com isso manter a vida. O problema em relação a este gás é que a sua concentração vem aumentando bastante, principalmente pela queima de combustíveis fósseis, e segundo o IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change<sup>30</sup>, em meados dos século 21 a sua concentração será o dobro daquela verificada no início do século 20 o que vai gerar um sobre aquecimento do planeta tendo como resultado drásticas alterações climáticas.

O ozono é outro gás que apesar de ter pequena concentração tem importância fundamental para a atmosfera terrestre. Ele é responsável pela absorção da radiação ultra violeta emitida pelo sol, esta radiação é altamente prejudicial a vida humana, pode causar doenças graves, é maléfica a maioria dos materiais. A degradação da camada de ozono pode gerar um sobre aquecimento da superfície terrestre, com isso a superfície terrestre irá emitir uma maior quantidade de energia radiativa, sendo esta mais absorvida pelo excesso de CO<sub>2</sub> presente na atmosfera gerando com assim um super aquecimento do planeta. Desde a década de 80 do século passado as preocupações com a destruição da camada de ozono têm sido crescentes por parte da comunidade científica

---

<sup>30</sup> IPCC é um corpo científico intergovernamental, criado pela organização mundial meteorológica, que faz parte do programa das nações unidas para o ambiente.

e hoje inclusive pela população em geral. É fundamental evitar o uso de gases que tenham efeito destrutivo desta camada.

O vapor de água é um dos componentes mais variáveis da composição atmosférica. Nos trópicos pode atingir 4% do volume. E nas regiões polares ou desérticas pode limitar-se a 1%. Sua importância no clima decorre da necessidade da sua presença para a formação de nuvens, chuva e neve, por ter grande capacidade de absorção da energia radiante emitida pela terra como também por parte da energia emitida pelo sol. Junto com o CO<sub>2</sub>, actuam como elementos de retenção do calor nas camadas inferiores da atmosfera. Como a água pode existir nos três estados nas condições de temperatura e pressão normalmente existentes na terra, a emissão e a absorção do calor latente das mudanças de fase promovem a distribuição dos fluxos térmicos através dos ventos e precipitações.

Além dos principais gases componentes, a atmosfera contém também partículas sólidas e líquidas em suspensão, denominadas de aerossóis. A maior concentração encontra-se nas camadas mais baixas da atmosfera, próximas da sua fonte principal de emissão que é a superfície terrestre. Alguns aerossóis presentes na atmosfera são colaboradores na formação de nevoeiros, nuvens e precipitação, pois agem como núcleo de condensação para o vapor de água. Já outros tem efeitos nefastos pois absorvem energia radiante do sol, interferindo na temperatura do ar.

#### 4.2.2 Radiação solar

Designa-se por radiação solar as emissões de energia pelo sol sob a forma electromagnética. Esta energia é emitida em basicamente três bandas de frequência: a radiação ultravioleta com comprimento de onda ( $\lambda$ ) compreendido entre 0.28 e 0.38  $\mu\text{m}$  (que representa 3% da radiação total); a radiação infravermelha com  $\lambda$  entre 0.78 e 2.5  $\mu\text{m}$  (que representa 55% do total) e, finalmente, a luz visível com  $\lambda$  entre 0.38 e 0.78  $\mu\text{m}$  (que representa os restantes 42%). O sol fornece anualmente à terra  $1.5 \times 10^{18}$  kWh de energia, energia esta que é responsável pelo suporte da maioria das cadeias alimentares. Essa energia é a principal responsável pela dinâmica da atmosfera terrestre e pelas características climáticas do planeta. A energia emitida pelo sol não é distribuída igualmente sobre a terra. Esta desigualdade é causada pelo movimento da terra em relação ao sol e pelas variações, tanto da superfície terrestre quando da atmosfera. A

distância sol-terra varia no decorrer do ano em função da órbita elíptica que a terra faz em torno do sol. Apesar desta variação, o percentual de radiação que nos atinge varia pouco, sendo 7% maior no perihélio de 3 Janeiro do que no afélio de 4 Julho. Em média, a radiação incidente medida no topo da atmosfera é de 1367 w/m<sup>2</sup>. A altitude solar, que é o ângulo formado entre os raios solares e a tangente à superfície terrestre, é o factor determinante na radiação recebida pela superfície. Quanto maior for a altitude solar maior será a incidência de radiação por unidade de área. Por sua vez, a altitude solar é função da latitude do local, do período do dia e do período do ano. Isto porque a terra, quando faz seu movimento em torno do sol (Figura 37), também se inclina em relação ao seu eixo (Figura 38), o que faz com que no meio do ano seja Verão no hemisfério Norte e no final do ano o Verão ocorra no hemisfério Sul. No Verão, o ângulo de incidência dos raios solares na superfície é maior e isso faz com que a radiação por unidade de área também cresça. Nesse movimento quatro momentos são fundamentais. O primeiro é o equinócio de Primavera para o hemisfério Norte ou Outono para o Sul (21 ou 22 de Março). Nesse momento os raios solares incidem a 90° na latitude 0°, ou seja, no equador. O segundo momento é o solstício de Verão para o Norte e Inverno para o Sul (22 ou 23 de Junho) onde os raios solares incidem a 90.° na latitude 23° 27'N, ou seja, no trópico de câncer. O terceiro momento volta a ser um equinócio onde os raios voltam a incidir a 90° no equador (22 ou 23 de Setembro) que é a Primavera do Sul e o Outono do Norte. O último é o solstício de Verão do Sul e Inverno do Norte ( 21 ou 22 de Dezembro) onde os raios incidem a 90° na latitude 23° 27' S. É neste período que ocorre o Verão do Sul e o Inverno no Norte.

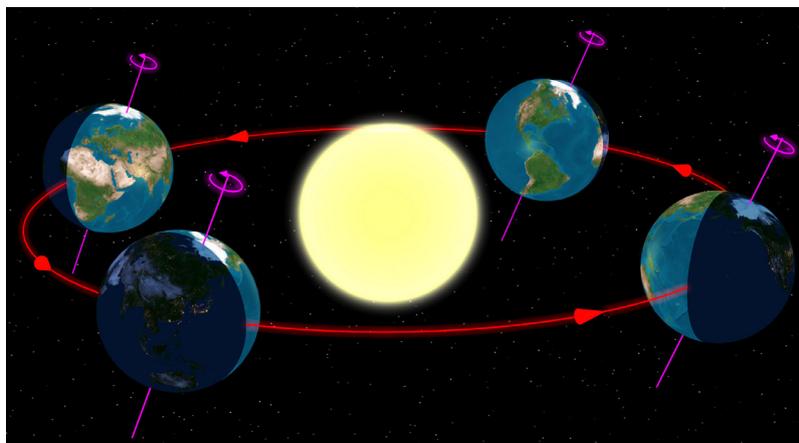


Figura 37: Movimento de translação terrestre

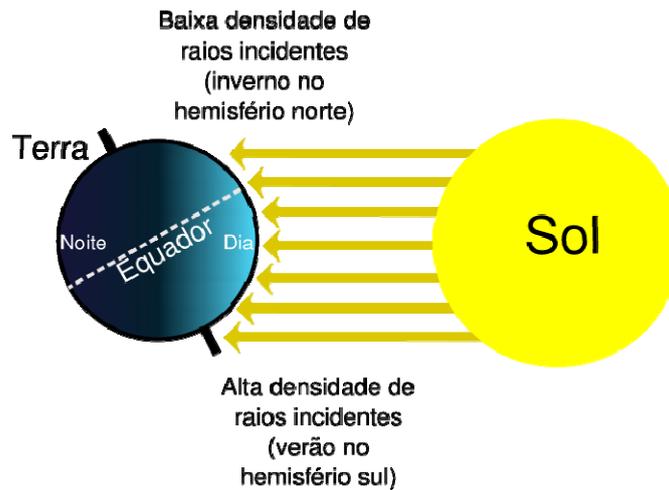


Figura 38: Distribuição da radiação solar

É importante observar o seguinte: se apenas os movimentos relativos terra-sol fossem condicionantes, latitudes iguais teriam as mesmas condições climáticas. No entanto isso não ocorre porque outros factores são condicionantes ao clima.

#### 4.2.2.1 Distribuição da radiação

A radiação incidente sobre qualquer superfície não opaca, como a atmosfera terrestre, pode ser espalhada, reflectida, absorvida ou transmitida. No caso da atmosfera terrestre, cerca de 25% da energia incidente atravessa-a sem receber interferência. É a chamada radiação solar directa. O restante interage, de alguma forma, com a atmosfera, sendo parte reflectida de volta ao espaço, parte absorvida pela atmosfera e parte espalhada (reflectida em todas as direcções no seu interior). O espalhamento ocorre pela interacção da energia com gases e aerossóis, dando origem à radiação solar difusa que é responsável pela claridade do céu durante o dia e pela iluminação de áreas que não recebem radiação solar directa. As características do espalhamento vão depender tanto do comprimento da onda energética incidente quanto do tamanho das partículas que com ela interagem, podendo dar origem a três tipos de espalhamento. 1) O espalhamento de Rayleigh, que se dá pela interacção de partículas com raios bem menores que o comprimento de onda incidente. Este espalhamento é função do comprimento de onda e definido pela fórmula  $E\lambda_s = 1 / \lambda^4$ . Ou seja, quanto menor o comprimento de onda, maior o espalhamento. Por este facto se explica a cor azul do

céu, pois o comprimento de onda do azul é menor e tem uma maior parcela de radiação solar visível. 2) O espalhamento de Mie, que acontece com partículas de raio de tamanho próximo ao comprimento de onda incidente, podendo exceder o comprimento dessa onda em até 8 vezes. Esse espalhamento é igual para qualquer comprimento de onda, as partículas que compõem as nuvens e os aerossóis espalham a energia dessa maneira. Assim se explica o tom esbranquiçado das nuvens. 3) O espalhamento para partículas de raio maior que oito vezes o tamanho do comprimento de onda é estudado pela óptica geométrica e ocasionam fenómenos como o arco-íris.

No caso de superfícies opacas, como a superfície terrestre, a radiação é absorvida ou reflectida. A absorção e a reflexão de uma superfície são complementares. Ou seja, fortes absorvedores são fracos reflectores, a Tabela 14 apresenta a reflectância (albedo) de algumas superfícies.

Tabela 14: Albedo de algumas superfícies, fonte AYOADE 1998

<b>ALBEDO DE ALGUMAS SUPERFÍCIES FONTE AYOADE,1998</b>			
<b>SUPERFÍCIE</b>	<b>ALBEDO %</b>	<b>SUPERFÍCIE</b>	<b>ALBEDO%</b>
SOLO NEGRO E SECO	14	GRAMADOS	15 A 30
SOLO NEGRO E HUMIDO	8	NEVE RECÉM CAÍDA	80
SOLO NÚ	7 A 20	NEVE CAÍDA HÁ DIAS OU SEMANAS	50 A 70
AREIA	15 A 25	GELO	50 A 70
FLORESTA	3 A 10	ÁGUA ALTITUDE SOLAR >40°	2 A 4
CAMPOS NATURAIS	3 A 15	ÁGUA ALTITUDE SOLAR ENTRE 5 E 30°	6 A 40
CAMPOS DE CULTIVO SECOS	20 A 25	CIDADES	14 A 18

#### 4.2.3 Balanço energético do planeta

Podemos dividir este balanço em duas etapas: A primeira é referente aos 100% de energia solar que chega ao topo da atmosfera. 51% desta energia chega à superfície

terrestre, 19% é absorvido pela atmosfera, 6% se perde por difusão e 24% é reflectida<sup>31</sup>. O segundo ponto é referente às reemissões terra-atmosfera e vice-versa. Essa radiação já é de onda larga. Da terra é radiado um total de energia que corresponde a 117% da energia solar. Desse valor, 6% é enviado ao espaço e 111% é absorvido pela atmosfera, que reemite para a superfície um total de 96% da solar. Finalmente uma energia que corresponde a 64% da energia solar é emitida pela atmosfera para o espaço. Esses números traduzem um equilíbrio no sistema terra-atmosfera visto que: 24% (reflexão) + 6% (difusão) + 64% (emissão atmosférica) + 6% (emissão terrestre) = 100% da energia solar incidente.

No entanto, em média, a superfície absorve mais energia do que aquela que emite. E a atmosfera radia mais energia do que absorve<sup>32</sup>.

Isto, teoricamente, levaria a um resfriamento da atmosfera e a um aquecimento da superfície. Tal não acontece porque existem outros meios de transferência de energia da superfície para a atmosfera que equilibram o sistema. O deficit seria de 30%. Desse, 7% são compensados pela acção do ar quente que se eleva da superfície da terra para a atmosfera e 23% corresponde ao fluxo de calor latente no processo de condensação de formação das nuvens.

No âmbito do estudo das edificações é importante dividir os tipos de radiações incidentes em:

- 1) Radiação solar directa (onda curta)
- 2) Radiação solar difusa (onda curta)
- 3) Radiação solar reflectida no entorno (onda curta)
- 4) Radiação térmica emitida pelo entorno (onda longa)
- 5) Radiação térmica das superfícies internas da edificação (onda longa)

As radiações solares directas e difusas são, na maioria das vezes, as grandes fontes emissoras de radiação e precisam ser estudadas pela geometria solar, a fim de que o projecto tire partido ou se proteja delas, conforme o caso. A radiação reflectida no entorno pode ser condicionada pelo albedo do mesmo. A radiação térmica do entorno também pode ser um elemento fornecedor ou regulador de energia da habitação. Quanto

---

<sup>31</sup> Notas de aula da Profª Doutora Alice Marlene Grimm, Departamento de Física da Universidade federal do Paraná- Brasil.

<sup>32</sup> A superfície absorve (51% do sol + 96% da atmosfera) = 147%  
A superfície emite (111% para atmosfera + 6 % espaço) = 117%  
A atmosfera absorve (19% do sol + 111% da terra) = 130%  
A atmosfera emite (96% para a terra + 64% para o espaço) = 160%

à energia térmica do interior, esta requer uma especial atenção aos vãos envidraçados, pois são eles as superfícies transparentes que permitem a entrada da energia solar e que precisam ser estudados. Isto porque tanto podem gerar soluções de conforto como problemas gravíssimos ao ambiente interior. Pois, como é sabido, o vidro é translúcido à radiação de onda curta (vinda do sol) mas é opaco à radiação de onda longa (emitida pelos elementos do ambiente interior), gerando, com isso, o efeito estufa no interior do ambiente aquecido.

#### 4.2.4 Temperatura do ar

O primeiro elemento que é preciso estudar é o ciclo de temperatura, que pode ser analisado em relação ao dia ou ao ano. Em relação ao ciclo diário, os factores que interferem na sua variação são a radiação solar e a radiação térmica emitida pela terra. Ensaio demonstram que a curva de temperatura diária acompanha a curva de emissão de radiação da terra e não do sol. No estudo das curvas podemos observar que a temperatura mínima diária ocorre ao nascer do sol, pois é o instante de máximo arrefecimento da superfície. E a temperatura máxima diária ocorre no meio da tarde (com um atraso em relação à máxima radiação solar mas coincidente com a máxima radiação térmica da superfície). O mesmo podemos observar em relação ao ciclo anual, onde as máximas e mínimas temperaturas do ar coincidem com a máxima radiação da superfície e apresentam um atraso térmico em relação às máximas solares.

A par destes ciclos, é importante definir os factores que condicionam os valores da temperatura do ar. São eles:

- 1) Latitude
- 2) Aquecimento diferencial entre continente e oceano
- 3) Orografia (altitude e exposição)
- 4) Posição geográfica
- 5) Nebulosidade e Albedo

1- Latitude: Tem efeito fundamental uma vez que afecta a quantidade de radiação solar recebida. O aumento da latitude leva a uma maior variação anual da temperatura, devido à maior variação do ângulo de incidência dos raios solares. Este factor também aumenta as desigualdades da temperatura entre os dias e as noites ao longo do ano.

2- Aquecimento diferencial entre oceano e continente: Regiões oceânicas e continentais de mesma latitude apresentam ciclos de temperatura diários e anuais distintos. Isso ocorre porque a água aquece e arrefece mais lentamente que a terra, pois armazena maior quantidade de energia calorífica. Com isso, no Verão a terra esta mais quente que o mar e no Inverno ocorre o oposto. Essas características devem-se a:

2.1- Diferença de calor específico, quantidade de energia necessária para fazer variar a temperatura do corpo, entre a água e a terra. A água tem calor específico maior que a terra, o que faz a temperatura da água flutuar menos para uma mesma energia recebida.

2.2- Transmissão de calor em profundidade: A superfície do mar é muito menos opaca em relação à radiação solar que a superfície terrestre. Isso faz com que a energia penetre mais profundamente no mar que na terra. Sendo assim, a energia é dissipada numa camada bem mais espessa.

2.3- Mistura: No mar ocorre a mistura, em função das correntes, de camadas mais e menos aquecidas. Isto ocasiona uma troca térmica entre elas e a estabilização em temperaturas médias.

2.4- Taxa de evaporação: No mar a taxa é bem maior o que, por um lado, arrefece a superfície e, por outro, cria uma maior humidade próxima da superfície, evitando alto gradiente térmico pois o vapor de água absorve a energia radiante (efeito estufa). Por esse motivo, a amplitude térmica nas regiões marítimas é menor que nas continentais. As regiões continentais próximas do mar têm climas mais amenos devido à proximidade de grande fonte de humidade.

3- Orografia: É o efeito da altitude na variação da temperatura. Para tal contribuem tanto a altitude quanto o grau de exposição do local à radiação e ao vento. Normalmente, a temperatura decresce com o aumento da altitude e a essa variação dá-se o nome de gradiente térmico vertical (GTV). Essa variação ocorre por processos adiabáticos, que são processo de ganho ou perda térmica sem entrada de calor no processo (devido à expansão ou compressão). E também ocorrem por processos não adiabáticos processos que, para ocorrer a variação térmica, se ganha ou se perde calor. Na proximidade da superfície a atmosfera aquece ou arrefece por troca de calor com a superfície (condução), processo não adiabático. Por outro lado na atmosfera livre surgem processos adiabáticos que ocorrem: no encontro de massas de ar quente e fria; na convecção de massas de ar com as nuvens; nas zonas de baixa pressão sob as precipitações e no encontro de massas de ar com obstáculos topográficos. Em média, a variação da temperatura é de  $0.65^{\circ}\text{C}$  para cada 100 metros de altura. Porém esse fenómeno pode inverter-se, dando origem às chamadas inversões térmicas. A temperatura em vez de decrescer, aumenta com a altitude. As inversões podem ser de

superfície ou de altitude. A inversão de superfície ocorre na troposfera (baixa atmosfera). O fenómeno ocorre pelo rápido arrefecimento nocturno da superfície terrestre que leva a camada próxima a estar mais fria que as camadas superiores. Para que tal ocorra é necessário céu limpo, sem nuvens, e ausência de vento. A inversão de altitude acontece na atmosfera livre. O fenómeno ocorre por passagem de uma frente fria ou quente e também por acção da brisa marinha. A inversão térmica pode ser prejudicial à saúde visto que existe a possibilidade de ocorrer uma alta concentração de poluente na camada fria que, por ser mais densa, fica próxima à superfície tamponada pelas camadas quentes superiores. Outra possibilidade é a ocorrência de temperaturas excepcionalmente baixas.

4- Posição geográfica: A temperatura de cada ponto geográfico sofre a influência dos ventos dominantes, bem como do tipo de cobertura dominante do solo. Este último factor é fundamental na regulação da temperatura, pois dele depende o albedo (índice de reflexão da superfície). Aqui cabe tocar no tema das isotermas, linhas que unem pontos de igual temperatura, fazendo a variação da descrição horizontal da temperatura. No Inverno, as isotermas sobem de latitude por influência das massas continentais (mais frias) nas grandes massas oceânicas (mais quentes), no verão o processo inverte-se.

5- Nebulosidade e Albedo: A combinação da nebulosidade e do albedo afecta quer a temperatura máxima (maior ou menor radiação solar), como também a mínima (maior ou menor perda de radiação terrestre, nomeadamente nocturna). Quanto maior a nebulosidade e mais baixo o tecto de nuvem, menor será a amplitude térmica.

Como foi dito anteriormente, a distribuição do aquecimento na terra acontece de forma desigual. As regiões equatoriais e tropicais (baixas latitudes) recebem mais energia que as latitudes médias e regiões polares. A energia recebida por radiação nos trópicos é superior à energia que essa região é capaz de emitir. O oposto acontece nas regiões polares. Se não houvesse um transporte de energia entre essas regiões, a temperatura da região tropical aumentaria indefinidamente enquanto os pólos seriam cada vez mais frios. É esse desequilíbrio térmico que induz a circulação da atmosfera e dos oceanos. A energia é, então, distribuída das regiões com excesso para as regiões com deficit, 60% através da atmosfera e 40% através dos oceanos.

#### 4.2.5 Circulação atmosférica

As camadas atmosféricas movem-se diferentemente em função da desigual distribuição de calor recebida da terra. Em vez de uma célula única de circulação, o modelo mais aceite divide cada hemisfério em três células (Figura 39): A célula tropical (ou de Hadley), a célula das latitudes médias e a célula polar.

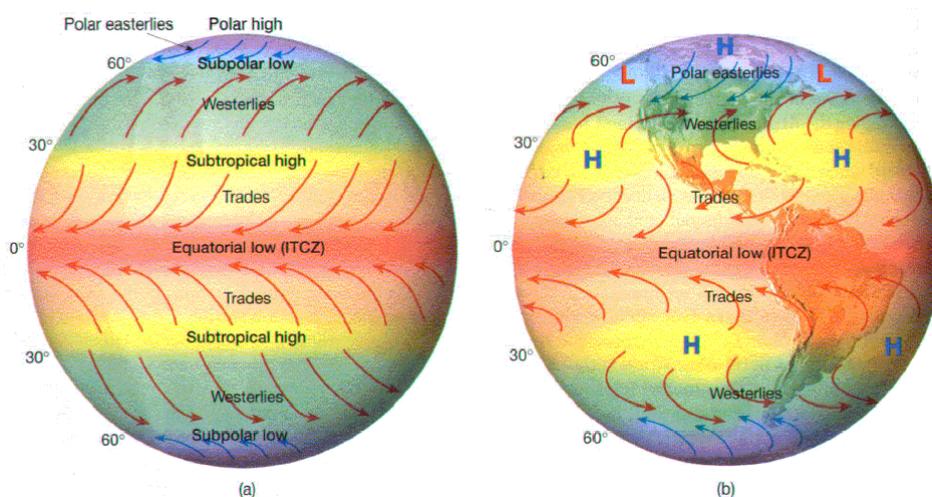


Figura 39: Modelo de circulação atmosférica

Os movimentos são resultado da transformação de energia térmica em energia cinética e podem ser alterados por alguns factores, os principais são:

- Movimento de rotação do planeta (causa gradiente de velocidade superficial do equador para os pólos)
- Gradientes térmicos pontuais
- Diferença de rugosidade superficial

No estudo do movimento do vento em grande escala duas classes de forças são fundamentais. As primeiras são responsáveis pelo descolamento (atração gravitacional e gradientes de pressão). As segundas condicionam este movimento (força de atrito, força centrípeta e força de Coriolis<sup>33</sup>)

A pressão atmosférica decresce com a altura, em função de diminuir a camada de atmosfera sobre um objecto, esse gradiente de pressão gera um desequilíbrio de forças

<sup>33</sup> A Força de Coriolis foi descrita pelo cientista francês Gaspard de Coriolis em 1853 e diz que, em função do movimento de rotação da terra, há um aparente desvio na trajectória dos objectos que se movem, inclusive o vento. Esse desvio dá-se à direita no hemisfério Norte e à esquerda no Sul.

acelerando o fluido atmosférico no sentido da maior para a menor pressão, ou seja, de baixo para cima. Em função do movimento de rotação, e porque todo corpo disposto sobre uma superfície giratória tender a manter o movimento da superfície quando dela se desprende, quando o ar sobe tende a manter o sentido de rotação no seu movimento. Com isso, o movimento de subida do fluido é atenuado pela acção desses esforços até que fica paralelo às isóbaras (zonas de mesma pressão), originando assim movimentos horizontais. Como as massas de ar aquecem em função do aquecimento das superfícies adjacentes, temos, próximo à superfície, no equador massas quentes e nos pólos massas frias. As massas quentes equatoriais têm menor densidade e pressão que as frias dos pólos, surgindo novamente aqui o gradiente de pressão suficiente para iniciar o movimento das massas e no sentido pólo-equador. Ou seja, da maior para a menor pressão.

Todos esses processos juntos geram um padrão de funcionamento e, apesar de constituírem um sistema complexo e dinâmico, podemos simplificarmente descreve-lo da seguinte forma:

Ventos superficiais que se orientam dos pólos para o equador e ventos de altitude que se movimentam do equador para os pólos. Sob a acção da força de Coriolis os ventos superficiais têm componente leste e os de altitude têm componente oeste.

No movimento do vento nas camadas superiores em direcção aos pólos, a temperatura reduz-se a uma taxa de  $1,5^{\circ}\text{C}/\text{dia}$ . Então próximo à latitude  $30^{\circ}$ , o ar começa a descer e com isso ganhar calor. Isso faz com que o ar seja espalhado horizontalmente próximo à superfície. Parte dele regressa ao equador e parte segue para o pólo. A parte que regressa ao equador, em função do atrito, tende a tomar direcção leste, gerando assim ventos sudeste no hemisfério sul e nordeste no hemisfério norte. A parte que se encaminha para o pólo, ganha velocidade com a subida de altitude, até que o movimento ameniza mais uma vez em função do atrito. Com isso, geram-se ventos moderados de oeste. Próximo aos pólos, os ventos frios de leste encontram os ventos menos frios das latitudes médias, criando, assim, uma frente polar. Nessa região, parte do ar mais quente sobe e parte dele retorna ao equador. Embora a força de Coriolis também actue nesse movimento, o momento angular do movimento é tal que anula esta componente e mantém o fluxo na célula intermediária, sempre a oeste.

Nas latitudes médias, onde ocorrem as divisões das células de circulação, as massas adquirem movimentos de subida (originando ciclones) e de descida (originando anticiclones). Estes são centro de turbulência atmosférica e dão origem à chamada

circulação secundária. O conjunto formado pela circulação geral, circulação secundária e pelas forças de atrito definem o padrão médio de circulação.

Quando os ventos são fracos ou na ausência deles, a diferença de temperatura entre superfície distintas ou níveis topográficos distintos da origem as brisas locais.

No meio urbano, as temperaturas maiores ocorrem nas áreas mais densamente construídas. Os materiais de construção de maior capacidade térmica e a carência de água, causam um maior acúmulo de energia. Com isso, maior energia emitida pela superfície, e conseqüentemente, absorvida pela atmosfera. Este fenómeno aquece mais o ar dessa região e esse ar aquecido tem movimento ascendente. Nas regiões circundantes das cidades, pelo facto da apresentarem superfície vegetal, o ar é menos aquecido. Este facto gera um gradiente de pressão entre essas regiões, criando a chamada brisa de campo. Esta brisa, às vezes, é prejudicial pois pode aumentar a concentração de poluentes já que é rasteira e pode gerar uma massa fria que fique tamponada pela camada quente superior, impedindo assim a dispersão dos poluentes.

O vento é o factor fundamental para a obtenção de conforto do ambiente edificado, principalmente nas zonas mais quentes. Os ventos mais importantes são os predominantes e necessitam de um estudo aprofundado pois apresentam sazonalidade, diária mensal e anual. Dessa forma, podemos dizer que os movimentos dos ventos urbanos dependem principalmente das seguintes variantes:

- Velocidade e direcção dos ventos regulares.
- Gradiente de temperatura entre a cidade e o campo ou a cidade e o mar.

Para os ventos regionais fortes, a rugosidade do meio urbano é condicionante. Já para ventos fracos, as diferenças de pressão são o factor de maior condicionamento. O que implica que ventos regionais fortes tendam a perder velocidade no meio urbano, e que os ventos fracos obtenham um ganho de velocidade ao entrar na cidade. Ventos citadinos têm velocidade 20 a 30% menor que em regiões adjacentes.

No interior das cidades, o comportamento do vento é condicionado pelas características geométricas do local. Ou seja, pela distribuição das suas artérias e pela localização e forma dos obstáculos. Em última análise, as condições de ventilação são influenciadas principalmente pelo conjunto de elementos que compõem as secções transversais das ruas, ao longo do seu desenvolvimento. Efeitos como a canalização e túnel de ventos, dependendo da paisagem, podem ocorrer.

O fluxo do vento no ambiente urbano depende, como já foi visto, do tipo de obstáculo encontrado. Para quantificar os obstáculos e, por conseguinte, o comportamento do

movimento do fluido, foi criado o conceito de vale urbano, que é a superfície formada por dois obstáculos paralelos com zona de circulação entre eles. Existem, basicamente, três tipos de vales. São eles:

a) Vales com fluxo de rugosidade isolada: É um vale largo o suficiente para que os obstáculos dispostos de um lado da seção não interfiram no fluxo de ar que atinge o obstáculo oposto.

b) Vales com fluxo de rugosidade esteira: Quando a esteira turbulenta gerada pelo choque do vento com o obstáculo anterior interfere no fluxo de vento que atinge o obstáculo oposto.

c) Vales com fluxo turbulento: O vale é tão estreito que o fluxo é desviado por sobre o obstáculo oposto, resultando apenas num movimento turbulento entre os obstáculos.

Estamos na presença de fluxos de esteira ou turbulento quando a relação altura do obstáculo anteparo / largura do vale é próxima de 0,65 e quando a densidade construída (projecção da área construída / área total da superfície) se aproxime de 0,25. Essas variáveis além de condicionarem a ventilação dos obstáculos, condicionam também a qualidade do ar interior do vale. Do comportamento médio da circulação de ar em meio Urbano podemos concluir que:

- A altura e o afastamento relativo dos edifícios influem na turbulência superficial.
- Em ruas largas a velocidade do ar é maior. Isso também ocorre em ruas longas quando comparadas com ruas curtas.
- Em urbanizações com ruas curtas, as maiores velocidades ocorrem quando o vento atinge o eixo da rua em ângulos pequenos.
- As maiores velocidades nas ruas ocorrem em cruzamentos e a meia distância entre duas perpendiculares.
- Em zonas com pátios fechados amplos (praças), a velocidade do ar depende da relação entre a área do pátio e área construída. Quanto menor o pátio, menor a velocidade do vento e mais turbulência existirá. Contudo, a ausência ou a diminuta dimensão do pátio levará à existência de ventos adjacentes fortes.

#### 4.2.6 Circulação oceânica

A água está em deslocamento constante à volta da terra (Figura 40). Este movimento acontece tanto na horizontal quanto na vertical da superfície para às águas profundas e vice-versa. Como a distância percorrida é muito grande, a água do mar, poderá demorar

até 1000 anos para dar a volta ao globo. Além de transportarem calor, as correntes oceânicas também transportam carbono e nutrientes ao redor do globo.

O movimento das águas nos oceanos obedece a dois processos intimamente ligados entre si:

1- Circulação devida à densidade: A densidade da água do mar varia em função de dois elementos: a temperatura e a salinidade. A diferença de densidade entre dois pontos gera um movimento oceânico. Este movimento é chamado de circulação termohalina (termo = temperatura, halina = sal)

2- Circulação induzida pelos ventos: Resulta, como o próprio nome indica, em correntes superficiais induzidas pelas correntes atmosféricas do local.

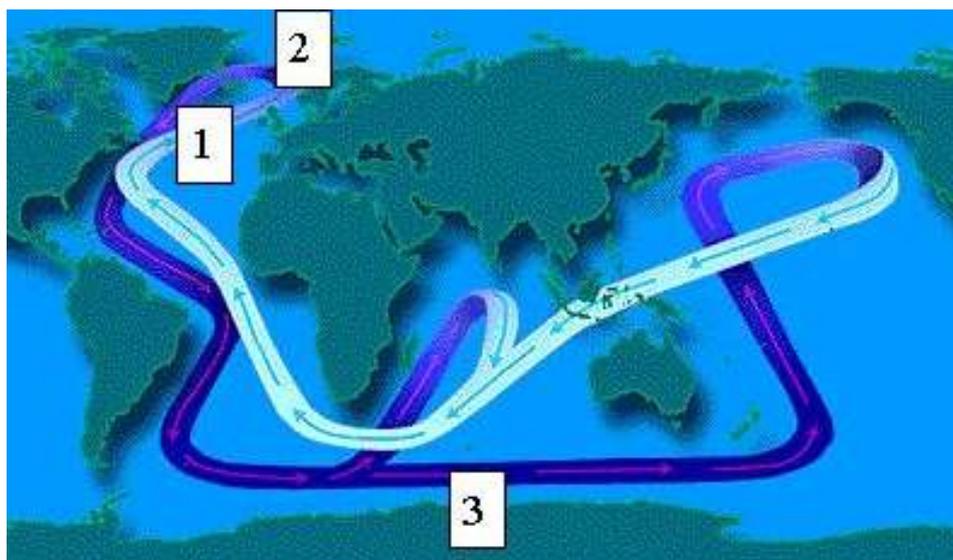


Figura 40: Circulação oceânica esquematizada pela NASA<sup>34</sup>

#### 4.2.6.1 Circulação termohalina

No atlântico tropical, o excesso de radiação solar conjugado com a alta taxa de evaporação em relação às precipitações e descargas fluviais, criam uma camada superficial com águas mais quentes e salgadas. Parte dessa água flui em direção ao

<sup>34</sup> 1. Circulação oceânica esquematizada pela NASA. As setas claras indicam o movimento geral da água à superfície dos oceanos e as setas escuras mostram o movimento das águas profundas. Os números indicam: 1. A Corrente do Golfo que transporta calor das regiões tropicais para a Europa do norte. 2. A formação das águas profundas norte atlânticas que resulta do forte arrefecimento da água no pólo norte. 3. A formação das águas profundas antárticas devido à produção de grandes blocos de gelo a volta da Antártida.

Norte, através da passagem que existe entre a Islândia e Inglaterra. Nesse percurso elas perdem calor para atmosfera, principalmente no Inverno. Como o vento nessa região é principalmente de oeste, este calor é carregado em direcção a Europa. Por isso, latitudes Norte iguais entre Europa e América apresentem temperaturas bem diferentes. Tanto calor é retirado do oceano que a temperatura da água cai até próximo do ponto de congelamento. Essa água, agora no mar da Gronelândia, permanece relativamente salgada, o que, combinado com as baixas temperaturas, a tornam mais densa que as águas situadas logo abaixo delas. Assim, o processo de convecção inicia-se e essas águas descem até o fundo. Estando no fundo, muito frias e densas, iniciam o movimento em direcção ao equador.

Outro processo similar ocorre na Antárctida, devido à produção de gelo do mar. Este gelo contém pouco sal e, quando se forma, a água envolvente torna-se mais salgada e, por conseguinte, mais densa. Esta água mais densa desce até próximo da superfície do continente antártico, dando origem à chamada água Antártica do fundo. Esta inicia o movimento de fundo em direcção ao norte que, por vezes, é interrompido pelo relevo do fundo oceânico.

Dessa circulação termohalina (águas quentes superficiais fluindo a norte, se resfriando acomodando-se no fundo do oceano e daí fluindo a sul), resulta um enorme fluxo de calor para o Norte (Figura 41), da ordem de 1PW (peta watt = 1 bilhão de de Mega watt).

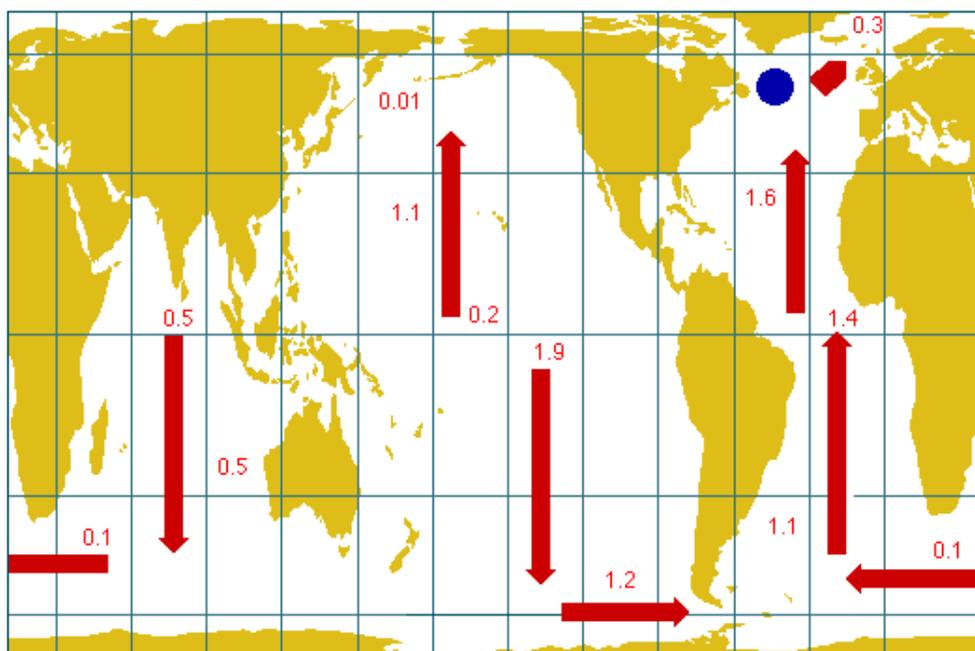


Figura 41: Mapa da transmissão de calor pela circulação termohalina, em PETA W

#### 4.2.6.2 Circulação induzida pelo vento

Um dos principais exemplos de correntes induzidas pelo vento é a corrente do Golfo, que transporta água tropical muito quente, do mar das Caraíbas e do Golfo do México, para a Europa do Norte através do atlântico.

O calor perdido pela água para a atmosfera durante esse movimento, aquece o ar (que por nessa região ter incidência oeste), gerando um ganho de calor na Europa. Assim, este continente, comparativamente com a América, tem temperaturas mais amenas para latitudes iguais. Exemplo disso é a comparação das temperaturas médias entre Madrid e Nova Iorque.

A corrente do Golfo representa um exemplo de corrente profunda do bordo ocidental, que é definida como sendo a corrente que flui ao longo da costa oeste de uma grande bacia oceânica. A corrente correspondente no oceano pacífico é a corrente de Kuroshio e no oceano Índico é a corrente das agulhas. Estas correntes são resultado da interacção entre a forma da bacia oceânica, a direcção do vento e do movimento de rotação da terra. Estas correntes movimentam-se a uma velocidade média de 3,6 km /h e têm uma largura aproximada de 150 km. São altamente influentes no clima das regiões. Existem igualmente correntes do bordo oriental que transportam as águas frias dos pólos para o equador, mas têm muito menor intensidade que suas homólogas ocidentais.

A complexa interacção de todos estes factores condiciona e regula a temperatura do ar, pois todos os factores se conjugam num sistema dinâmico e complexo.

#### 4.3 Condições de conforto

O conceito de conforto térmico não é exacto, pois depende de factores mensuráveis como a temperatura do ar, a velocidade do vento, a humidade, a radiação etc. Mas também depende de aspectos impossíveis de quantificar como o estado mental, hábitos, educação etc. É fácil de entender que o estado de conforto é, então, uma questão pessoal.

As normas são uma forma de equalizar as condições de conforto. A princípio, as normas eram baseadas apenas nas condições de conforto que se buscava atingir. Hoje em dia, o

foco mudou e as normas definem os consumos energéticos necessários para que se obtenha as condições de conforto.

#### 4.3.1 Mecanismo de regulação térmica do corpo humano

O conforto térmico baseia-se na fisiologia da termoregulação. Ou seja, no poder que o homem, e outros animais, têm de auto regular a temperatura interior do corpo, mantendo-a praticamente constante. O balanço térmico do corpo humano é definido pela relação da energia produzida no interior do corpo com as perdas térmicas para o exterior. A energia produzida no interior do corpo é denominada de actividade metabólica e depende do tipo de actividade que a pessoa esteja realizando (Tabela 15). A grandeza que quantifica a actividade metabólica é o **met**, que corresponde a 58.2 w/m<sup>2</sup>. O met e é definido como sendo a energia produzida por uma pessoa em descanso. Corresponde a 100 w, energia produzida, dividido pela superfície de pele média de uma pessoa, que é 1.8 m<sup>2</sup>, daí a obtenção dos 58.2 w/m<sup>2</sup> citados anteriormente.

Tabela 15: Actividade metabólica (ASHRAE 1997)

<b>ACTIVIDADE METABÓLICA FONTE ASHRAE 1997</b>	
<b>ACTIVIDADE</b>	<b>MET</b>
DORMIR	0.7
SENTADO	1.0
ANDAR 1,2 M/S	2.6
ESCREVER	1.1
CONDUZIR	1.2
COZINHAR	1.6 A 2.0
DANÇAR	2.4 A 4.4
DESPORTOS	3.6 A 8.6

Essas trocas térmicas efectuadas com o meio são controladas por uma parte do nosso cérebro, chamada hipotálamo. Esse órgão condiciona o nosso organismo quando sujeito

ao calor ou ao frio, espoletando processos como a sudorese ou vaso constricção por exemplo. Além do nosso corpo, outras duas barreiras nos protegem das oscilações das condições de conforto. São elas o vestuário e o abrigo. Resumindo, temos três fronteiras de defesa em relação as oscilações.

- 1) O CORPO
- 2) O VESTUÁRIO
- 3) O EDIFÍCIO

A roupa tem um efeito de isolamento em relação ao nosso corpo. Por isso torna-se muito importante para se atingir (ou não) condições de conforto. A unidade de medida da resistência térmica que a roupa produz é o **clo** que corresponde a  $0.155 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C}/ \text{w}$ . A Tabela 16 mostra a resistência de diferentes peças de roupa.

Tabela 16: Isolamento do vestuário (Mccullough and Jones)

<b>ISOLAMENTO DO VESTUÁRIO</b>	
<b>VESTUÁRIO</b>	<b>CLO</b>
CALÇÕES, CAMISA DE MANGA CURTA	0.36
CALÇAS, CAMISA DE MANGA CURTA	0.57
CALÇAS, CAMISA DE MANGA COMPRIDA	0.61
IGUAL AO ANTERIOR COM CASACO	0.96
CALÇA, CAMISA DE MANGA COMPRIDA, T SHIRT E CAMISOLA	1.01
IGUAL AO ANTERIOR COM CASACO	1.30
SAIA LONGA, CAMISA DE MANGA CURTA, MEIA E SANDÁLIA	0.54
IGUAL AO ANTERIOR COM CASACO	1.10

Em relação à definição dos índices de conforto térmico, existem basicamente duas correntes aceitas ao nível internacional. A primeira pressupõe que, por serem biologicamente idênticas, as pessoas de qualquer parte do planeta têm as mesmas preferências em relação ao conforto térmico. O principal representante desta corrente é

Fanger<sup>35</sup> que desenvolveu pesquisas minuciosas sobre a importância relativa de cada condicionante do conforto térmico e, através delas, conseguiu formular equações que as quantificam. Fanger realizou suas pesquisas com a população da Dinamarca e dos Estados Unidos. Ele expôs as pessoas estudadas a câmaras climáticas onde era possível controlar a temperatura, humidade e velocidade do ar. As pessoas permaneciam algum tempo na câmara e respondiam a um questionário térmico. Com essas respostas, e usando as equações de troca de calor entre o corpo humano e o exterior, Fanger chegou às suas conclusões. Esta abordagem ficou conhecida como analítica ou racional e leva em consideração as condicionantes individuais (peso, roupa e taxa metabólica) e as condicionantes climáticas (temperatura do ar, temperatura média radiante, velocidade e humidade do ar). As equações de Fanger foram amplamente aceites e serviram de base para as normas da ANSI/ASHRAE 55 (1992) e a ISO 7730 (1994).

A outra corrente adopta uma abordagem adaptativa, pois considera que o ser humano tem a tendência para adaptar-se as variações que possam vir a ocorrer no ambiente edificado, ou seja, mudando a roupa, os hábitos etc. Esta corrente também considera que a exposição do individuo a determinadas condições ambientais o faz ser mais resistente a essas mesmas condições, tornando-o um ser melhor adaptado ao ambiente em que vive.

Como resultado da pesquisa realizada por Fanger surgiu a sua teoria referente à determinação da sensação de conforto térmico, conhecida como MODELO PMV, que tenta traduzir um valor numérico para as sensações humanas de frio e de calor. Participaram desse estudo 1300 pessoas e, como resultado, foi possível estabelecer uma relação entre o resultado do balanço energético do corpo e a tendência para o conforto ou para insatisfação térmica.

A metodologia consiste em identificar os seguintes pontos:

- 1) Definir parâmetros: Esse passo consiste em catalogar os dados individuais das pessoas e as características de cada ambiente.
- 2) Equação de conforto: De posse dos parâmetros, substitui-los na equação de conforto térmico para determinar o valor do acumulo de energia.

---

<sup>35</sup> Cientista dinamarquês Povl Ole Fanger.

3) Cálculo do PMV: Com base no acúmulo energético do corpo e no metabolismo é possível calcular o PMV, que consiste numa escala quantitativa das sensações de calor e frio.

4) Cálculo das insatisfações PPD: em função do PMV é possível calcular as insatisfações PPD.

O estudo usou as seguintes variáveis ambientais:

- Temperatura do ar
- Humidade do ar
- Velocidade do ar em relação ao indivíduo
- Temperatura média radiante

E foram utilizadas as seguintes variáveis pessoais

- Vestuário
- O metabolismo, em função da actividade exercida

Com base nesse estudo, Fanger formulou as seguintes equações para determinação das sensações e insatisfações:

$$PMV = (0.303 \cdot \text{EXP}^{-0.036 M}) + 0.028 ) L \quad \text{Eq (11)}$$

Em que:

PMV = Sensação analítica de conforto, (adimensional)

M = Taxa metabólica, W/m<sup>2</sup>

L = Carga térmica que actua sobre o corpo, W/m<sup>2</sup>

$$PPD = 100 - 95 \text{EXP}^{- ( 0.03353 \cdot PMV^4 + 0.2179 PMV^2 ) } \quad \text{Eq (12)}$$

A norma ISO7730 estabelece como limite para o PPD 10%. Isso implica que o PMV tem que variar entre + 0.5 e - 0.5. A Tabela 17 apresenta a escala de PMV.

Tabela 17: Escala do modelo PMV

<b>COMO VOCÊ GOSTARIA DE ESTAR SE SENTINDO NESSE MOMENTO?</b>	
BEM MAIS AQUECIDO	-3
MAIS AQUECIDO	-2
ASSIM MESMO	-1
POUCO MAIS AQUECIDO	0
POUCO MAIS FRESCO	1
MAIS FRESCO	2
BEM MAIS FRESCO	3

#### 4.3.2 Balanço energético

Para o cálculo do balanço energético do corpo humano, a taxa de produção de energia do corpo humano é igual à soma da taxa de produção de calor (Q) e de trabalho (W).

$$Q+W = M \times A_c \quad \text{Eq (13)}$$

Em que:

M- actividade metabólica

A<sub>c</sub>- área da superfície do corpo

A produção de calor é igual ao fluxo de calor instantâneo com o exterior.

$$Q = Q_{\text{com}} + Q_{\text{rad}} + Q_{\text{evap}} + Q_{\text{res,sen}} + Q_{\text{res,lat}} \quad \text{Eq (14)}$$

Em que:

Q<sub>com</sub>- perda de calor por condução através da pele

Q<sub>rad</sub>- perda de calor por radiação através da pele

Q<sub>evap</sub>- perda de calor por evaporação através da pele

Q<sub>res,sen</sub> – perda de calor sensível pela respiração

Q<sub>res,lat</sub> – perda de calor latente pela respiração

### 4.3.3 Cálculo da temperatura de conforto

Além da norma iso7730, a norma ASHRAE 55 (baseada em Fanger), apresenta vários gráficos a partir dos quais é obtida a temperatura de conforto, tanto para o Verão quanto para o Inverno. Para tal é preciso calcular a temperatura de referência  $T_r$  descrita pela Equação 15.

$$T_r = \frac{(\alpha_r T_s + \alpha_c T_a)}{\alpha_r + \alpha_c} \quad \text{Eq (15)}$$

Em que:

- $\alpha_r$  Coeficiente de radiação = 4.9 W/m<sup>2</sup> °C;
- $\alpha_c$  Coeficiente de convecção = 2.9 W/m<sup>2</sup> °C;
- $T_a$  Temperatura ambiente (°C).

$T_s$  é a temperatura média radiante a que a pessoa está sujeita e pode ser calculada pela Equação 16.

$$T_s = \sum_{i=1}^n T_i^4 \cdot F_{p-i} \quad \text{Eq (16)}$$

Em que:

$T_i$  – temperatura da superfície  $i$  (° c)

$F_{p-i}$  - factor de forma entre a pessoa e a superfície

Os factores de forma dependem da posição e da orientação da pessoa e podem ser obtidos através de gráficos desenvolvidos por Fanger, conforme a Figura 42.

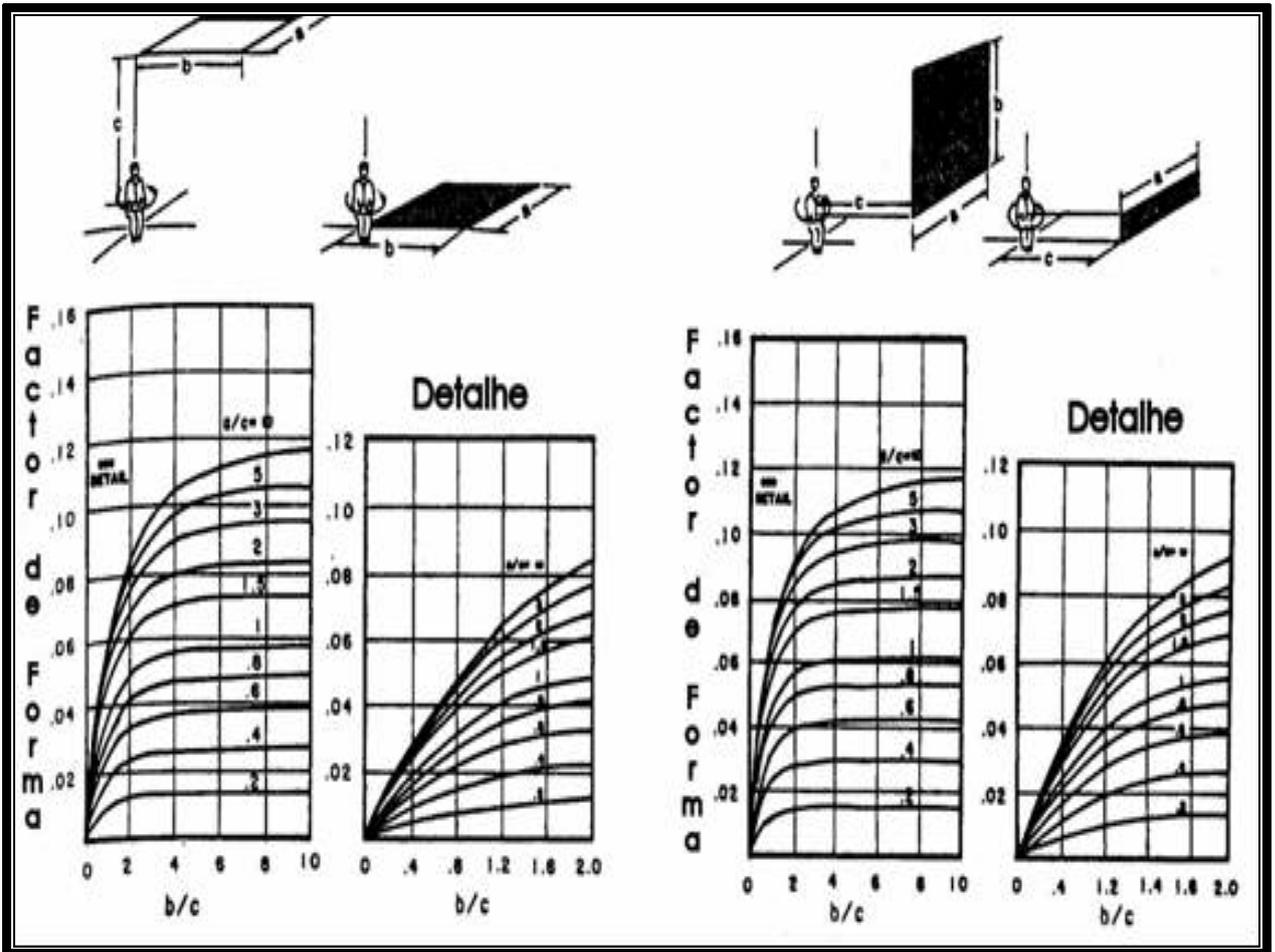


Figura 42: Valor médio do factor de forma entre uma pessoa sentada e a superfície próxima, por Fanger

Antes de considerar os gráficos, é preciso corrigir a temperatura em função da actividade metabólica e do vestuário, através da Equação 17.

$$T_{r-corr} = T_r - (1 + clo) \times (met - 1,2) . \quad \text{Eq (17)}$$

Em que:

$T_{r-corr}$  – Temperatura de referencia corrigida

A partir dessa temperatura corrigida é possível, através da Figura 43, determinar a temperatura de conforto de Inverno e de Verão.

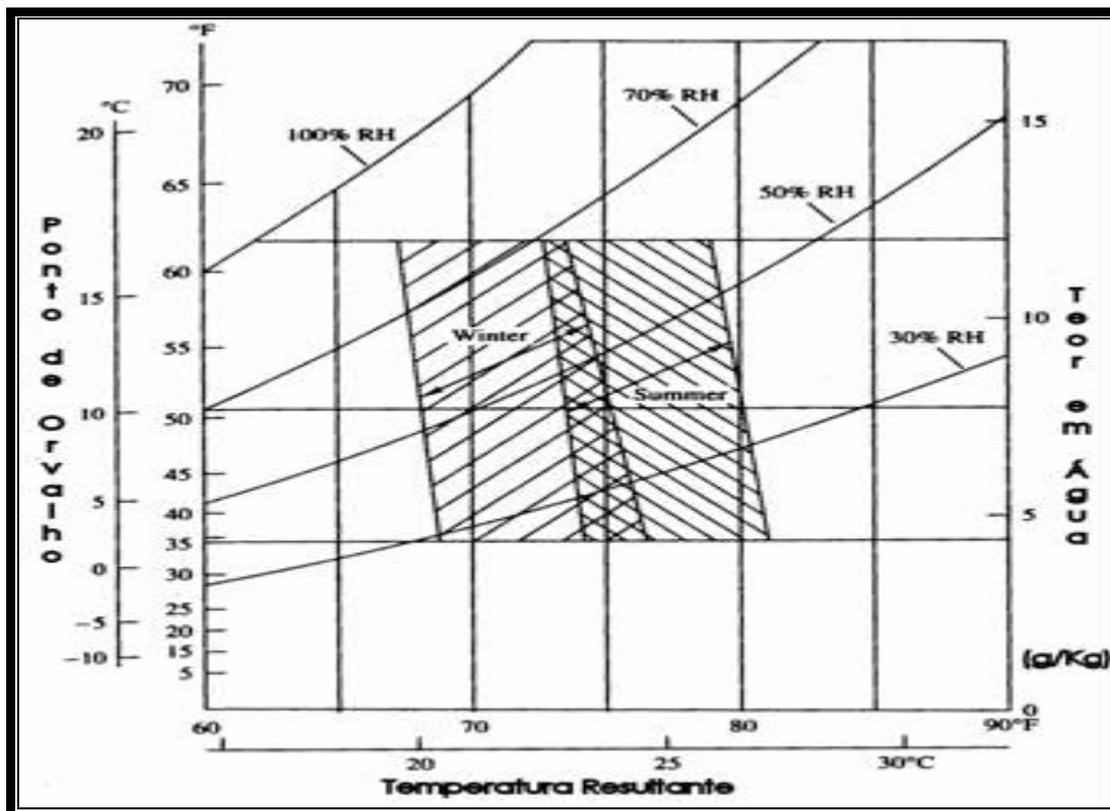


Figura 43: Diagrama psicrométrico de temperatura de conforto

A outra corrente, a adaptativa, tem num dos seus primeiros estudos, os apresentados por Humphreys (1978). Ao examinar os resultados de diversos estudos de campo, realizados em diversas regiões do planeta, este autor observou que as temperaturas preferidas nos interiores das edificações apresentavam acentuada dependência em relação às médias mensais das temperaturas exteriores. Para ambientes sem climatização artificial, esta dependência poderia ser expressa por uma equação linear. Mais recentemente, o mesmo autor apresentou um estudo bem mais completo sobre o tema (Humphreys e Nicol, 2001<sup>36</sup>) propondo uma modificação nas equações de Fanger com o objectivo de torná-las sensíveis ao carácter adaptativo das sensações térmicas humanas.

Antes de Humphreys, outros autores já consideravam hipótese semelhante. Em 1970 foram publicadas as planilhas de Mahoney<sup>37</sup>

(publicadas pela ONU em 1971, Climate and House Design), que constituem um modelo simplificado de análise bioclimática, elaborado por Mahoney, Koenigsberger e Evan. Nesse trabalho é adoptado um conceito adaptativo de zona de conforto, no qual os

<sup>36</sup> Nicol J.F. and Humphreys M.A. (2001) Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings energy and buildings.

<sup>37</sup> Carl Mahoney, cientista do Departamento de Estudos Tropicais da Associação de Arquitectura de Londres.

limites desejáveis de temperatura são distintos para períodos diurnos e noturnos e dependem das médias mensais de humidade relativa e da média anual da temperatura do ar exterior. O modelo é ainda mais adaptativo pois supõe, que além de se adaptar ao clima regional, o indivíduo preferia durante a noite temperaturas mais baixas que as desejadas durante o dia.

Posteriormente a Humphreys os estudos foram intensificados e Darmawan aponta três características de adaptação térmica: ajustes de comportamento (escolha de roupa, mudança no nível de actividade, abertura ou fechamento de janela, etc.), adaptações fisiológicas

(aclimação) e reacções psicológicas (expectativas). Alguns autores sugerem que as temperaturas preferenciais pelo indivíduo dependem das expectativas provocadas pelo facto do edifício ocupar ou não de sistema de climatização artificial, facto contestado por Nicol e Humphreys.

#### 4.3.4 Equações da abordagem adaptativa

A Tabela 18 apresenta a Planilha de Mahoney para os limites confortáveis de temperatura.

Tabela 18: Planilha de Mahoney para os limites confortáveis de temperatura

<b>LIMITES CONFORTÁVEIS DE TEMPERATURA ( MAHONEY)</b>						
MÉDIA MENSAL DE HUMIDADE REACTIVA	TMA < 15°		15° <TMA< 20°		TMA> 20°	
	DIA	NOITE	DIA	NOITE	DIA	NOITE
UR<30%	12 A 21	21 A 30	14 A 23	23 A 32	17 A 25	26 A 34
30% ≤ UR < 50%	12 A 20	20 A 27	14 A 22	22 A 30	17 A 24	25 A 31
50% ≤ UR < 70%	12 A 19	19 A 26	14 A 21	21 A 28	17 A 23	23 A 29
70% ≤ UR	12 A 18	18 A 24	14 A 20	20 A 25	17 A 21	22 A 27

Segundo Mahoney, a temperatura média dos limites de conforto seria representadas por:

$$T_c = 14.15 + 0.42 TME \quad \text{Eq (18)}$$

Humphreys estabeleceu, para ambientes sem condicionamento térmico artificial, a expressão:

$$T_c = 11.9 + 0.534 TME \quad \text{Eq (19)}$$

Em que:

$T_c$  – Temperatura média confortável em ambiente interno ou temperatura neutra

$TME$ - Temperatura média mensal exterior.

Szokolay (1987)<sup>38</sup> estabelece também uma equação, mas impõe como limite de temperatura de conforto o intervalo entre 18.5° e 28.5°.

$$T_c = 17.6 + 0.31 TME \quad \text{Eq (20)}$$

Em que:

$T_c$ - Temperatura média de conforto.

$TME$ - Temperatura média exterior, mensal ou anual.

Em torno dessa temperatura de conforto, Szokolay estabelece uma faixa de tolerância que varia em função da análise exterior ser média mensal ou anual. No caso de médias mensais a temperatura poderia flutuar 2°C. No caso de ser anual, poderia flutuar 1.75°C. Como apenas a faixa de tolerância varia em função de TMM ou TMA, médias mensais ou anuais, essa hipótese torna possível a comparação entre alguns modelos. Pois Mahoney, por exemplo, adota o TMA enquanto outros adotam o TMM.

Ao comparar a equação de Humphreys com estudos realizados na Europa e no Paquistão Fergus Nicol<sup>39</sup> admite as seguintes equações:

$$T_c = 18.5 + 0.36 TME \quad \text{Paquistão} \quad \text{Eq (21)}$$

$$T_c = 18.5 + 0.22 TME \quad \text{Europa} \quad \text{Eq (22)}$$

Em estudos realizados por Bravo e Gonzáles<sup>40</sup>, na Venezuela, para habitações não climatizadas e temperatura externa variando entre 25.5 e 31°C. As temperaturas internas

---

<sup>38</sup> Szokolay, S.V. (1987) Thermal Design of Buildings, Canberra Australia. Raya Education Division.

<sup>39</sup> Nicol JF, Raja IA, Allaudin A and Jamy GN, Climatic variations in comfortable temperatures.

consideradas confortáveis foram registadas na faixa entre 26 e 32°C, este estudo originou a Equação 23.

$$T_c = 5.64 + 0.82 \text{ TME} \quad \text{Maracaibo} \quad \text{Eq (23)}$$

Nicol e Humphreys (2001) em conjunto propõem a Equação 24

$$TC = 13.5 + 0.54 \text{ TME} \quad \text{Eq (24)}$$

O Gráfico 4 representa as variações de cada equação para diferentes climas.

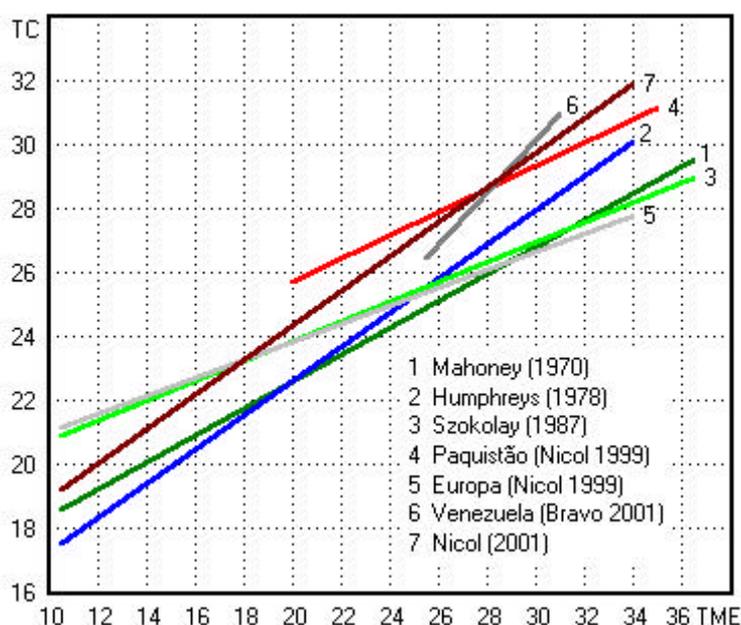


Gráfico 4: Temperatura de conforto para as diversas hipóteses em climas diferentes

Pela análise do gráfico é fácil perceber as grandes variações entre as rectas, que mesmo levando em consideração as tolerâncias propostas, indicam para estudos mais pormenorizados. Os países que dispõem de regulamentação, como é o caso RCCTE de Portugal, estabelecem as condições de conforto interno, que servem como horizonte para cálculo das cargas térmicas necessárias, a fornecer ou retirar do ambiente, a fim de que seja atingida a condição de conforto proposta.

<sup>40</sup> Confort térmico em el trópico húmedo: Experiencias de campo en viviendas naturalmente ventiladas, Gaudy Claret Bravo Morales e Eduardo Manuel Gonzáles Cruz.

#### 4.4 Relação entre arquitectura e consumo energético

Focando na arquitectura é fundamental, como já foi por diversas vezes citado neste trabalho, uma equipe multi-disciplinar na concepção dos edifícios, de forma a garantir a modulação do ambiente construído em linha com a fisiologia da termoregulação.

Esta modulação consiste basicamente em:

- 1) Promover ou restringir ganhos de calor gerado no exterior
- 2) Promover ou restringir perdas de calor acumuladas no interior.

O cruzamento das 4 hipóteses de regulação (promover ou restringir ganhos de calor externo e promover ou restringir perdas de calor interno) com os 3 modos de transferência de calor (condução, convecção e radiação) e mais um quarto fenómeno, a evaporação, produz um total de dezasseis estratégias bioclimáticas. Contudo, apenas dez dessas podem ser utilizadas pela arquitectura e estão representadas na Tabela 19, divididas entre estações frias e quentes.

Tabela 19: Estratégias bioclimáticas

transferência	frio		quente	
	promover ganho	restringir perda	restringir ganho	promover perda
condução		minimizar condução	minimizar condução	earth cooling
convecção		minimizar infiltração	minimizar infiltração	ventilação
radiação	ganhos solares		protecção solar	arref. radioa.
evaporação				arref. Evap

Em climas predominantemente quentes ou frios, apenas dois grupos dessas estratégias podem ser colocados em prática. No caso português, como o clima é misto, é necessário recorrer a todas elas afim de dotar a edificação do melhor conforto sustentável possível.

#### 4.4.1 Estratégias para a estação fria

##### 4.4.1.1 Minimizar a condução (isolamento e factor de forma)

Podemos dizer que a condução de calor é a troca de energia entre sistemas, ou partes integrantes de um mesmo sistema, que apresentem um gradiente de temperatura. Isto ocorre devido a interacção molecular (impacto), onde moléculas de alto nível energético transferem energia a outras de menor carga de energia. Esse facto acontece nos gases e principalmente nos líquidos, pois apresentam maior proximidade entre as moléculas. Para sólidos não metálicos, o mecanismo básico de condução está associado às vibrações das estruturas electrónicas. No caso dos metais, os electrões livres, que podem mover-se na estrutura cristalina, fazem aumentar a intensidade da difusão (condução) de energia. A condução se baseia na chamada lei de Fourier e, segundo ela, a densidade do fluxo de calor que atravessa uma superfície é proporcional ao gradiente de temperatura existente entre seus extremos, é inversamente proporcional à espessura da camada e dependente de uma constante de proporcionalidade conhecida como condutibilidade térmica que é característica para cada material, como mostra a Equação 25.

$$Q = - K (dT/dx) \quad \text{Eq (25)}$$

Em que:

Q – Fluxo de calor w/m<sup>2</sup>

K – Condutibilidade térmica do material w / K m

dT- Gradiente de temperatura

dx- Espessura da superfície

A estratégia de utilização para o Inverno difere da estratégia a ser adoptada no verão. No clima português temos Invernos com temperaturas sempre abaixo dos limites de conforto, já no caso do verão essas médias ficam dentro da zona de conforto.

No Inverno a temperatura média exterior é muito baixa e as amplitudes térmicas pequenas, é possível admitir com isso que a temperatura interior também será

praticamente constante, com isso a transmissão de calor através da envolvente acontecerá de forma constante e com fluxo unidireccional. Por esta razão a quantidade de calor transportado através da envolvente, vai depender, da condutibilidade térmica da superfície, da sua espessura e do gradiente térmico existente (Figura 44). No caso de paramentos formados por mais de uma camada, analogamente a transmissão eléctrica, podemos usar o conceito de resistência térmica, que é o inverso da condutância. Assim poderemos somar as resistências parciais de cada camada e acrescentar a elas, no final, as resistências superficiais da face interior e exterior do conjunto. Estas entram em conta por serem as parcelas relativas às trocas radioactivas e convectivas, que ocorrem entre essas superfícies e o meio ambiente.

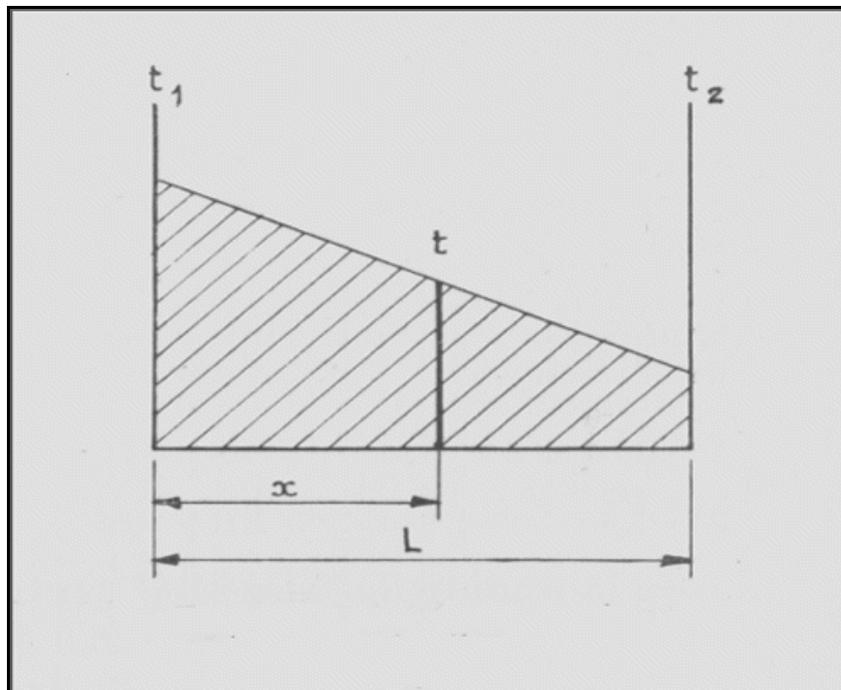


Figura 44: Esquema de transmissão de calor numa superfície

Trabalhando em cima da equação de Fourier é possível deduzir a Equação 26.

$$Q = S \cdot R^{-1} \cdot \Delta T \quad \text{Eq (26)}$$

Em que:

Q – Energia W

S- Área da superfície m<sup>2</sup>

R- Resistência térmica da superfície m<sup>2</sup>K/W

$\Delta T$  – Diferença entre temperatura interior e exterior

Com base na equação 26, as condicionantes para o consumo energético são: a diferença de temperatura entre o interior e o exterior, a resistência térmica da superfície separadora e a área desta superfície. As estratégias a adoptar para o período frio são:

4.4.1.1.1 Reduzir a diferença de temperatura entre o ambiente interior e o meio exterior  
Isso pode ser feito escolhendo as encostas mais quentes e os locais abrigados do vento, seja por protecção da topografia ou de quebra ventos naturais ou artificiais.

4.4.1.1.2 Reforçar a resistência térmica da envolvente

Neste caso, a acção tem que ser feita em duas vertentes combinadas (espessura e condutibilidade da camada). A resistência térmica é definida como a relação espessura e condutibilidade térmica da camada, para se controlar a resistência temos que usar materiais isolantes (ou seja, de baixa condutibilidade), com a espessura necessária para a obtenção da resistência térmica desejada. Neste capítulo é de fundamental importância não só a preocupação com as paredes da envolvente, mas também com os vãos envidraçados, os pavimentos em contacto com o exterior ou solo, a cobertura e as pontes térmicas. A Tabela 20 apresenta os intervalos de condutibilidade de cada classe de material.

Tabela 20: Intervalo de condutibilidade das classes de materiais

<b>condutibilidade ( W/ m.K)</b>	<b>materiais de construção</b>
≈ 0,04	isolantes: cortiça, poliestirenos, poliuretano, lãs de rocha e vidro, alcatifas ..
0,1 a 0,5	madeira, betão celular, gesso...
0,8 a 3,0	betão, tijolo, pedra, argamassa, vidro...
≥ 35,0	metais: chumbo(35)..... Cobre(380)

#### 4.4.1.1.2.1 Controlo da condução nos vãos envidraçados

Os vãos envidraçados são elementos ambivalentes. Ou seja, além de contribuírem para a perda de carga interna, são eles que possibilitam os ganhos de radiação solar. Por isso é fundamental a escolha correcta de qual fachada deve ou não ser mais envidraçada. A preferência, no caso de Portugal, é sempre para sul. Isso porque estando acima do trópico, a sua carta solar mostra que a radiação é predominantemente de Sul, fazendo com que a fachada Norte só receba luz difusa. Por isso, quanto menor for o nível de abertura dessa fachada menor será a perda energética das cargas necessárias ao ambiente interno no Inverno. Isto porque o vão envidraçado, quando comparado com outros elementos da envolvente é sempre o elemento de menor resistência térmica. É ainda de fundamental importância, no caso português, fazer a correcta combinação da baixa condutibilidade térmica por condução, com o factor solar do vidro, que corresponde à componente de radiação deste elemento. É importante que o vão envidraçado tenha uma alta resistência térmica, mas que não afecte demais seu factor solar, que é a relação entre a energia radioactiva incidente e a energia que atravessa o vão. É preciso que o vidro seja suficientemente resistente à condução mas sem atrapalhar os ganhos por radiação. Em relação aos caixilhos, é sempre melhor utilizar materiais menos condutores como é o caso da madeira ou pvc (ou caixilhos mais recentes como os super isolantes em vinil). No caso de utilização de caixilho metálico é fundamental o recurso a dispositivos de rupturas térmicas, em que um material isolante separe a superfície interna da externa da caixilharia.

#### 4.4.1.1.2.2 Controlo da condução na envolvente vertical opaca

Quanto às paredes envolventes, terão de ser dimensionadas em função do coeficiente de transmissão permitido pelo regulamento. A sua composição pode ser mono ou multicamadas. O ar apresenta baixa condutibilidade térmica, aproximadamente  $0.025 \text{ w/m.K}$ , e pode ser utilizado nas paredes como elemento isolante de baixo custo. Para tal, é importante que ele esteja protegido da componente convectiva, já que se adquirir movimento relativo criará arrefecimento no elemento estático da parede. Para tal pode tirar-se partido dele ou no uso de alvéolos (blocos alveolados ou paredes em betão perfurado) ou em caixas-de-ar relativamente herméticas. As camadas isolantes devem ser agregadas às camadas constituintes afim de dotar a parede de uma mais baixa condutibilidade. O cuidado a ter é sempre em relação ao posicionamento do isolamento.

No clima português, que demanda uma alta inércia térmica, este isolamento é sempre recomendado pelo exterior. Isto porque só podemos considerar como massa térmica disponível a massa interior ao isolamento. É necessário um cuidado especial quando se trata de habitação de fins-de-semana, haja vista serem normalmente aquecidas por meio artificial e que a inércia funcionaria como massa adicional a ser aquecida, o que demandaria tempo e energia. Outro aspecto importante que contribui para a preferência do isolamento pelo exterior é a correcção das pontes térmicas, que são os contactos das superfícies descontínuas do pano de alvenaria (estrutura, peitoris, etc.), com a superfície interior do paramento. Ainda no que toca à alvenaria, quando o isolamento é feito pelo interior (para pano simples de alvenaria) ou no interior de caixa-de-ar (para panos duplos ou triplos de vedação) é fundamental o controle das condensações. O facto de termos uma parede bem isolada pode fazer com que as condensações que foram evitadas na superfície da parede venham a ocorrer no interior deste elemento. É importante o uso de um elemento para vapor (camada que retenha o vapor de água), na superfície quente, afim de evitar que o vapor de água atravesse o elemento e venha a condensar no seu interior.

#### 4.4.1.1.2.3 Controlo da condução na cobertura

Para o estudo da minimização da condução pela coberta, podemos dividi-las em duas classes: as coberturas planas e as inclinadas. No caso das coberturas planas (que podem ter apenas função de cobertura ou uso conjugado como terraço), o isolamento deve ser colocado sempre entre a laje e a camada de forma, afim de evitar as variações térmicas que possam vir a fissurar a laje. É de fundamental importância que a camada de impermeabilização também fique protegida pelo isolamento, visto que essa protecção aumentará sua vida útil. É essencial a propriedade hidrofugante do isolamento, pois caso ele absorva água reduzirá bastante a sua resistência térmica. Quanto à camada de superfície irá variar conforme melhor se enquadre no projecto. O importante é que seja o mais reflectiva possível para evitar ao máximo a absorção (que iria aumentar a energia interior, aumentando assim a temperatura e fazendo com que o arrefecimento radioactivo gerasse uma alta amplitude térmica na camada). É preciso dispensar uma atenção especial aos ciclos gelo e degelo em algumas regiões. A Figura 45 mostra o detalhamento construtivo de uma cobertura plana invertida.

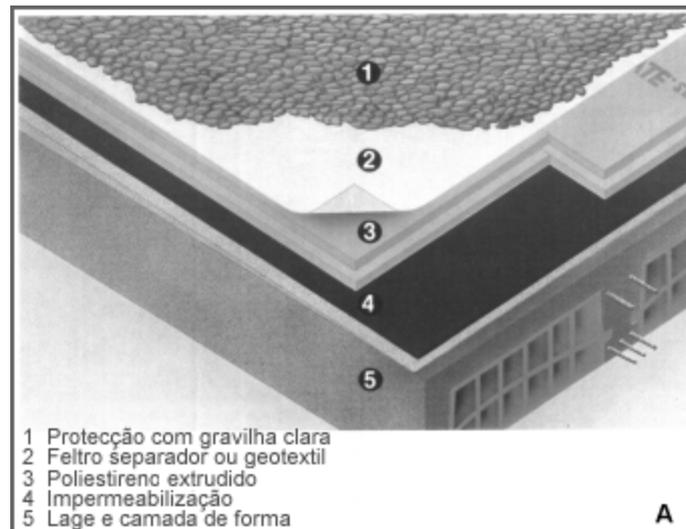


Figura 45: Esquema construtivo da cobertura plana invertida

No caso das coberturas inclinadas, a introdução do isolamento vai depender do uso do desvão. No caso de desvão não habitado, o isolamento deve ser aplicado sobre o tecto. Nesse caso a camada de ar entre a cobertura e o tecto servirá de isolante afim de amenizar a temperatura incidente sobre o isolamento. No caso do desvão ser habitado, o isolamento tem que ser aplicado sobre a laje inclinada e é fundamental a sua correcta aplicação para que não prejudique a ventilação do telhamento (o que reduziria a sua vida útil), bem como a garantia da sua hidrofugicidade (para não prejudicar a capacidade isolante).

#### 4.4.1.1.2.4 Controlo da condução em pavimentos

Quanto a condução nos pavimentos é preciso ter preocupação com o isolamento dos pavimentos sobre o exterior ou sobre caixa-de-ar. Estes isolamentos devem ser feitos pela superfície inferior (analogamente às paredes). No caso de pavimento em contacto com o solo, além da superfície em contacto, é necessário o isolamento perimetral, que pode ser executado prolongando o isolamento das paredes até às fundações.

#### 4.4.1.1.3 Redução da área da envolvente

Para reduzir a área da envolvente é necessário optar pela forma mais compacta. Ou seja, a forma que apresente a menor superfície envolvente para o mesmo volume interior. O factor de forma<sup>41</sup> é mais importante quanto menor for o edifício. Como podemos observar pela Figura 46, a diferença dos factores forma para áreas pequenas,

<sup>41</sup> Relação entre a área da envolvente e o volume por ela confinado.

em diferentes geometrias, é muito maior que para áreas grandes. Isso implica que a sua importância irá diminuir com o aumento da área de piso. Daí é possível retirar a distinção entre os edificios: os pequenos edificios comandados pela envolvente e os grandes edificios comandados pelas cargas térmicas interiores. A interacção com outras estratégias, nomeadamente de convecção e radiação, podem conduzir, pelo seu carácter direccional, a formas menos compactas e mais alongadas e recortadas.

Área de Pavimento Volume Bruto	100 .0m2 300.0m3	200.0m2 600.0m3	1000.0m2 3000.0m3
	0.72	0.57	0.33
	0.89	0.71	0.41
 comp = 3 * larg altura = 3.0 m	1.13	0.99	0.81

Figura 46: Factor de forma de figuras geométricas em função da dimensão

#### 4.4.1.2 Minimizar a infiltração

O vento é responsável por trazer ao ambiente interior massas de ar exteriores que podem ser mais ou menos frias do que as que ali se encontram. Pode, também, acelerar o processo de troca térmica entre o ar e a superfície que é contactada com o seu movimento. No Inverno ele age das duas formas. A primeira, relativa à convecção no envelope do edificio, já foi considerada aquando do somatório das resistências superficiais na parcela por condução, restando a componente devida à infiltração. Analogamente à condução, também o processo convectivo pode ser traduzido por uma equação de fluxo energético, segundo Newton<sup>42</sup>, o fluxo de calor convectado entre o sólido e o fluido  $Q_{cv}$ , é proporcional a área de contacto  $S$ , a diferença de temperatura entre eles  $T'-T$ , introduzindo um factor de proporcionalidade que é o coeficiente de transferência por convecção  $h_c$ .

<sup>42</sup> Isaac Newton, cientista inglês.

$$Q_{cv} = S \text{ (m}^2\text{)} \cdot h_c \text{ (w/m}^2\text{.k)} \cdot T' - T \text{ (}^\circ\text{)} \quad \text{Eq (28)}$$

Em que:

$Q_{cv}$  – Fluxo de calor convectado

S- Área de contacto

$h_c$  – Coeficiente de transferência por convecção

$T' - T$  – Diferença de temperatura entre sólido e fluido

No caso das infiltrações, podemos substituir a componente  $S \cdot h_c$  pelo volume ( $V$ ) vezes a massa volúmica ( $\rho$ ) vezes o calor específico ( $c$ ). Nesse caso, o gradiente de temperatura será a diferença entre a temperatura do ar exterior e interior.

$$Q_v = V \text{ (m}^3\text{)} \rho \text{ (kg/m}^3\text{)} c \text{ (kj/ kg.k)} T' - T \text{ (}^\circ\text{)} \quad \text{Eq (29)}$$

Em que:

$V$  – Volume do ambiente

$\rho$  – Massa volúmica

$c$  – Calor específico

As infiltrações vão depender da forma como age o vento e da forma como a envolvente está protegida. Nada pode ser feito em relação a acção do vento apenas estudá-la para saber ao certo a sua predominância e velocidade incidente. Quanto à protecção, pode-se dispor os espaços exteriores de um arranjo paisagístico a fim de abrandar a ventilação; orientar a configuração do edifício de modo a oferecer a menor secção aos ventos dominantes; compartimentar de forma adequada o espaço interior; interpor vestíbulos tampão nas entradas principais; dotar paredes, pavimentos e tectos de revestimentos contínuos; ter cuidados especiais de pormenorização e execução de juntas secas e móveis; dimensionar cuidadosamente o número de folhas de caixilharia (bem como privilegiar a folha giratória em detrimento da corrediça); dotar condutas de admissão e extracção de ar de registos reguláveis; ter um cuidado especial com o efeito chaminé que pode ser causado em plantas com pouca compartimentação e pés direitos duplos (o que facilitaria as infiltrações pela criação de zonas de baixa pressão).

Traduzindo o nível das infiltrações pelo número de renovações do ar por hora (rph), podemos admitir, para países de climas amenos, uma taxa próxima a 1 rph. Em países frios, esse número não ultrapassa 0.5 rph. Mas essa taxa pode ser facilmente

negligenciada pelo uso indevido de portas e janelas que podem elevar esse índice a 10 rph. Renovações inferiores a 0.5 rph devem ser evitadas por influírem bastante no aumento de poluentes de ar interior. É prudente equilibrar o controle das infiltrações com o isolamento da envolvente pois, como fica claro, de nada adiantará uma envolvente altamente isolada com taxas de infiltrações elevadas.

#### 4.4.1.3 Promover ganhos solares (Captação solar e massa térmica)

Quando as temperaturas exteriores são inferiores às temperaturas de conforto, é necessário captar energia solar a fim de criar carga térmica para poder dotar o ambiente interior de temperaturas dentro da zona de conforto. O Ganho solar precisa ser combinado com as estratégias de conservação para que seja eficiente. É importante também analisar esse ganho na estação de arrefecimento pois pode demandar sobre aquecimento no período de verão. A Figura 47 mostra o balanço energético de um ambiente interior de uma edificação.

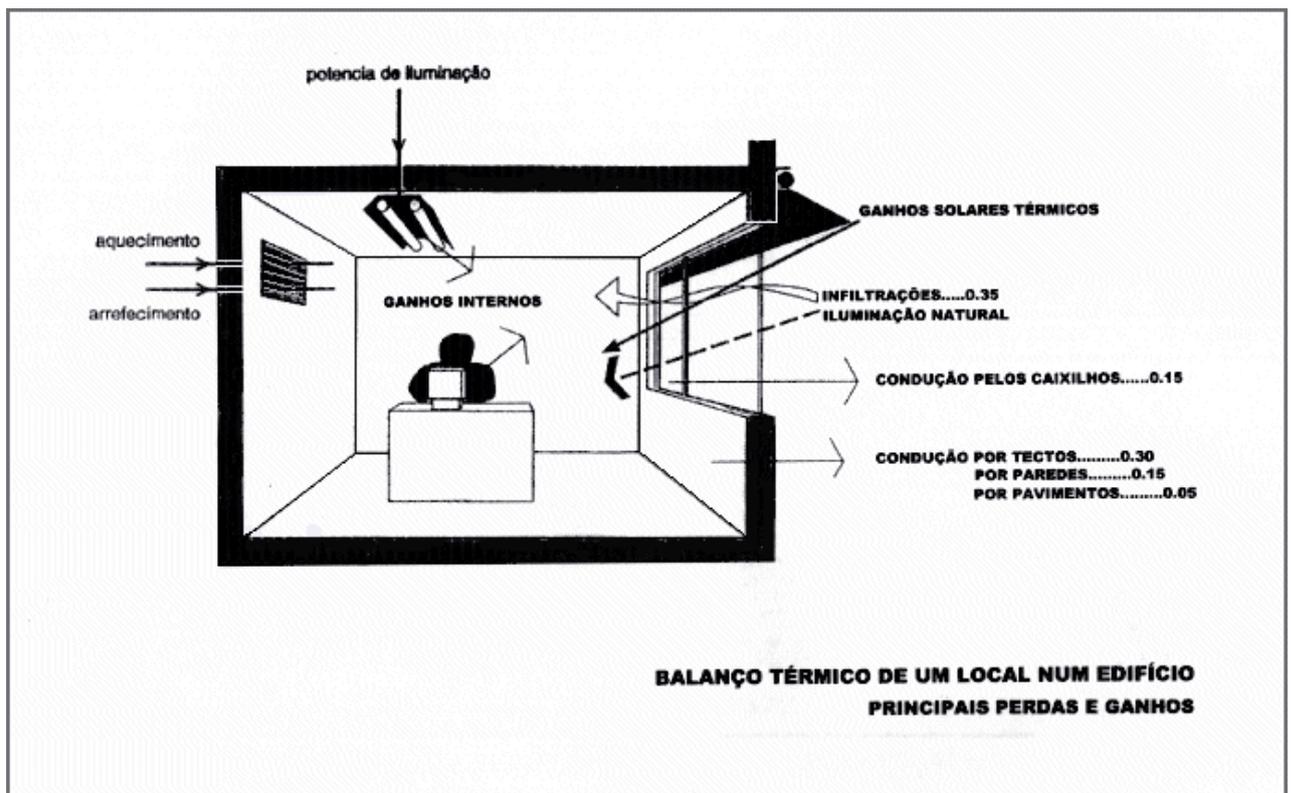


Figura 47: Balanço térmico de um local num edifício

Os ganhos solares ocorrem por transferência térmica devida à radiação. As estratégias radiactivas são assentes em duas propriedades. A primeira é que a radiação, ao contrário da condução e convecção, não depende de um meio de propagação material (sólido ou fluido). Para ocorrer necessita apenas que o meio separador dos corpos não seja opaco à radiação. A segunda propriedade é que ela depende da temperatura absoluta do corpo e não de um gradiente térmico.

Stefan e Boltzmann<sup>43</sup> formularam a relação de dependência entre a emissividade e a temperatura de um corpo negro (corpo cuja emissividade é igual a unidade). A intensidade da radiação emitida é proporcional à 4ª potência da sua temperatura absoluta, tendo como constante de proporcionalidade a constante de Stefan-Boltzmann.

Os corpos reais não são negros. Ou seja, têm poder emissivo inferior aos corpos negros à mesma temperatura. Sendo assim, a sua emitância (intensidade de radiação emitida) é função da sua temperatura absoluta e da sua emissividade.

Todos os corpos, além de emitirem radiação, absorvem, e com excepção dos negros, também reflectem uma parte da radiação incidente. Os coeficientes de reflexão de transmissão e de absorção variam com a temperatura e o comprimento de onda incidente. Mas a sua soma é igual à unidade e a emissividade é, em regra geral, igual ao coeficiente de absorção.

A Tabela 21 mostra a diferença dos coeficientes de absorção de diversos materiais para a radiação solar e para radiação secundária, de grande comprimento de onda. Esses coeficientes devem ser tido em conta tanto na promoção dos ganhos solares quanto na sua protecção. Esses materiais (na cor natural, ou acabados em outra cor), não transmitem a radiação incidente. Isto faz com que o seu coeficiente de reflexão seja a diferença entre a unidade e os coeficientes de absorção.

---

<sup>43</sup> Cientistas que conjuntamente formularam a lei. Descoberta experimentalmente por Jozef Stefan em 1879 e desenvolvida de forma teórica por Ludwig Boltzmann em 1804.

Tabela 21: Coeficientes de absorção das radiações solar e secundária

MATERIAL	COEFICIENTE DE ABSORÇÃO PARA A RADIAÇÃO SOLAR	COEFICIENTE DE ABSORÇÃO E EMISSIVIDADE PARA A RADIAÇÃO SECUNDÁRIA
ASFALTO, CORES ESCURAS	0,85 A 0,98	0,9 A 0,98
TIJOLO, BETÃO, CORES MÉDIAS (VERDE, VERMELHO, CASTANHO)	0,65 A 0,80	0,85 A 0,95
FIBROCIMENTO EXPOSTO (2 MESES)	0,7	0,95
MADEIRA DE PINHO	0,6	0,95
CALCÁREO	0,57	0,95
CHAPA GALVANIZADA	0,4	0,2 A 0,3
CAIAÇÃO (CORES CLARAS)	0,15 A 0,5	0,05 A 0,95
ALUMÍNIO	0,3 A 0,5	0,05

O vidro, por ser um material transparente, apresenta coeficiente de transmissão. E o valor dos seus coeficientes é função do ângulo de incidência da radiação. Como exemplo, se comparamos os coeficientes de um vidro claro corrente com ângulos de incidência normal ou a 80° teremos os seguintes valores: O coeficiente de absorção pouco varia, passando de 0.05 (no ângulo normal) para 0.06 (a 80°). Já o coeficiente de reflexão varia de 0.08 (quando o ângulo é normal a superfície) para 0.52 (a 80°). Para a transmissão temos coeficientes de 0.87 (para um ângulo normal) e de 0.42 (a 80°).

Outra forma de obter ganho térmico é através do sistema solar passivo. Este sistema aproveita a radiação que é colectada no vão envidraçado e transmitida para dentro do espaço aquecido, onde é absorvida por massas térmicas. A radiação colectada é função da área do colector (S) e da radiação que nele incide. A radiação solar incidente depende da radiação solar disponível (I), que é função da orientação da superfície, da sua latitude e das condições meteorológicas, bem como das obstruções (factor de sombreamento  $\Phi$ ). Apenas uma parte da energia incidente é transmitida, o que se traduz no factor solar do vidro  $S_v$ . E nem toda que é transmitida é utilizada, isso se traduz no factor de utilização  $\eta$ , que depende do sistema solar passivo. Então, os ganhos solares úteis (GSU) podem ser expressos pela Equação 30.

$$GSU (w) = I (wh/m^2) \cdot S (m^2) \cdot \eta \cdot S_v \cdot \Phi \quad \text{Eq (30)}$$

Em que:

I – Radiação solar       $S_v$  – Factor solar do vidro

S- Área do coletor      ( $\Phi$ ) – factor de sombreamento

( $\eta$ ) – Factor de utilização

Em relação à radiação solar (I), no caso de Portugal, o ideal será dispor as aberturas a Sul, com tolerância de 20° a Este ou Oeste, afim de maximizar a captação. Nas regiões

mais acidentadas, privilegiar sempre as encostas voltadas a Sul, pois, além de receberem mais radiação no Inverno, estão mais protegidas no Verão em relação às encostas nascente ou poente.

No que toca ao factor de sombreamento ( $\Phi$ ), a preocupação não deve recair apenas nas sombras geradas pelos próprios elementos do edifício, mas também nas obstruções da vizinhança, nomeadamente edificações, vegetação e relevo.

Quanto ao factor solar ( $S_v$ ), para maximizar os ganhos o ideal é o uso de vidro o menos reflexivo possível. O vidro claro corrente seria o ideal. Mas como já foi dito antes, pelo facto de poder vir a gerar cargas internas não desejadas no Verão, esse factor solar terá que ser conjugado com as necessidades de arrefecimento, principalmente se não houver dispositivos de sombreamento (palas) e de protecção (estores ou cortinas).

No que toca ao factor de utilização ( $\eta$ ), é imperativo que os ganhos solares sejam complementados por massas térmicas que evitem o sobre aquecimento. A abertura solar, a massa térmica e o espaço aquecido constituem o sistema solar passivo. A posição relativa da massa térmica tem assinaláveis implicações no comportamento térmico do sistema e na arquitectura. Então é possível dividir os ganhos solares em ganhos directos e ganhos indirectos e, no caso dos ganhos indirectos, é possível subdividi-lo em duas variantes mais usuais: as parede trombe (com ou sem ventilação) e as estufas (Figura 48).

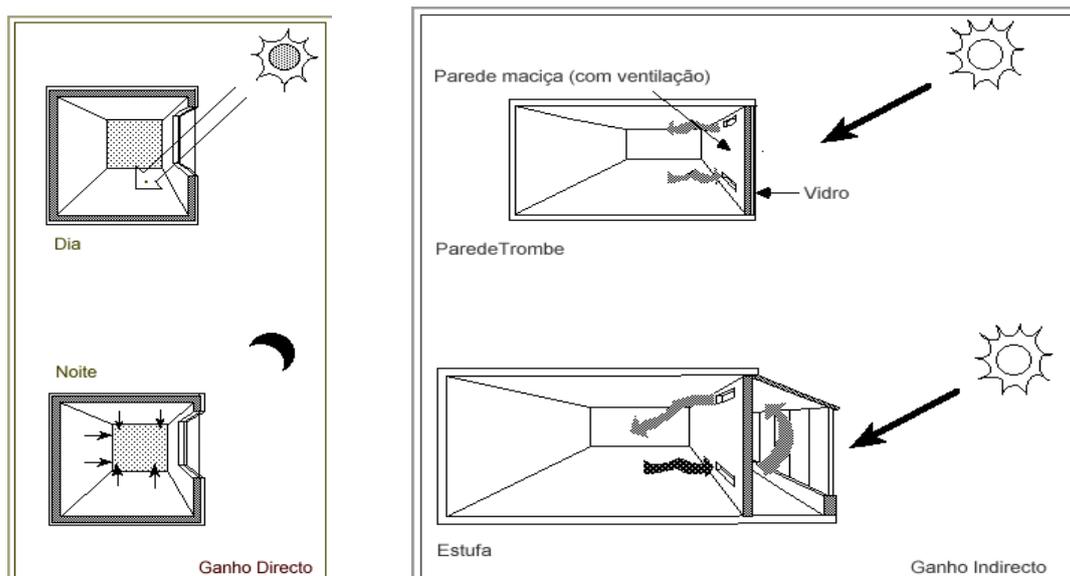


Figura 48: Esquema de ganhos solares

Para dimensionar sistemas passivos é necessário ponderar as seguintes condicionantes: A radiação incidente, o número de dias seguidos sem sol, a temperatura exterior e também as medidas de conservação (restrições de perdas condutivas e convectivas).

A título indicativo, para Portugal, é possível admitir os valores indicados a seguir para a abertura solar (tosco) e para a massa térmica complementar. Para tal, a unidade de espaço aquecido é a área útil de pavimento. Claro que as performances serão condicionadas por estes elementos mais a frente neste trabalho este assunto será mais exaustivamente explorado.

### **Ganhos directos:**

$$(\text{Abert. Solar} / \text{área útil pavt}^\circ) = 1/5$$

$$(\text{Abert. Solar} / \text{Sup. Mass. Térm.}) = 1/6$$

$$(\text{Espessura Mass. Térm}) = 0.10 \text{ a } 0.15 \text{ m}$$

### **Ganhos indirectos:**

#### **Parede trombe:**

$$\text{Área abert solar} = 1.5 \times \text{área p/ ganho directo}$$

$$\text{Espessura da parede} = 0.20 \text{ a } 0.30 \text{ m}$$

$$\text{Espessura da caixa-de-ar entre envidraçado e parede} = 0.025\text{m}$$

#### **Estufa:**

$$\text{Área da abertura solar} = 2 \times \text{área estimada para ganho directo}$$

$$\text{Abert. Solar} / \text{massa térmica} = 1/3$$

$$\text{Espessura da massa térmica} 0.20 \text{ a } 0.30\text{m}$$

É possível perceber que os ganhos directos têm maior rendimento que os indirectos. Porém estes últimos têm algumas vantagens. Por exemplo, no caso da estufa, a vantagem reside na possibilidade de aproveitamento social do espaço. No caso da parede trombe, a vantagem é de haver um atraso térmico podendo ser tirado partido do ganho térmico no horário nocturno que é o de mais provável ocupação da moradia. É

importante cuidar da protecção das formas de ganho indirecto, pois no Verão poderão gerar sobre aquecimento por estarem expostas a Sul (Figura 49).



Figura 49: Sistema de protecção para evitar ganhos solares no verão

#### 4.4.2 Estratégias para a estação quente

##### 4.4.2.1 Minimizar a condução (inércia térmica)

Ao contrário do que ocorre na estação fria, no Verão as amplitudes térmicas são altas, apesar das médias de temperatura estarem na zona de conforto. Por isso, o regime de troca de calor não é permanente, como no Inverno, e sim variável. No regime periódico (caso especial do regime variável), o calor é transmitido através da envolvente não de forma instantânea, mas sim como uma onda de calor (Figura 50). À medida que esta onda caminha para o interior da parede ela sofre um atraso térmico e um amortecimento de amplitude, que são maiores quanto menor for a difusidade térmica e quanto maior for a espessura da parede.

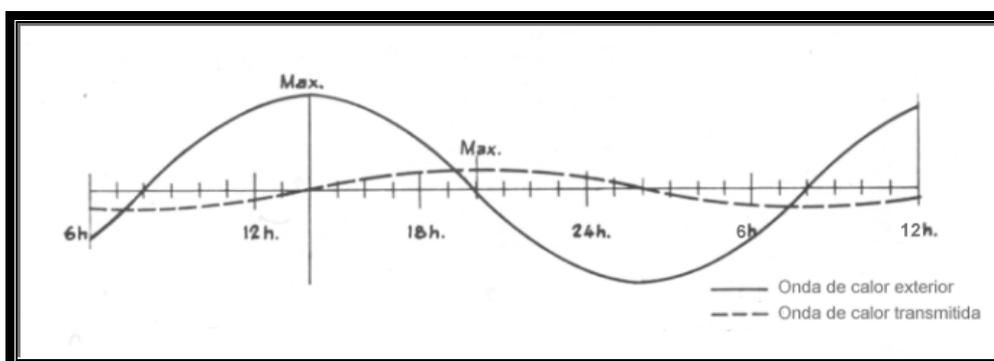


Figura 50: Variação da onda de calor

A difusidade térmica indica como o calor se difunde através do material. E isto vai depender da condutibilidade térmica ( $\lambda$ ), ou seja, da velocidade de condução de energia

térmica no interior do material e também depende do calor específico volumétrico ( $\mu$ ), ou seja, da quantidade de energia térmica necessária para aumentar a temperatura de determinado volume de material. Matematicamente, a difusividade pode ser expressa pela Equação 31.

$$a = \lambda/\mu \quad \text{Eq (31)}$$

Em que:

- a difusividade térmica  $\text{m}^2/\text{s}$
- $\lambda$  condutibilidade térmica  $\text{w}/\text{m}^\circ\text{c}$
- $\mu$  calor específico volumétrico  $\text{Kj}/\text{m}^3\ ^\circ\text{c}$

A Tabela 22 apresenta as difusividades de alguns materiais:

Tabela 22: Difusividade de alguns materiais

MATERIAIS	Massa específica $\text{Kg}/\text{m}^3$	Condutibil. Térm. $\text{W}/\text{m.k}$	Calor Especifico $\text{Wh}/\text{kg.k}$	Difusividade $\text{m}^2.\text{h}\times 10^4$	Efusividade
Betão	2200	1.75	0.28	28.4	1078
Betão celular	600	0.22	0.28	13.1	37
Tijolo maciço	1800	0.70	0.28	13.9	353
Tijolo furado	1100	0.55	0.26	19.2	157
Terra crua (adobe)	600	0.14	0.58	4.0	49
Pedra (calcário médio)	1800	1.00	0.28	19.8	504
Vidro	2700	1.10	0.28	14.6	832
Aço	7780	52.00	0.11	607.6	44502
Alumínio	2700	230.00	0.22	3872.1	136620
Argamassa de Cimento	2000	1.15	0.29	19.8	667
Estuque (gesso)	1000	0.35	0.26	13.5	91
Madeira (pinho)	600	0.15	0.58	4.3	52
Aglomerado negro de cortiça	150	0.045	0.37	8.1	2
Poliestireno expandido moldado	25	0.04	0.40	40.0	0.4
Solo (pesado)	1900	1.39	0.47	15.6	1241
Água	1000	0.58	1.17	5.0	679

Simplificando a análise matemática da dinâmica da onda de calor, é possível relacionar o seu atraso térmico ( $\phi$ ) e o seu amortecimento ( $\mu$ ), em um determinado período P (24 horas por exemplo), com a difusividade térmica. Essa relação vem expressa nas Equações 32 e 33.

$$-\Phi \text{ (horas)} = (x/2) \cdot (P/(a \cdot \pi))^{1/2} \quad \text{Eq (32)}$$

$$-\mu = e^{-x \cdot (\pi/(P \cdot a))} \quad \text{Eq (33)}$$

Em que:

- X = profundidade da camada
- P = Período
- a = Difusividade térmica

O atraso térmico é o tempo necessário para que uma diferença térmica que ocorre numa face chegue à face oposta do elemento. O amortecimento é a diminuição da amplitude da variação térmica. O atraso aumenta proporcionalmente à espessura. E o amortecimento cresce exponencialmente a esta espessura. Então a espessura além de ajudar muito no atraso é fundamental para o amortecimento.

Como o calor específico não varia muito de material para material, o amortecimento e o atraso dependem, fundamentalmente, da massa para fazer actuar a sua capacidade calorífica. A introdução de massa térmica (e quanto mais massa quanto maior for a oscilação térmica), faz com que a onda de calor que entra seja amortecida, conseguindo, assim, manter a temperatura interior próxima da média exterior.

Soalhos, alcatifas e outros revestimentos com resistência térmica de até 0.50 m<sup>2</sup>C/w reduzem a eficiência da massa térmica pela metade. E materiais isolantes com resistência superiores à unidade podem simplesmente anular o efeito das massas térmicas. Para tirar o máximo efeito da massa da envolvente deve-se pois isola-la por fora. Facto que, como já foi citado antes, inverte-se para habitações temporárias.

O uso eficiente da inércia térmica de paredes, pavimentos e tectos, para amortecer a onda de calor diária ou sequencial (cerca de 10 dias) depende não só da superfície de contacto com o espaço interior, mas também da espessura da camada. Esta dupla dependência é contemplada pelo conceito de massa superficial útil, onde a espessura da camada se traduz em peso. Usando o método CSTB<sup>44</sup> para a definição de massa superficial útil de paredes, pavimentos ou tectos, em kg/m<sup>2</sup>, admite-se que para paramentos não isolados só seja computada metade da massa (Figura 51). No caso de paramentos isolados, é computada a massa interior ao isolamento. No entanto, esta massa, não pode exceder 150 kg/m<sup>2</sup> para regime diário ou 750 kg/m<sup>2</sup> para sequencial

---

<sup>44</sup> Cahiers du CSTB, n° 209 de Maio de 1980

(10 dias). No caso das paredes interiores, conta-se toda a sua massa até 300 kg/m<sup>2</sup>, no caso de regime diário, e 1500kg/m<sup>2</sup>, na análise sequencial.

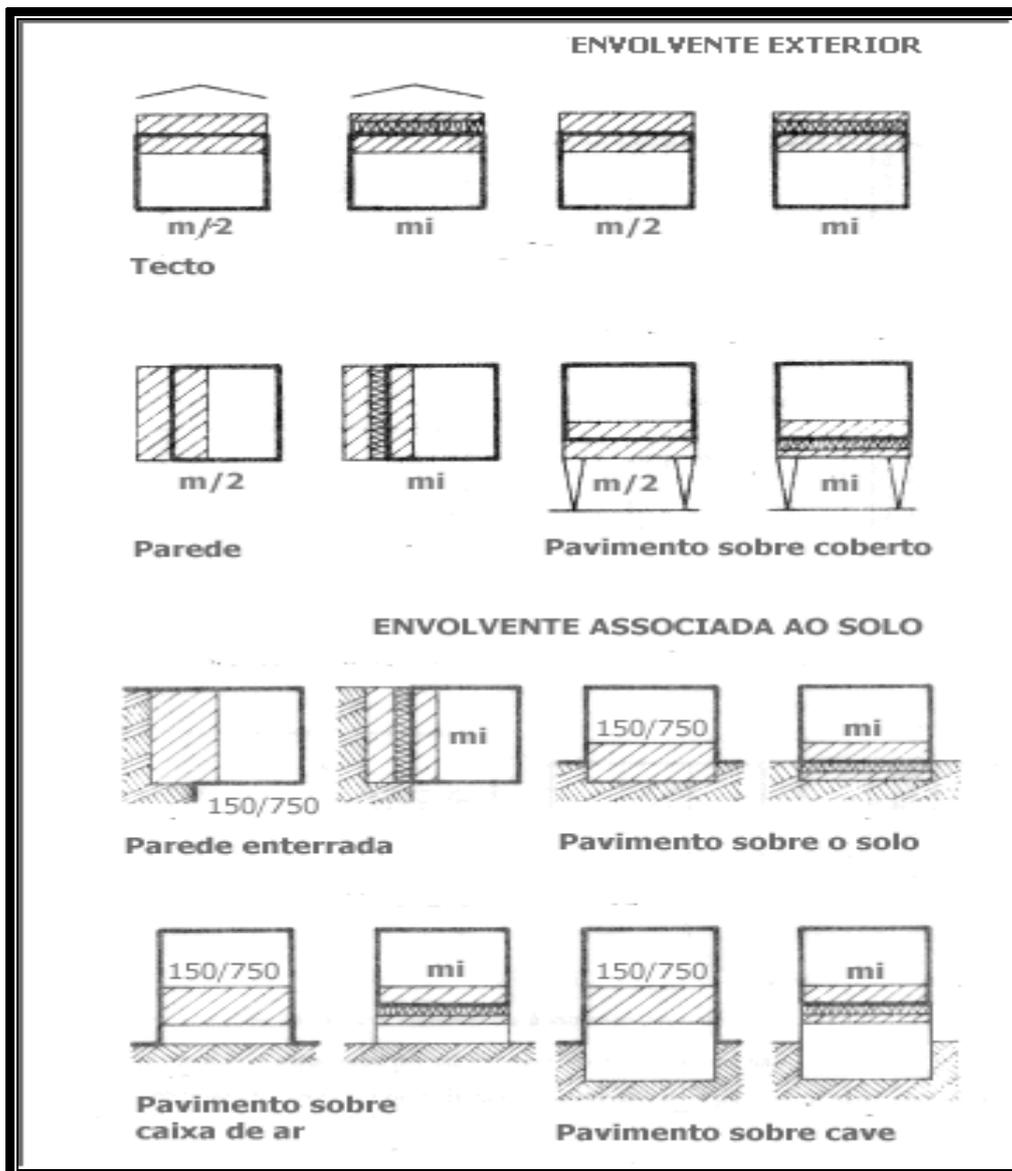


Figura 51: Esquema de inércia térmica conforme isolamento

A inércia térmica corresponde ao somatório das multiplicações das massas térmicas úteis pelas áreas dos respectivos elementos. É representada por unidade de área da zona que será aquecida e pode ser classificada em três escalas: a inércia fraca (inferior a 150 kg/m<sup>2</sup>), inércia média (150 a 400 kg/m<sup>2</sup>) e inércia forte (maior que 400 kg/m<sup>2</sup>).

Mas a inércia sozinha não é suficiente, sendo necessário conjugá-la com a protecção solar dos vãos envidraçados, com o arrefecimento radioactivo de paredes e tectos e com uma ventilação controlada, como mostra a Figura 52.

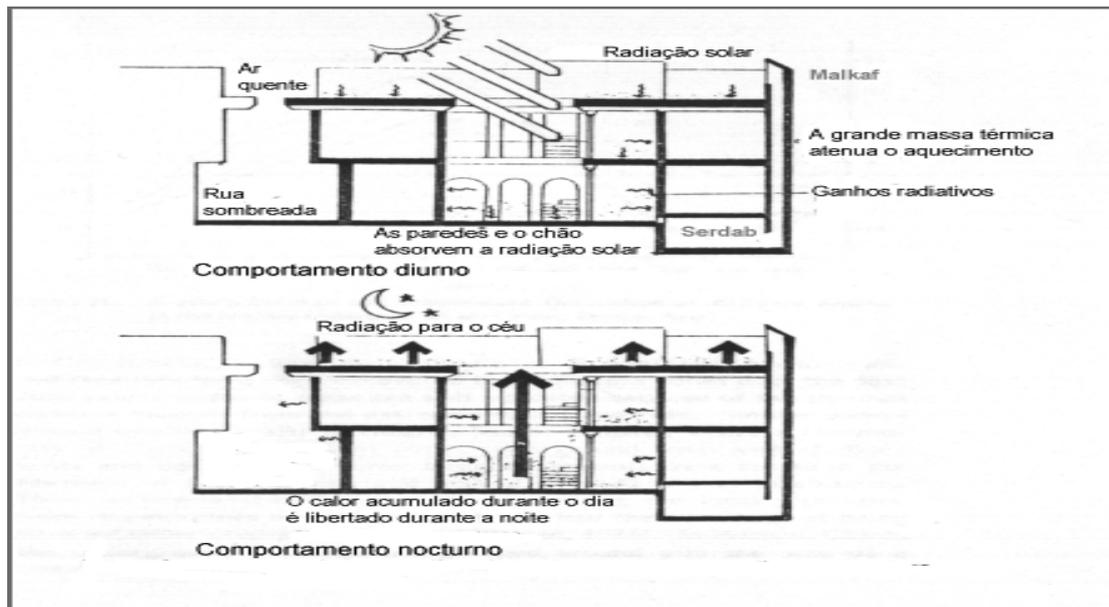


Figura 52: Comportamento do fluxo de calor, diurno e noturno

A redução da amplitude térmica é acompanhada de um, nem sempre desejado, desfasamento térmico, que poderá lançar para a noite os picos de temperaturas. Para amenizar tal efeito, é preciso tirar partido das noites mais frescas e fazer a chamada ventilação estrutural noturna. Consegue-se arejar bem e evitar o desconforto causado pelo atraso térmico com uma ventilação à base de 10rph. Também é possível lançar mão do sistema chamado Termo-Deck<sup>45</sup>, que foi desenvolvido para facilitar a ventilação no interior da estrutura e, com isso, arrefecer inclusive os difusores dos sistemas de arrefecimento. É possível, também, construir a habitação com inércia mista. Ou seja, nas zonas de ocupação noturna reduz-se a inércia afim de não gerar o atraso térmico indesejado. A Figura 53 mostra um esquema representativo da inércia mista.



Figura 53: Habitação de inércia mista

<sup>45</sup> Sistema desenvolvido nos anos setenta do século passado por dois engenheiros suecos (Loa Andersson e E. Isfalt) inspirado em práticas usadas nas construções do Oriente médio, da América do Norte e do Império Romano.

Resumindo: um edifício desenhado, para amortecer a onda de calor diária, deveria ser pesado, ser bem sombreado e ter cores claras, afim de minimizar os ganhos solares pelos envidraçados, pelas paredes exteriores e cobertura expostas ao sol.

Mas hoje em dia a arquitectura contemporânea, bem como sistemas construtivos avançados (ex: steel frame), caracterizam-se pela leveza, onde a edificação apresenta reduzidas inércias térmicas. Nesse caso os acumuladores de calor latente aparecem como opção, permitindo acumular calor com massas e volumes inferiores à construção pesada convencional. Quando uma substância muda de estado físico ela altera seu calor latente mas mantém seu calor sensível, é possível usar alguns materiais, desde que mudem de estado físico a temperaturas correntes, com o objectivo de acumular calor(latente). Os acumuladores de calor latente, (também chamados PCM material de mudança de fase), mais adequados a serem usados em edificações são os que apresentam ponto de fusão coincidente com a temperatura ambiente desejada. Esta será mantida estável, enquanto a temperatura exterior se eleva ou diminui. Estes acumuladores de calor latente seriam na prática, os elementos com ponto de fusão entre 20 e 35°. Empregam-se para isto dois grupos de materiais: os PCMs orgânicos e os inorgânicos. Dos orgânicos fazem parte a parafina, os ácidos graxos e as ceras. De entre os inorgânicos, destacam-se os sais e os sais hidratados.

Para a integração dos PCMs nos elementos construtivos se dispõe de três tecnologias distintas: 1) A primeira, o micro encapsulado, inserem-se quantidades microscópicas de parafina (PCM) em uma pele sintética formando grãos, que podem ser incorporados em placas de gesso ou rebocos. 2) Outra técnica possível consiste na inserção, em sistemas capilares de materiais de suporte (de poros fechados), como pó de silicato fibras alveolares e espumas, que formam placas de PCM. 3) A terceira opção é o uso do material macro encapsulado. Estas macro cápsulas são inseridas posteriormente em camadas de piso, rebocos, ou no interior de paredes do sistema frame. Já existe uma gama grande de soluções arquitectónicas de incorporação desses materiais na edificação. E não será absurdo imaginar que, num período relativamente pequeno de tempo, uma cortina possa ter a mesma capacidade de absorção térmica que uma parede de betão.

#### 4.4.2.2 Promover a condução ( earth cooling)

A temperatura do solo oscila de forma diferente em função da profundidade em que seja medida. Junto à superfície, a variação de temperatura do solo oscila em torno da média diária da temperatura do ar. À medida que essa profundidade aumenta, a amplitude térmica diária diminui e o período de integração da temperatura média passa a ser sequencial. A cerca de 7.5 m de profundidade, a temperatura oscila anualmente apenas 0.5°C. E a média, segundo alguns autores, estará 2 a 3°C acima da média da temperatura do ar. Maiores profundidades tendem a regime permanente onde a temperatura é constante ao longo do ano.

O amortecimento da onda é acompanhado de um atraso térmico que ronda entre 5 a 10 dias por cada 0.30 m de profundidade. Isso representa que a 4 m de profundidade teremos, aproximadamente, 3 meses de atraso, ou seja, uma estação do ano.

Quando se pretende edificar, tirando partido da terra, é importante ter em consciência que o comportamento térmico do solo é função da sua formação morfológica, da sua compacidade e de seu teor de humidade. As condições da superfície, exposição ao sol e ao vento e sua cobertura vegetal, também influem na temperatura do solo.

Existem, basicamente, dois processos de utilização da terra como sumidouro de calor:

- 1) Contacto directo
- 2) Contacto indirecto

No contacto directo, a envolvente edificada estará parcial ou totalmente enterrada. No contacto indirecto, o espaço edificado é arrefecido através de permutadores de calor enterrados (serpentinhas) onde circula um fluido, ar ou água.

A título de referência, para o sistema de contacto directo, usando o método CSTB, os valores para as classes inerciais sequenciais (período 10 dias) são:

$$\text{Frac} \leq 750 \text{ kg/m}^2$$

$$750 < \text{Média} \leq 1500 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Forte} > 1500 \text{ kg/m}^2$$

Para o sistema indirecto, os permutadores devem ter comprimentos superiores a 10 m e diâmetro de aproximadamente 0.30 m. Devem ser aplicados entre 1.5 e 3.0 m de profundidade e permitir que o ar se desloque entre 4 a 8 m/s.

As construções enterradas apresentam, para além do efeito “earth cooling”, vantagens e desvantagens adicionais. Vantajosa é uma natural inserção no local, como também a possibilidade de aumentar a vegetação local, ainda a privacidade acústica e visual

conseguidas e a diminuição da área da envolvente exterior a ser mantida. As desvantagens incluem sobrecustos estruturais, sistemas de impermeabilização caros e de difícil reparação, isolamentos necessariamente hidrófugos e resistente a insectos, necessidade de controlo da humidade (a fim de não permitir condensações e infiltrações) e a necessidade de instalar cortes térmicos em paredes e coberturas que contactam com da terra. As Figuras 54 e 55 identificam esses pontos críticos.

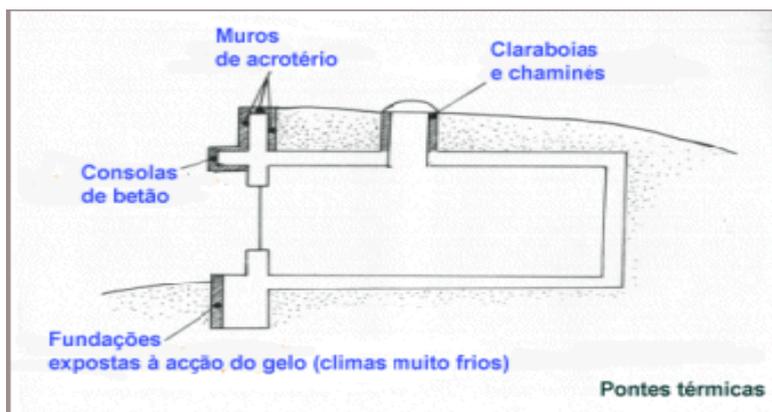


Figura 54: Pontos críticos das construções enterradas

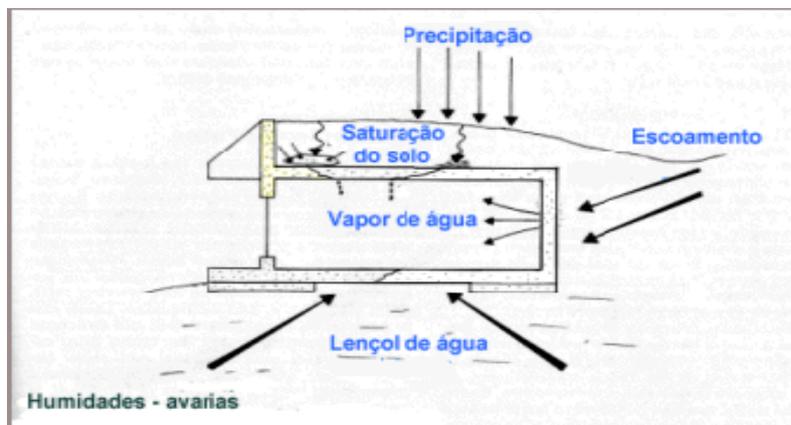


Figura 55: Pontos críticos das construções enterradas

Estes inconvenientes, juntamente com a pouca experiência construtiva e a insuficiente literatura, tornam o “earth cooling” uma opção delicada. Torna-se fundamental um cuidadoso estudo do terreno, não só face aos inconvenientes apontados, mas também em relação às suas características morfológicas e de estabilidade. É sempre preferível construir em terrenos secos, estáveis, fáceis de escavar e de entivar.

A Figura 56 apresenta a solução usada na “Seward Town Houses<sup>46</sup>”, um conjunto de casas em banda que foram construídas semi enterradas com o objectivo de tirar partido da terra e também garantir um bom conforto acústico. Isto porque que o terreno era

<sup>46</sup> Moradias construídas em 1979 junto a uma via rápida em Minneapolis, Minnesota Estados Unidos da América.

próximo a uma via rápida o que, comercialmente, reduzia o seu valor de compra mas também de venda. A solução, além de ser altamente eficiente energeticamente, dotou as habitações de uma considerável mais valia comercial, pois a fachada Norte, que coincidente mente era a fachada exposta à rodovia, foi tratada térmica, acústica e visualmente. E a fachada Sul foi privilegiada em relação à radiação solar.

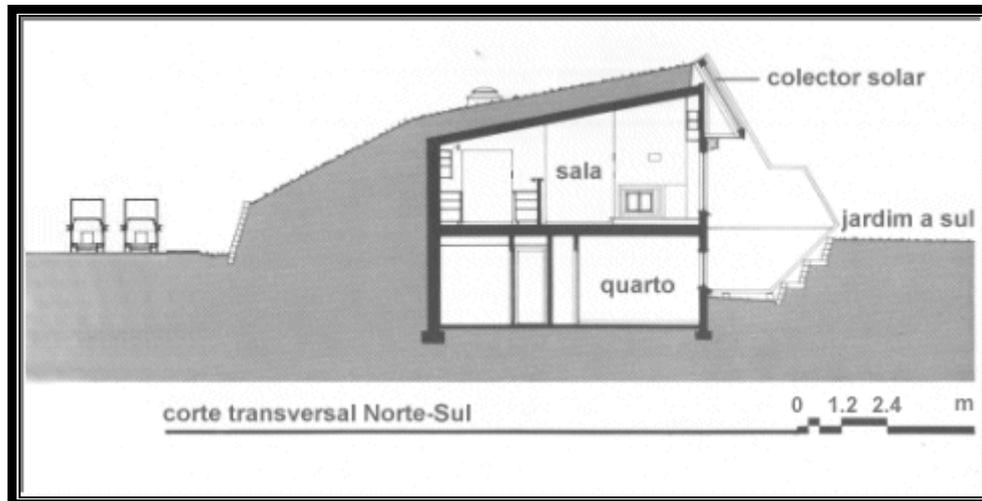


Figura 56: Corte transversal das moradias “ SEWARD TOWN HOUSES”

#### 4.4.2.3 Minimizar a convecção (Proteger do vento)

Quando as condições climáticas permitem, é sempre convidativo permanecer a maior parte do tempo em contacto com o ambiente exterior. Porém, o vento pode ser um factor condicionante a esta estada. As formas das edificações condicionam tanto a velocidade quanto a turbulência do vento, com o propósito de evitar efeitos aerodinâmicos indesejáveis J. Gandemer sistematizou esses efeitos, distinguindo entre outros os seguintes:

- Efeito de furo - jacto de ar em rés-do-chão, vazado ou passagens sob edificios altos.
- Efeito canto - gradiente horizontal do vento na viragem de esquinas de edificios isolados compactos.
- Efeito de esteira e de vórtice à jusante e montante de grandes blocos frontais ao vento. O efeito vórtice pode ser acentuado pela interposição de um prédio mais baixo.
- Efeito banda- turbilhão a jusante de extensos blocos com ventos a 45°
- Efeito de canalização entre bandas paralelas canalizando o vento.
- Efeito de Venturi- aceleração da velocidade do vento entre bandas convergentes ou divergentes.

A Figura 57 ilustra os efeitos:

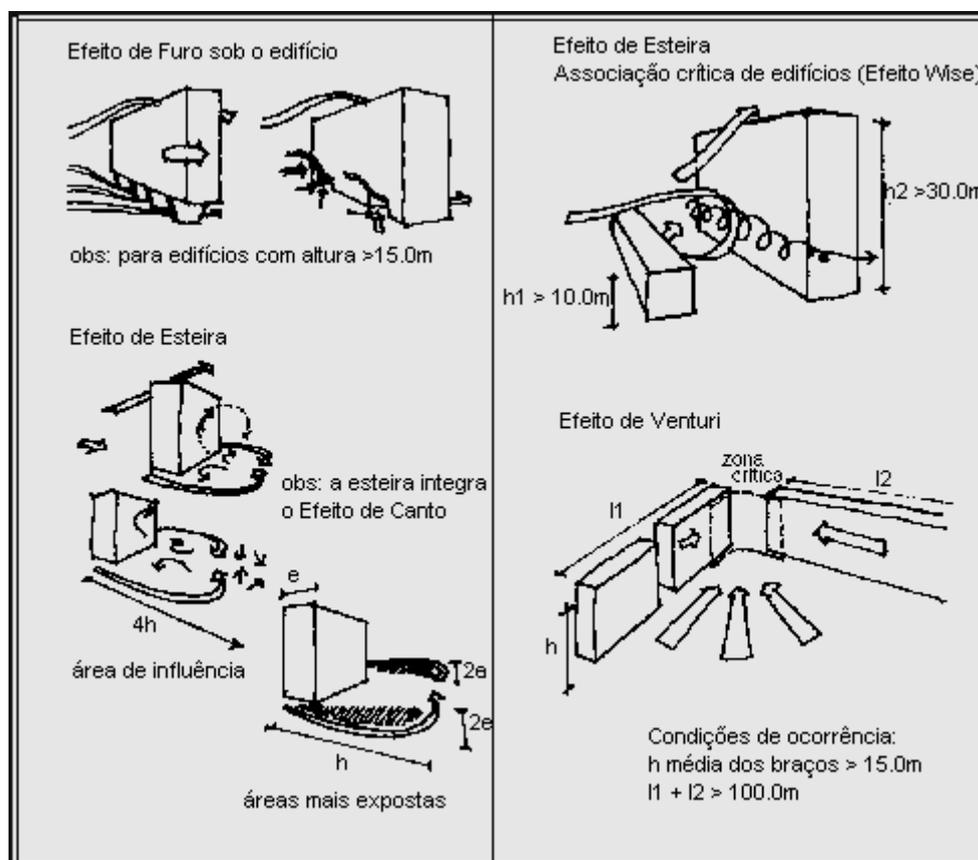


Figura 57: Efeitos aerodinâmicos

Apesar de serem difíceis de calcular com exactidão, é importante a consciência dos efeitos, pois assim será possível tentar anular as possibilidades de ocorrência.

#### 4.4.2.4 Promover a convecção (ventilação)

O movimento relativo do ar em relação a um indivíduo acelera as trocas convectivas e evaporativas do seu corpo. Como isso é possível estender a temperatura de conforto do ambiente. Ou seja, a ventilação pode produzir um ambiente confortável, mesmo que a temperatura do ar esteja fora da zona de conforto. Esta extensão dependerá do teor de humidade, que nunca deve ser inferior a 20%, e da velocidade do vento, que não deve exceder a 2m/s no ambiente interior.

É possível dividir a ventilação em duas vertentes. A primeira age sobre o corpo e é chamada de ventilação de conforto. A segunda age sobre a estrutura e as massas térmicas do edifício e é chamada de ventilação estrutural.

A melhor maneira de aproveitar a ventilação vai depender da combinação da intensidade do vento e do tipo de clima local.

Para ventos calmos e tempo calmo e soalheiro, o vento deve ser aproveitado de forma que a ventilação atravesse o edifício. É a chamada ventilação transversal.

As aberturas devem, então, situar-se em paredes opostas. E os edifícios devem, preferencialmente, manter a espessura ao longo do seu desenvolvimento e terem pouca compartimentação.

Segundo o ASHRAE, é possível dimensionar o débito de ar  $D$  ( $m^3/s$ ), em função da área da abertura de entrada  $S$  ( $m^2$ ), da velocidade do vento  $v$  ( $m/s$ ) e da eficiência das aberturas  $E$ . E esta eficiência varia em função da forma como o vento incide na abertura, podendo variar de 0.5 a 0.6 no caso de incidência perpendicular a abertura até a metade no caso de vento a  $45^\circ$ . Quando as áreas de abertura de entrada e saída são diferentes, é necessário introduzir o factor  $C$  que relaciona a razão entre as áreas. A Equação 34 traduz esta relação:

$$D \text{ (m}^3\text{/s)} = S \text{ (m}^2\text{)} \cdot E \cdot v \text{ (m/s)} \quad \text{Eq (34)}$$

Em que:

$D$  – Débito de ar

$S$  – Área da abertura de entrada

$E$  – Eficiência da abertura

$V$  – velocidade do vento

A Figura 58 mostra como pequenos elementos arquitectónicos interferem na aerodinâmica habitacional. Pode observar-se, na figura 58, em A o condicionamento do fluxo de ar em função da abertura de entrada, em B é possível ver a interferência de um simples parapeito ou do nível do piso na corrente de ar, C mostra a anulação do efeito de uma pala pelo facto de desligá-la da fachada e em D percebe-se o efeito de janelas pivotantes ou basculantes e dos estores de lamina no comportamento do ar.

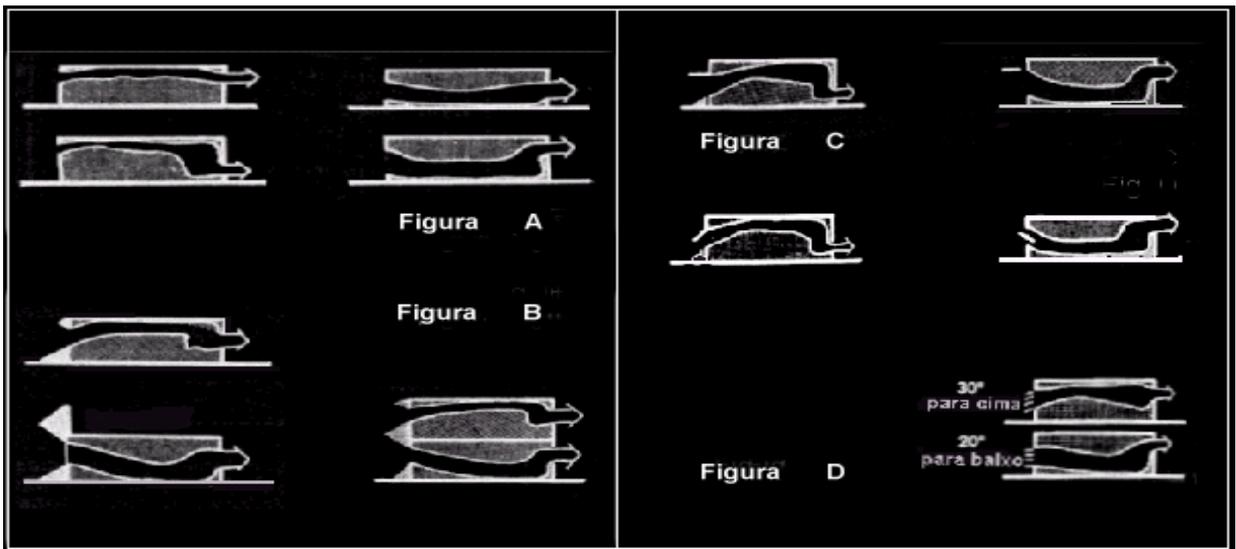


Figura 58: Interferência dos elementos na aerodinâmica da habitacional

Deflectores colocados podem facilitar a circulação do ar, mesmo em casos onde não existe a possibilidade de ventilações transversais. A Figura 59 exemplifica o fenômeno.

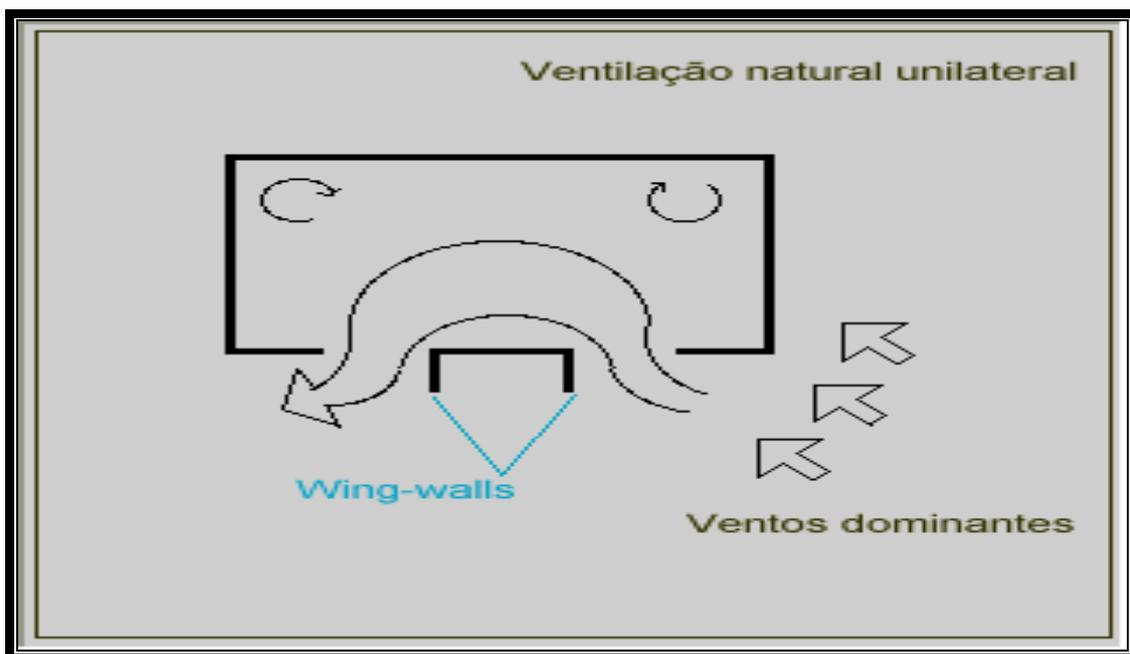


Figura 59: Interferência de deflectores na ventilação

No caso de ventos moderados, é possível aproveitá-los para a aspiração do ar interior através de ventiladores estáticos colocados no topo da chaminé de ventilação.

No caso da ausência de vento é possível provocar a ventilação lançando mão da tiragem térmica, que segundo Dreyfus (1960)<sup>47</sup>, o débito D varia em função da área S das aberturas, com a razão entre as áreas de abertura de entrada e saída (factor C), com o desnível entre as aberturas h e com a diferença de temperatura entre o interior e o exterior (t-t').

$$D = 400 S \cdot C \cdot (h \cdot (t-t'))^{1/2} \quad \text{Eq (35)}$$

Em que:

S – Área das aberturas

C – Factor de relação entre áreas de abertura

(h) – Desnível entre aberturas

(t-t') – Diferença de temperatura entre o interior e o exterior.

A Figura 60 mostra o gráfico para determinação do factor C, bem como o corte transversal esquemático.

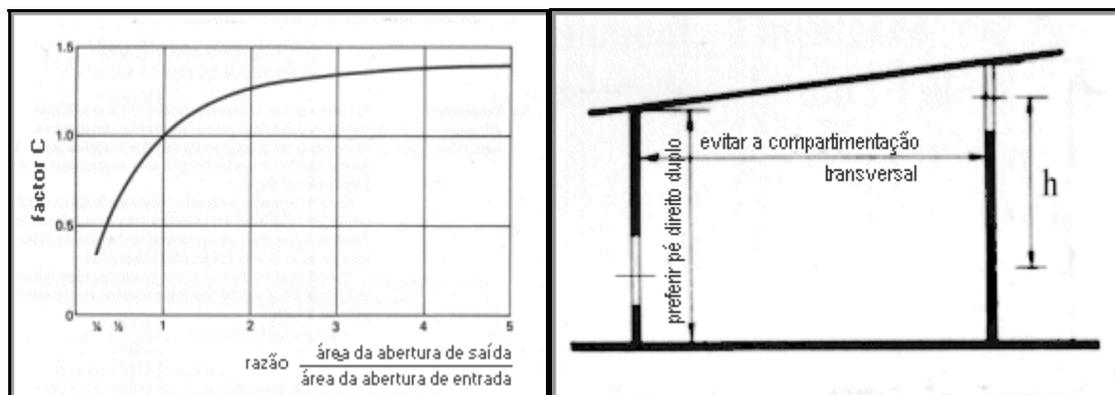


Figura 60: Gráfico de determinação do facto C e corte transversal esquemático

As forças presentes nesta tiragem térmica são muito fracas: A pressão de um vento calmo (1m/s) corresponde a um desnível de 3,00 m entre aberturas, para uma diferença de temperatura de 5°. Durante a noite a temperatura exterior reduz, aumentando assim a componente t-t'. Isso torna a condição mais favorável à tiragem térmica, o que força a uma ventilação nocturna.

Na ausência de vento e com o tempo quente, a radiação solar disponível pode ser utilizada para acelerar a ventilação. Isso pode ser conseguido com o artifício da chaminé

<sup>47</sup> Dreyfus, J., Le confort dans l'habitat en pays tropical, ed. Eyrolles, Paris, 1960.

solar, que consiste em aquecer a zona de uma chaminé que funcionará como canal condutor do ar menos quente nela admitido, e ai aquecido, para o exterior, como mostra a Figura 61.

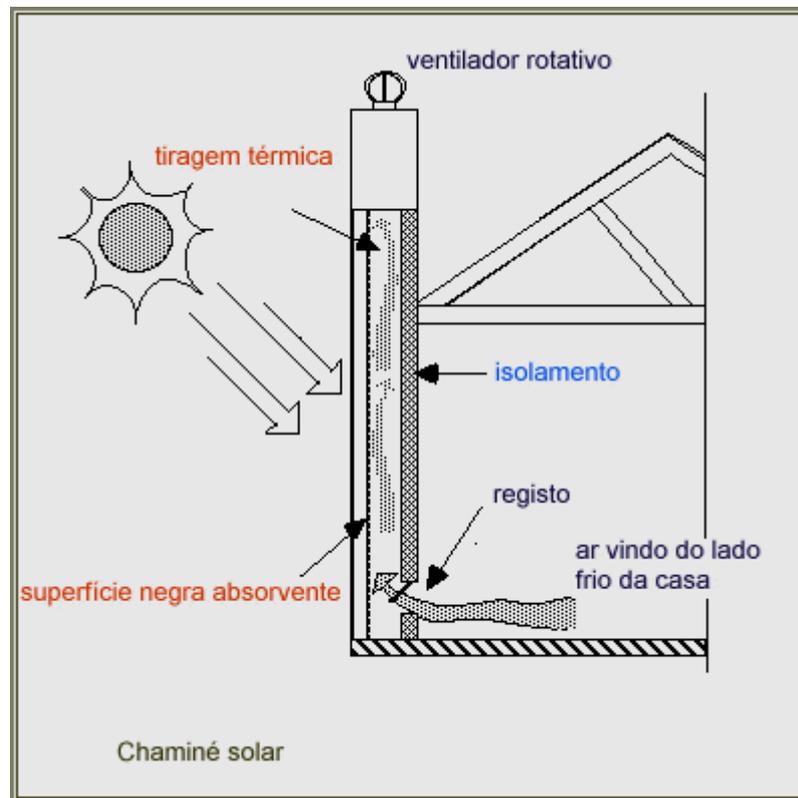


Figura 61: Chaminé solar

Outra solução possível para situações de ausência de vento, mas com temperatura exterior rondando os 28° e a humidade inferior a 75%, passa pelo recurso ao uso de ventoinhas de tecto, de baixo consumo. O lado desfavorável do sistema é o alcance reduzido ao raio de acção da ventoinha e a necessidade de subir o pé direito, gerando custos adicionais. A Figura 62 representa o esquema.

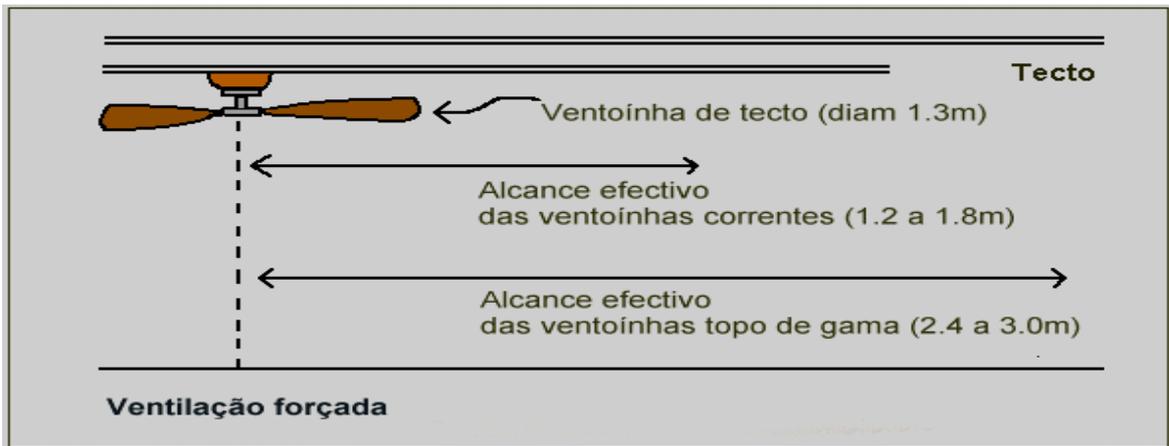


Figura 62: Ventoinha de tecto

A ventilação pode ser complementada por outras estratégias bioclimáticas para que o resultado do conforto interior seja o mais eficiente possível. A seguir apresenta-se as principais estratégias complementares a ventilação:

- Inércia térmica: Arrefecer, durante a noite, as massas térmicas aquecidas durante o dia. Isso gera não só uma ventilação de conforto mas também uma ventilação estrutural.
- O arrefecimento Evaporativo do ar movimentado na ventilação, possibilitando, assim, um efeito positivo da ventilação, mesmo em dias muito quentes.
- Captação solar: A captação solar, como já foi citado, possibilita o recurso à tiragem térmica. Mas também pode ser combinada com outras estratégias, como o arrefecimento evaporativo e o radiativo, originando, como mostra a Figura 63, um sistema eficiente de ventilação.

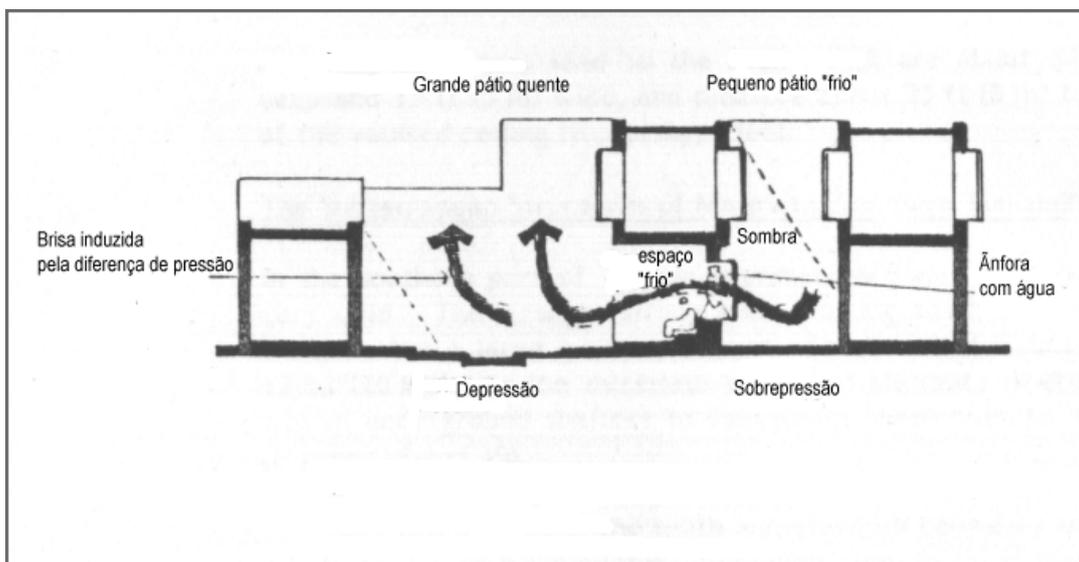


Figura 63: Sistema misto de ventilação

- O uso de protecção solar que possibilite a passagem da brisa, impedindo a radiação directa.
- A disposição correcta de equipamentos (elementos geradores de ganhos internos), a fim de não sobre aquecer indesejavelmente zonas de maior exigência em relação ao conforto térmico.
- Em construções onde exista a possibilidade de grande aglomeração de pessoas (factor gerador de cargas térmicas), é necessário situar esses ambientes próximo a pátios, em que possam ser conjugadas outras estratégias complementares e intensificadoras da ventilação.

#### 4.4.2.5 Minimizar os ganhos solares (protecção solar)

A radiação solar que incide na envolvente opaca é usualmente ligada à troca por condução. Para isso, usa-se o artifício de substituir, na equação da transferência por condução, a temperatura do ar exterior, por uma temperatura equivalente ar-sol. Com isso é possível utilizar o conceito de coeficiente de transmissão superficial exterior. Na prática, este coeficiente entra como uma temperatura radiante média do meio ambiente, convencionalmente igual à temperatura do ar. O artifício consiste em substituir a temperatura real do ar por uma temperatura fictícia. Esta tem o efeito equivalente à temperatura que se verifica nas condições reais como: O dia, onde a radiação incide directamente na superfície, e a noite, quando não existe a radiação e onde ocorre o fenómeno de arrefecimento radiactivo gerando perda de carga no elemento. Este artifício traduz-se pela equação 36.

$$h_e \cdot (t_{eq}-t_a) = \alpha I + h_r \cdot (t_r-t_a) \quad \text{Eq (36)}$$

Em que:

- $h_e$  é o coeficiente superficial (w/m<sup>2</sup>K)
- $t_{eq}$  temperatura equivalente (°C)
- $t_a$  temperatura do ar (°C)
- $\alpha$  coeficiente de absorção
- $I$  radiação incidente (w/m<sup>2</sup>)
- $h_r$  componente radioactiva do coeficiente superficial (w/m<sup>2</sup>.K)
- $t_r$  temperatura radiante média do meio ambiente

O segundo termo, do lado direito da Equação 36, que refere-se às trocas nos grandes comprimentos de onda, anula-se no caso das paredes verticais considerando-se que a temperatura média  $t_r$  é igual a temperatura do ar  $t_a$ . Tal não é o caso das superfícies horizontais (coberturas), viradas para o céu, cuja temperatura radiante é mais baixa, este facto pode servir para tirar partido do arrefecimento radiativo da superfície. O primeiro termo, do membro direito da Equação 36, corresponde aos ganhos solares e pode assumir grande importância. Merece por isso então uma atenção especial tanto a orientação das superfícies opacas (influenciam a intensidade de radiação incidente) quanto a cor da superfície (pois condiciona a absorção).

A utilização das variantes condicionantes na protecção solar vai depender de disposições paisagísticas, urbanísticas e arquitectónicas.

As disposições paisagísticas podem auxiliar no abrigo da edificação em relação ao sol, utilizando a topografia local bem como o uso de arborização para sombrear os espaços externos do edifício (Figura 64). Este sombreamento não só cria áreas agradáveis no espaço exterior, como, indirectamente, reduz a radiação incidente pelo facto de diminuir a reflexão da superfície circunvizinha da habitação.

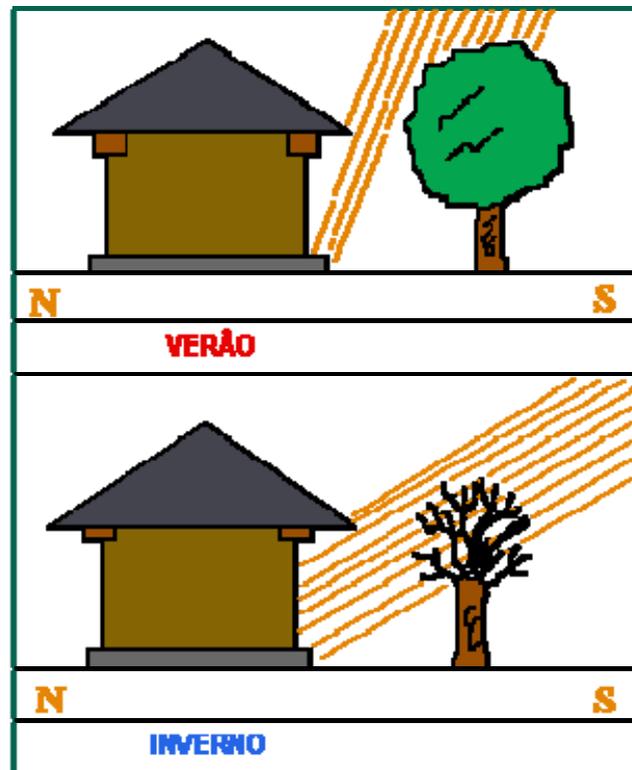


Figura 64: Uso de sombreamento com árvores de folhas caducas

As disposições urbanísticas e arquitectónicas compreendem não só um ordenamento urbanístico que proteja a edificação do sol mas também um baixo factor de forma do edificio. Para proteger, com eficiência, uma construção da radiação solar é preciso identificar a forma como a radiação incide na habitação. Esta identificação é feita através de análise da carta solar do local da construção. No caso de Lisboa, as radiações incidentes nos meses de Janeiro e Julho (sublinhado) são as apresentadas na Figura 65.

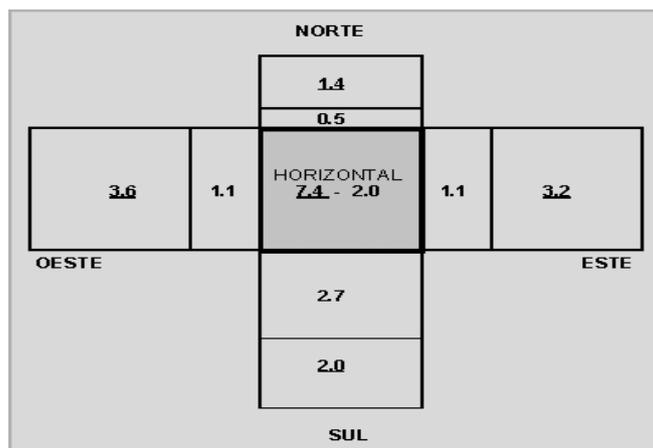


Figura 65: Radiação incidente em Lisboa nos meses de Janeiro e Junho

Pela Figura 65 é possível observar que o plano horizontal recebe, no Verão, uma radiação maior que qualquer superfície vertical. Entre as exposições verticais as mais penalizadas são nascente e poente. Não só por receber uma quantidade maior de energia no Verão, mas também por receber essa energia com o sol numa posição mais baixa. A fachada poente ainda sofre o agravante de receber a radiação solar no período mais quente do dia. A fachada sul, mesmo sendo bem radiada no Verão, é de fundamental importância, pois suas aberturas são fundamentais à captação solar de Inverno. Como o sol de Verão é mais alto, é possível o recurso a sombreadores que sejam activos no Verão e passivos no Inverno. A fachada Norte é a menos indicada a abertura pois no Inverno quase não capta energia e uma abertura situada nela é grande fonte de perda de carga térmica para o ambiente interior. Portanto, tendo em vista a protecção solar da envolvente, é desejável reduzir as áreas horizontais e verticais a Norte, nascente e poente.

Em climas muito quentes, é necessário também resguardar as superfícies opacas. É importante salientar que a área dos sombreadores tem que ser proporcional ao tamanho das áreas mais expostas a radiação directa incidente. E estas áreas têm que ser tão menores quanto maior for a radiação solicitante.

A protecção solar também pode ser conseguida revestindo a camada envolvente do edifício com materiais com alto coeficiente de reflexão. Ou seja, essa baixa absorção da envolvente irá diminuir a temperatura ar-sol ou efectiva.

As lajes de tecto podem ser revestidas com isolamentos térmicos revestidos, na face superior, por folha de alumínio. Este revestimento além de isolar, diminui a energia captada. As lajes também podem ser protegidas por coberturas pára-sol sobre desvão ventilado, o que ajuda na redução de carga térmica. Também as paredes podem ter panos exteriores com protecção pára-sol, separados do interior por caixas-de-ar ventiladas com tiragem térmica.

As paredes, e sobretudo os vão envidraçados, podem ser protegidos por sombreadores fixos ou móveis, horizontais ou verticais. Podem, também, ser sombreados pelo devido escalonamento dos volumes da edificação. Estes dispositivos, inclusive, podem ser temporários, como as árvores de folhas caducas, que funcionam no Verão e não incomodam os ganhos solares no Inverno.

Para o correcto dimensionamento dos elementos sombreadores, o ideal é recorrer às cartas solares, a fim de definir correctamente a geometria da insolação local e, com isso, poder proteger elementos translúcidos e opacos (se for o caso).

A protecção dos vãos envidraçados consiste na definição do seu factor solar, que é a relação entre a radiação incidente e a radiação que entra através do vão, como pode ser observado na Figura 66.

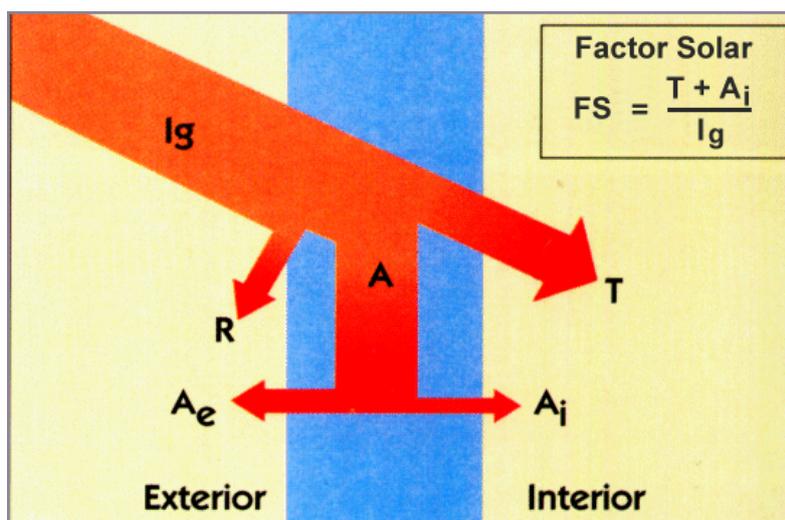


Figura 66: Esquema de transmissão de energia no plano de uma superfície em vidro

Onde:  $I_g$  é a radiação total incidente.  $T$  é a radiação transmitida.  $A$  é a radiação absorvida.  $A_e$  é a radiação absorvida e emitida para o exterior e  $A_i$  é a radiação absorvida e emitida para o interior.

No Gráfico 5, é possível ver o factor solar de alguns envidraçados com e sem protecção exterior ou interior:

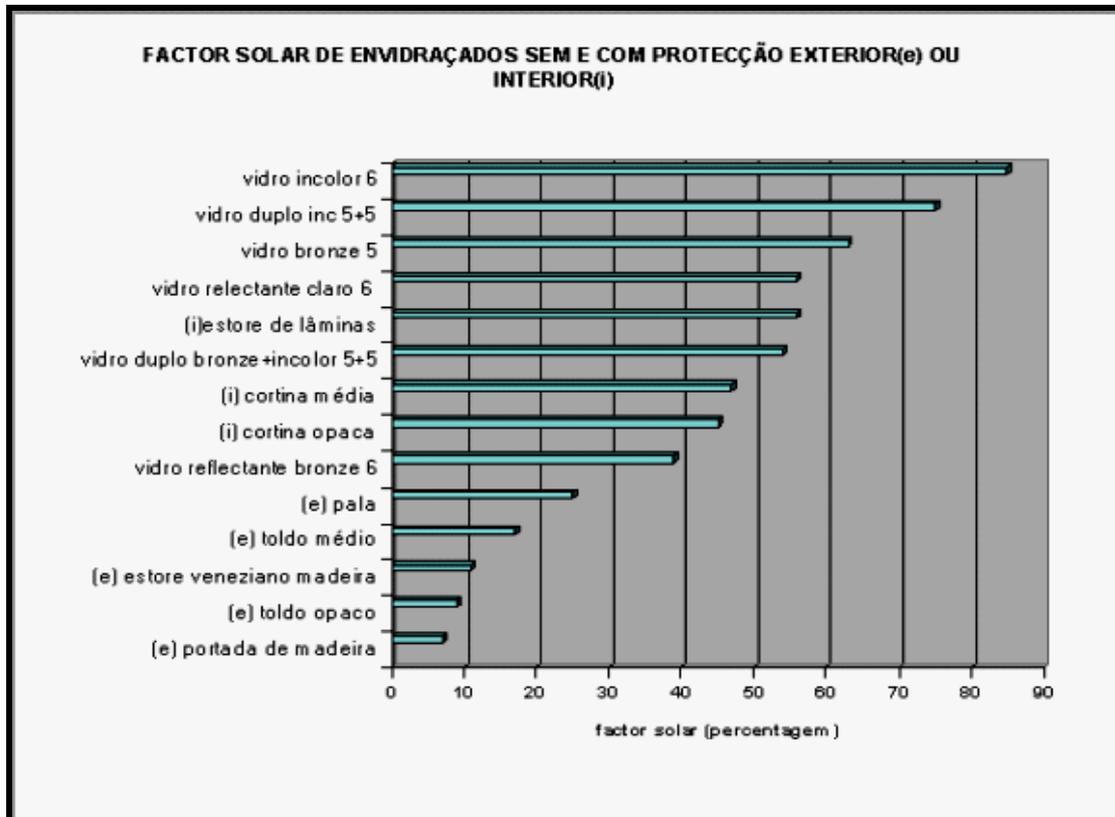


Gráfico 5: Factor solar dos vãos envidraçados

O sombreamento é uma estratégia fundamental para as estações quentes de climas temperados e até frios e para todas as estações em climas quentes. Contudo, é fundamental o seu equilíbrio com a iluminação natural necessária, pois o excesso de sombreamento pode demandar uma alta taxa de iluminação artificial.

#### 4.4.2.6 Promover o arrefecimento radiativo

A estratégia de arrefecimento radiativo é centrada nas trocas radiativas entre o corpo (ou o edifício) e a cúpula celeste, que ocorrem no período nocturno. Essas trocas são condicionadas pela atmosfera, sendo tão maiores quanto menor for a quantidade de vapor de água, aerossóis e CO<sub>2</sub> presentes na atmosfera.

Na formulação simplificada (J. Yellott e ASHRAE), as trocas radiativas  $Q_r$  variam em função da área da superfície emissiva  $S_h$ , da sua emissividade  $\epsilon_s$  e da diferença de temperatura entre a superfície  $T_h$  e o céu  $T_{ceu}$ , com demonstra a Equação 37.

$$Q_r (W) = S_h (m^2) \cdot 5,6996 \cdot 10^{-8} \cdot \epsilon_s \cdot (T_h^4 - T_{ceu}^4) \quad \text{Eq (37)}$$

Em que:

$S_h$  – Área da superfície emissiva

( $\epsilon_s$ ) – Emissividade da superfície

$T_h$  – Temperatura da superfície

$T_{ceu}$  – temperatura do céu

A temperatura do céu é uma temperatura fictícia e varia com a temperatura da atmosfera seca  $T_{at}$ , bem como com a emissividade da atmosfera  $\epsilon_{at}$ , como mostra a Equação 38.

$$T_{ceu} = T_{at} \cdot (\epsilon_{at})^{0,25} \quad \text{Eq (38)}$$

É possível, ainda, corrigir a equação de troca em função da nebulosidade. Para tal, é bastante incidir sobre a equação o factor de correcção  $C_n$ , em função da nebulosidade  $n$

$$C_n = 1 - 0,56n \quad \text{Eq (39)}$$

As condições ideais para um efectivo arrefecimento radioactivo compreendem a ocorrência de céu limpo, baixo teor de humidade atmosférica e ausência de vento (pois as trocas convectivas com o ar tendem a neutralizar o efeito radioactivo).

Como na ventilação, no arrefecimento radioactivo também existem as vertentes de conforto e estrutural. O arrefecimento de conforto ocorre directamente no corpo humano. O arrefecimento estrutural incide sobre o edifício.

É possível utilizar pátios desprovidos de vegetação, como é o caso da casa de pátio mediterrânea, para conjugar o arrefecimento radioactivo com a ventilação. O pátio arrefece e constitui uma bolsa de ar arrefecido que pode alimentar uma ventilação nocturna da edificação, tanto na vertente de conforto quanto na vertente estrutural. Durante o dia, a radiação sobre aquece o pátio em relação ao espaço interior. Isso gera uma zona de depressão que pode ser aproveitada para tiragem térmica do ar interior, facilitando a ventilação.

Um sistema indirecto também pode ser usado. Este consiste no uso de uma massa térmica (colchão de água ou laje em betão) disposta na horizontal, que durante o dia interage com o ambiente interior e é protegida da radiação externa, a noite (através do arrefecimento radioactivo) é retirada carga térmica da massa, arrefecendo assim também o ambiente interior. Esse sistema pode ser complementado com o aquecimento solar da massa térmica no Inverno. Para tal, é necessário inverter o processo: proteger a massa a noite e aquece-la durante o dia. É necessário, também, proteger o sistema de ventos incidentes. Já existem sistemas patenteados que utilizam estas estratégias, como é o caso do SKYTHERM, onde um colchão de água é aplicado sobre um tecto metálico e protegido por painéis retrateis (Figura 67).

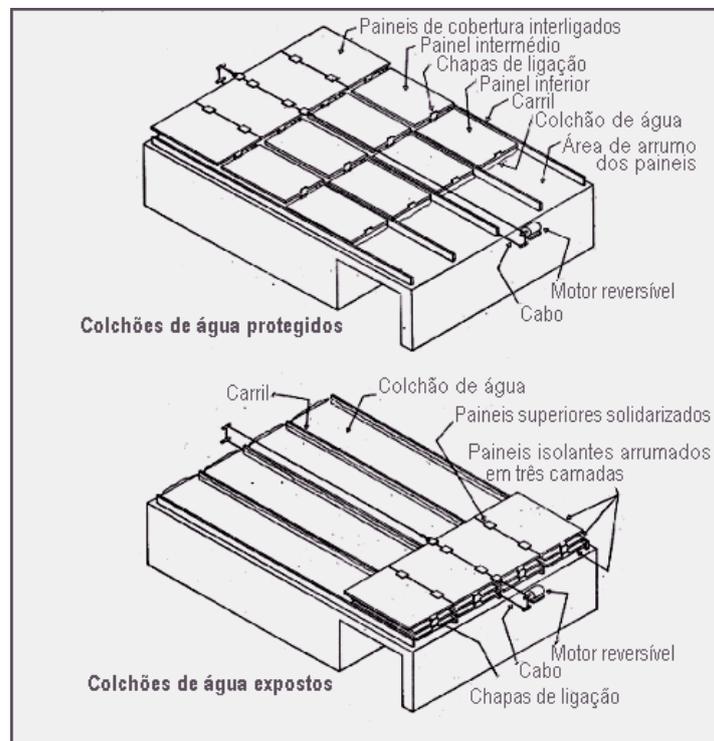


Figura 67: Esquema do sistema SKYTHERM

Estes sistemas ainda são caros e exigem cuidados especiais de utilização e manutenção, o que limita a sua aplicação a condições especiais, a fim de ser obtido um retorno do investimento inicial num prazo razoável.

#### 4.4.2.7 Promover o arrefecimento evaporativo

A estratégia consiste em aproveitar o arrefecimento que a evaporação provoca no ar quando este elemento entra em contacto com a água. O arrefecimento dá-se com a

retirada de calor sensível do ar, a fim de promover a mudança de estado da água de líquido para vapor. Em contrapartida, a água evaporada faz aumentar a pressão do vapor no ar, aumentando, assim, o seu calor latente. O processo caracteriza-se por ser adiabático. Ou seja, onde a entalpia (calor sensível + calor latente) do ar húmido é constante. O processo é eficiente em climas quentes e secos. E um índice de potencialização do processo é a diferença entre a temperatura seca do ar e a temperatura húmida. No caso do ar em contacto com superfície exposta ao sol, é adequado substituir a temperatura seca do ar pela temperatura ar-sol, que pode vir a ser dezenas de graus superior à temperatura do ar seco. Recomenda-se, então, o arrefecimento evaporativo de coberturas e paredes poentes, desde que haja água disponível para tal.

Neste processo, o vento pode ser um aliado. Isto porque sua presença substitui o ar saturado acelerando, assim, o processo de evaporação.

Este processo evaporativo pode ser utilizado para arrefecer o ar ambiente directa ou indirectamente (é o chamado arrefecimento de conforto). Mas também pode ser utilizado para arrefecer a estrutura do edifício (o chamado arrefecimento estrutural).

O arrefecimento evaporativo directo retira calor sensível do ar mas em contrapartida, humidifica-o. Com isso, para ser eficiente, a máxima temperatura de bolbo húmido possível de ser atingida gira em torno dos 22° C. Como também as velocidades do vento não podem ser excessivas, as velocidades máximas de ventilação contribuem para uma queda de aproximadamente 14K na temperatura seca do ar. Isso aponta para temperaturas máximas, onde o sistema ainda é eficiente, próximas dos 40°C.

A combinação do arrefecimento evaporativo com a ventilação transversal, a protecção solar e ainda a inércia térmica, pode trazer às edificações situadas em climas secos e quentes, um extraordinário conforto interior. E também pode propiciar uma grande riqueza na ocupação dos espaços, onde se conjuga o interior e o exterior.

O arrefecimento evaporativo pode ser conseguido através de recursos mais simples ( ex: fazer o vento incidir sobre vegetação molhada), ou através de sistemas bastante rebuscados. Na torre de ventilação de BADGEER, sistema bastante utilizado no Irão, o vento quente incidente é canalizado para uma câmara onde uma ânfora porosa deixa água cair sobre uma grade impregnada de carvão. O vento, ao passar, arrefece e cria um ambiente interior confortável, conforme pode ser visto na Figura 68.

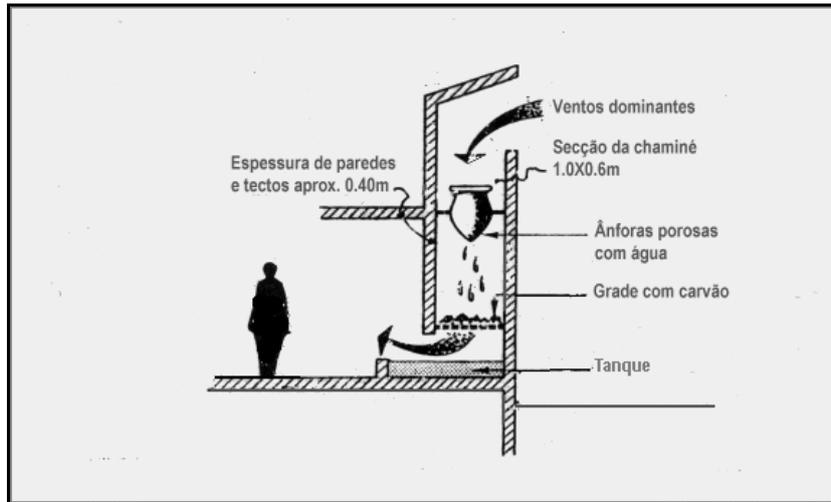


Figura 68: Pormenor de uma torre de ventilação "Badger"

Nos sistemas mais complexos um captador de vento "Malkaf" capta o ar exterior e o canaliza para uma cave de arrefecimento por inércia térmica "Serdab". Um sistema de lanternins sobre elevados e aquecidos pelo sol ("Shuksheika"), situado sobre o centro da sala ("Qua'a") onde se encontra um pátio com água. Esse sistema de lanternins força a extracção do ar interior. Com isso ar ,que já fora arrefecido pela cave fria, passar por um novo arrefecimento em função da evaporação. Assim se obtém um ambiente muito confortável. A Figura 69 detalha o procedimento.

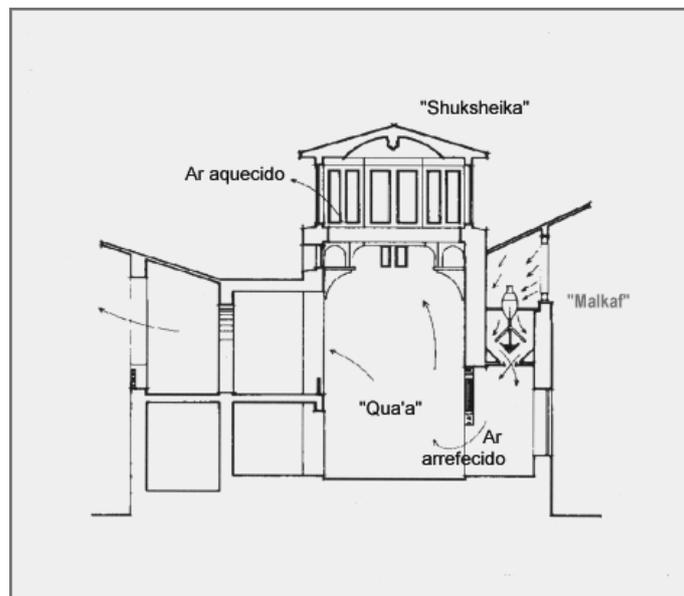


Figura 69: Combinação de "malkaf" e "shuksheika" seg. Hassan Fathy

O progresso técnico veio acrescentar meios activos ao processo de arrefecimento evaporativo. O climatizador adiabático é exemplo disso. O aparelho possui um ventilador que força o ar externo através de um painel evaporativo, sobre o qual circula água continuamente. Com a troca de calor entre a água e o ar, a água evapora e humidifica o ar resfriando-o. O ar resfriado é insuflado ao ambiente. Como já foi citado, é fundamental a renovação do ar interior afim de controlar a concentração de vapor de água. Pois quanto maior a humidade do ar interior, menor a eficiência do sistema. Em locais mais húmidos pode usar-se uma superfície fria como artifício para condensar o vapor contido no ar e, com isso, reduzir a humidade nele contida, tornando o sistema mais eficiente.

#### 4.5 Comportamento do edifício

Para avaliar um projecto quanto ao seu desempenho em termos energéticos é possível seguir duas linhas. A primeira é uma linha conceptiva, através da qual com ajuda da carta bioclimática do local, é possível definir a zona de conforto e as estratégias necessárias, conjugando-as, se for o caso, para gerar conforto aos pontos do diagrama psicrométrico que estão fora da zona confortável.

A carta mais utilizada hoje em dia é a carta bioclimática de B. Givoni<sup>48</sup>, adaptada por Watson<sup>49</sup>. Nesta carta temos a representação das condições termo-higrométricas do clima exterior num diagrama psicrométrico. Nesse diagrama são estabelecidas, por zona, as várias estratégias bioclimáticas, bem como as zonas de conforto. A Figura 70 exemplifica a carta.

---

<sup>48</sup> Baruch Givoni, Arquitecto israelita professor e investigador do Building Research Station no Israel Institute of technology. Um dos mais respeitos especialistas mundiais em arquitectura bioclimática, desde a publicação em 1969 do livro Homem, clima e arquitectura.

<sup>49</sup> Em 1983 Watson e Labs, como resultado de muitos anos de pesquisa elaboram a proposta d uma metodologia que tentou sintetizar o trabalho de vários pesquisadores.



**CAPÍTULO 5 - ELEMENTOS CONSTRUTIVOS FUNDAMENTAIS  
NO CONSUMO ENERGÉTICO**



## 5 ELEMENTOS CONSTRUTIVOS FUNDAMENTAIS NO CONSUMO ENERGÉTICO

Como o RCCTE (regulamento das características de comportamento térmico dos edifícios), no seu âmbito, engloba a maioria dos edifícios que se constroem ou reformam em Portugal, foi ele então utilizado neste trabalho como parâmetro de comparação para possíveis alternativas construtivas para a envolvente opaca que visassem reduzir as necessidades de consumos destas edificações. A seguir será feita uma breve análise sobre a estratégia de cálculo das necessidades de consumo para a estação de aquecimento, de arrefecimento e para o preparo das águas quentes sanitárias. Nessa breve análise serão demonstradas as principais equações, bem como as variáveis mais importantes para a obtenção dos resultados.

### 5.1 Análise do RCCTE

O regulamento tem parâmetros específicos de conforto e de consumo os quais são tomados como pressupostos para dotar a edificação de qualidades óptimas de uso. São eles:

- 1) Condições de conforto de Verão: Temperatura do ar 25° C, humidade relativa 50% e taxa de renovação do ar interno  $> 0,6 \text{ h}^{-1}$ .
- 2) Condições de conforto no Inverno: Temperatura do ar 20 ° C e taxa de renovação do ar interno  $> 0,6 \text{ h}^{-1}$ .
- 3) Condições de consumo das águas quentes sanitárias: 40 L por habitante dia, temperatura de consumo 60° C.

O RCCTE foca a sua atenção nestas três vertentes de consumo que são: necessidades de arrefecimento, de aquecimento e de consumo de águas quentes sanitárias. O foco parece correcto, porém é de fundamental importância que seja a sua aplicação acompanhada no tempo, a fim de verificar se o consumo de luz artificial (que hoje não é significativo) não passa a ser, principalmente em função da maior preocupação em relação às aberturas dos vãos de iluminação natural.

### 5.1.1 Necessidades anuais de aquecimento

Pode ser definida como a energia útil que é necessária fornecer ao ambiente interior afim de dota-lo das condições de conforto pré estabelecidas. O parâmetro limite de consumo para o Inverno, também chamado de  $N_I$  é definido em função do factor de forma do edifício e dos Graus-dias do local onde o edifício esta localizado.

O factor de forma entra na questão pois, como já foi mostrado no estudo da arquitectura e do clima, edificios de menor porte são controlados pela envolvente e edificios muito grandes são controlados pelas cargas térmicas interiores. Como o RCCTE abrange estes edificios de menor dimensão, o factor de forma é elemento de fundamental importância pois é o maior responsável pelas trocas térmicas entre o ambiente interior e exterior. Este factor relaciona a área que envolve o edifício com o volume que esta área confina. É fácil de perceber que quanto maior a área de contacto com o exterior maior será a superfície de troca. Como o ar exterior estará sempre a uma temperatura inferior à de conforto, a área ocasionará maiores perdas energética. Em relação ao volume interior, não há muita margem para o fazer variar, pois não é fácil fugir muito da forma cúbica comum à maioria das habitações. Mas poder-se-á sempre torna-la mais compacta, laçando mão da lei da similitude que diz que a mesma forma quanto maior for, mais compacta será.

Os Graus-dias de aquecimento (base 20° C) são definidos pelo RCCTE por um número que caracteriza a severidade de um clima durante a estação de aquecimento. E que é igual ao somatório das diferenças positivas registadas entre uma dada temperatura de base (20° C) e a temperatura do ar exterior durante a estação de aquecimento. As diferenças são calculadas com base nos valores horários da temperatura do ar (termómetro seco). Como este factor é tabelado pelo local, ou seja, não será nunca opção do projectista a sua variabilidade, a diferença entre um maior ou menor limite de consumo será sempre influenciada pelo factor de forma.

As necessidades reais do edifício são definidas pelo parâmetro  $N_{IC}$ , que é função das perdas por condução através da envolvente ( $Q_t$ ), perdas de calor resultante da renovação de ar ( $Q_v$ ) e dos ganhos de calor úteis ( $Q_{gu}$ ) resultante dos ganhos internos e dos ganhos solares através dos envidraçados, tudo relacionado com a área de piso da edificação, conforme mostra a Equação 40.

$$N_{IC} = (Q_t + Q_v - Q_{gu}) / A_p \quad \text{Eq (40)}$$

#### 5.1.1.1 Perdas por condução

As perdas por condução são função da área da envolvente, do nível de isolamento que esta possui e de características construtivas (tanto no que diz respeito ao contacto de paredes e pavimentos com o solo, quanto da forma como são solucionadas construtivamente as correcções das pontes térmicas lineares). Pode estabelecer-se as perdas através da Equação 41.

$$Q_t = Q_{ext} + Q_{lna} + Q_{pe} + Q_{pt} \quad \text{Eq (41)}$$

Em que:

$Q_t$  – perdas totais

$Q_{ext}$  – perdas através da envolvente exterior.

$Q_{lna}$  – perdas através da envolvente com locais não aquecidos.

$Q_{pe}$  – perdas por elementos em contacto com o solo.

$Q_{pt}$  – perdas pelas pontes térmicas lineares.

A energia que se perde pela envolvente exterior  $Q_{ext}$  é função da área que envolve o interior e contacta com o exterior, (expressa em m<sup>2</sup>), do coeficiente de transmissão térmica dos diversos elementos que contactam com o exterior  $U$  (expresso em W/m<sup>2</sup>.°C), e da diferença de temperatura entre o parâmetro de conforto pré estabelecido no regulamento e a temperatura do ar exterior que é representada pelos Graus-dias do local em questão no mapa de zoneamento climático.

A equação das perdas para toda a estação de aquecimento pela envolvente exterior pode ser dada pela Equação 42.

$$Q_{ext} = 0.024 \cdot U \cdot A \cdot GD \text{ (KWh)} \quad \text{Eq (42)}$$

É fácil perceber que o cerne da questão da melhoria das performances está em diminuir ao máximo as áreas dos elementos de contacto com o exterior, principalmente os menos isolantes termicamente. Ou seja, a superfície envidraçada. E, por outro lado, dotar estes elementos do maior isolamento térmico possível.

Por analogia, as perdas para envolvente em contacto com ambientes não aquecidos funcionam de forma igual e apenas é inserido na equação o elemento  $\tau$  que relaciona a temperatura do ambiente não aquecido com o interior aquecido e o exterior. Como não é

de fácil obtenção este valor, o regulamento tabelá-lo para facilitar a aplicação. E a expressão de cálculo das perdas pode ser dada pela Equação 43.

$$Q_{lna} = 0.024 \cdot U \cdot A \cdot GD \cdot \tau \text{ (KWh)} \quad \text{Eq (43)}$$

As perdas unitárias de calor (por grau centígrado de diferença entre o ambiente exterior e interior) através dos elementos em contacto com o solo, são função do perímetro de contacto de cada elemento (pavimento ou parede)  $B_j$  (m) e do coeficiente de transmissão térmica linear do elemento  $\psi_j$  (W/ m.° C) e podemos definir as perdas unitárias como  $L_{pe} = \sum \psi_j \cdot B_j$  (W/ ° C). E as perdas totais para toda a estação de aquecimento podem ser descritas na Equação 44.

$$Q_{pe} = 0.024 \cdot L_{pe} \cdot GD \text{ (KWh)} \quad \text{Eq (44)}$$

As perdas de calor através das pontes térmicas lineares (por grau centígrado de diferença de temperatura entre os ambientes interior e exterior) são calculadas em função do perímetro de contacto do elemento  $B_j$  (m) e do coeficiente de transmissão linear do elemento  $\psi_j$  (W / m.° C) e expressa pela Equação 45.

$$L_{pt} = \sum \psi_j \cdot B_j \text{ ( W/ ° C)} \quad \text{Eq (45)}$$

Sendo as perdas para a totalidade da estação expressas pela Equação 46.

$$Q_{pt} = 0.024 \cdot L_{pt} \cdot GD \text{ (KWh)} \quad \text{Eq (46)}$$

É importante salientar que para as perdas por condução o regulamento estabelece alguns limites que devem ser cumpridos<sup>50</sup>.

#### 5.1.1.2 Perdas por convecção

As perdas de calor por renovação do ar são função da massa volúmica do ar  $\rho$  (kg/m<sup>3</sup>), do seu calor específico  $C_p$  (J/ Kg.° C), do número de renovações horárias do ar interior

---

<sup>50</sup> O isolamento mínimo possível, que é definido pelo coeficiente de transmissão térmica  $U$  dos elementos para cada tipo de região climática e o limite entre o coeficiente de transmissão das pontes térmicas e dos elementos adjacentes, não podem exceder o dobro

$R_{ph}$ , do volume da habitação e da diferença entre as temperaturas internas e externas e podem ser expressas pela Equação 47.

$$Q_{ra} = \rho \cdot C_p \cdot R_{ph} \cdot V \cdot (T_{int} - T_{atm}) / 3600 \text{ (W)} \quad \text{Eq (47)}$$

Ou ainda, para toda a estação pela Equação 48

$$Q_{ra} = 0.024 \cdot (0.34 \cdot R_{ph} \cdot V) \cdot GD \text{ (KWh)} \quad \text{Eq (48)}$$

No caso dessas perdas, o factor primordial é a taxa de renovação de ar. Ou seja, quanto mais vulnerável ao ar for a edificação maior será o índice de perdas. Vale salientar aqui que não adianta nada isolar muito a casa, fazendo baixar as perdas por condução, mas deixa-la vulnerável a alta taxas de renovações. Pois as perdas por condução anulariam as baixas perdas conseguidas com o isolamento. Com isso tende a obter-se a caixa hermética, o que levanta o problema da qualidade do ar interior, que passa a ser uma preocupação nas habitações futuras.

#### 5.1.1.3 Ganhos térmicos

Em contra ponto a estas perdas estarão os ganhos térmicos. Estes são possíveis em duas vertentes. A primeira são os ganhos internos que são tabelados por metro quadrado, em função do tipo de construção em análise. A segunda possibilidade de ganhos é através da radiação solar incidente no interior da moradia, visto que a componente da radiação relativa à envolvente opaca foi considerada na resistência superficial interior e exterior dos elementos opacos para o cálculo do coeficiente de transmissão térmica.

Os ganhos térmicos podem ser definidos pela Equação 49.

$$Q_g = Q_i + Q_s \quad \text{Eq (49)}$$

Em que:

$Q_g$  – Ganhos globais

$Q_i$  – Ganhos internos

$Q_s$  – Ganhos solares

Porém, nem todos os ganhos são úteis pois alguns podem levar ao sobre aquecimento do ambiente interno. Mas é possível calcular o factor de utilização dos ganhos  $\eta$ , que é calculado em função da inércia térmica do edifício e da relação  $\gamma$  entre os ganhos totais brutos (internos e externos) e as perdas térmicas totais do edifício. Ou seja, a inércia térmica, em conjunto com a relação de perdas e ganhos, é responsável pela utilidade dos ganhos totais. A Equação 50 expressa esta relação.

$$Q_u = \eta \cdot Q_g \quad \text{Eq (50)}$$

Para o cálculo dos ganhos internos são levados em conta os ganhos térmicos internos médios por unidade de área útil de pavimento  $q_i$  (W/m<sup>2</sup>). Estes ganhos são função: do tipo de habitação; da área de piso da edificação; como também a duração média da estação de aquecimento  $M$ . A duração o aquecimento vai depender do local da edificação e esta tabelado no mapa de zoneamento climático. É usado o factor 0.720 que transforma as unidades em kWh. A Equação 51 estabelece esta relação.

$$Q_i = q_i \cdot M \cdot A_p \cdot 0.720 \text{ (kWh)} \quad \text{Eq (51)}$$

Os ganhos solares são calculados em função da radiação solar que cada superfície exposta recebe. Esta radiação depende da energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a sul ( $G_{sul}$ ) multiplicada pelo factor de orientação da superfície  $X$ . Este factor encontra-se tabelado. Os ganhos também são função da área efectiva colectora  $A_s$  e da duração da estação de aquecimento. Estes elementos se relacionam na Equação 52.

$$Q_s = G_{sul} \cdot \sum (X \sum A_s) \cdot M \quad \text{Eq (52)}$$

Para definir a área colectora é necessário incidir os factores que são responsáveis pela maior ou menor eficiência do vão envidraçado em relação aos ganhos solares.  $A_s = A \cdot F_s \cdot F_g \cdot F_w \cdot g_{\perp}$  onde:  $A$  é a área do vão envidraçado.  $F_s$  é o factor de obstrução do vão que varia entre 0 e 1 e representa a redução da radiação incidente sobre o vão devido a sombreamentos permanentes com causas externas (outros edifícios), ou internas (corpos do mesmo edifício). O factor  $F_s$  é dividido em três componentes:  $F_h$  (que representa o sombreamento horizontal de outros edifícios ou corpos do edifício),  $F_o$  (que representa o

sombreamento por elementos horizontais sobrepostos aos envidraçados. ex: palas, varandas) e  $F_f$  (que representa o sombreamento vertical por elementos adjacentes ao envidraçado. Ex: palas verticais etc.).  $F_g$  representa a fracção envidraçada do vão e depende das características dos caixilhos.  $F_w$  corresponde ao factor de selectividade angular dos vãos envidraçados. Ou seja, a redução dos ganhos causada pela variação das propriedades do vidro em função do ângulo de incidência solar directa. Finalmente, o factor solar do vão envidraçado  $g_{\perp}$ , que representa a relação entre a energia solar incidente e a energia transmitida pelo vão.

É indispensável que o projectista faça um balanço entre os ganhos solares na estação de aquecimento (favoráveis), e os ganhos da estação de arrefecimento (desfavoráveis), e depois que escolha balanço melhor represente uma equação de minimização global de energia térmica, pois poderá surgir a situação de ser melhor reduzir os ganhos de Inverno afim de evitar um maior ganho de Verão. Lógico que os factores solares dos vãos de Inverno e Verão não são interpretados de forma similar. No Inverno, admitem-se, as protecções aos vãos, abertas e no Verão leva-se em consideração que estejam fechadas. Mas mesmo assim, é fundamental um balanço Inverno/Verão, a fim de pensar a solução óptima. O estudo da colocação dos obstáculos de protecção nunca pode ser feito tomando em consideração apenas uma estação, mas sim relacionando ambas.

#### 5.1.2 Necessidades anuais de arrefecimento

Pode ser definida como a energia útil que é necessário retirar do ambiente interno a fim de dotá-lo das condições de conforto previamente estabelecidas. O parâmetro limite de consumo é o  $N_v$  que é tabelado no mapa de zoneamento climático, em função do local onde a edificação está situada. Com o objectivo de comparar com este parâmetro ( $N_v$ ), é calculada a necessidade anual de arrefecimento  $N_{vc}$ . Esta é calculada em função dos ganhos brutos totais ( $Q_g$ ) e do factor de utilização dos ganhos ( $\eta$ ), relacionados sempre com a área de piso da edificação, e expresso pela Equação 53.

$$N_{vc} = Q_g \cdot (1-\eta) / A_p \quad \text{Eq (53)}$$

Os ganhos totais brutos são obtidos pela soma das parcelas relativas à condução e radiação nos elementos da envolvente opaca, pela radiação através dos envidraçados, também através da renovação de ar e finalmente pelas cargas internas.

### 5.1.2.1 Ganhos pela envolvente opaca

Os ganhos pela envolvente opaca têm duas parcelas integrantes. A primeira é devida à condução. E a segunda é devida a radiação. Esses ganhos podem ser expressos pela Equação 54

$$Q_{\text{opaco}} = U \cdot A (T_{\text{atm}} - T_i) + U \cdot A \cdot (\alpha \cdot G/h_e) \text{ (W)} \quad \text{Eq (54)}$$

Em que:

$T_{\text{atm}}$  = Temperatura do ar exterior

$T_i$  = Temperatura interior

$\alpha$  = Coeficiente de absorção da superfície exterior

$h_e$  = Condutância térmica superficial exterior do elemento da envolvente

Para toda a estação de arrefecimento a equação passa a ser expresso pela Equação 55.

$$Q_{\text{opaco}} = 2.928 U \cdot A \cdot (T_m - T_i) + U \cdot A (\alpha \cdot I_r/h_e) \text{ (KWh)} \quad \text{Eq (55)}$$

Em que:

$T_m$  = Temperatura média da estação

$I_r$  = Intensidade média da radiação solar incidente em cada orientação

### 5.1.2.2 Ganhos através dos envidraçados

Os ganhos, através dos vãos envidraçados, podem ser expresso pela Equação 56

$$Q_s = \sum (I_r \cdot \sum A_s) \text{ (Kwh)} \quad \text{Eq (56)}$$

Onde:

$A_s$  (como nos ganhos solares de Inverno) representa a área efectiva de captação solar.

$I_r$  - Intensidade da radiação solar

A problemática da definição das protecções volta a colocar-se aqui como já tinha acontecido a propósito dos ganhos solares de Inverno. É, então, indispensável a análise conjunta das duas situações.

### 5.1.2.3 Perdas por ventilação

A componente devida à renovação de ar é imputada como perda. Isto porque a temperatura média exterior de todas as regiões de Portugal é sempre inferior à temperatura de conforto de projecto para a estação de arrefecimento. Com isso, o ar renovado retira carga térmica do ambiente ajudando, assim, no processo de arrefecimento. É possível expressar essa perda pela Equação 57.

$$Q_3 = 2.982 \cdot (0.34 \cdot R_{ph} \cdot V) (T_m - T_i) \text{ (KWh)} \quad \text{Eq (57)}$$

Onde:

$T_m$  = Temperatura média do local durante a estação

### 5.1.2.4 Ganhos internos

Os ganhos internos, Tal como o acontecido com o método de cálculo para a estação de aquecimento, podem ser determinados, pela Equação 58.

$$Q_i = 2.982 \cdot q_1 \cdot A_p \text{ (KWh)} \quad \text{Eq (58)}$$

Para o arrefecimento são de fundamentais a protecção dos vãos envidraçados (com a finalidade de evitar ganhos desnecessários), bem como a inércia térmica do edifício<sup>51</sup>. É fácil de observar, também, que a renovação de ar, elemento que entra como perda, não deve ser maximizado pelo facto de gerar uma alta perda no Inverno, e que os ganhos internos não dependem do projectista. Outros elementos também são importantes. É o caso do coeficiente de transmissão térmica  $U$  da envolvente (que já está estudado para solucionar a questão do aquecimento) e o coeficiente de absorção dos elementos da envolvente  $\alpha$  (que deve ser o mais baixo possível. Ou seja, o ideal é uma superfície mais

---

<sup>51</sup> No caso do clima português, onde existe a onda de calor, é fundamental uma inércia alta, a fim de equalizar a temperatura interna, evitando o acompanhamento da alta amplitude externa

reflectora possível, para evitar a acumulação de energia radiativa, que será posteriormente transmitida por condução).

É obrigatório, também, respeitar os factores solares máximos para vãos envidraçados com áreas superiores a 5% da área útil do ambiente que servem. A regulação deste elemento vai de encontro às necessidades de reduzir os ganhos por radiação.

### 5.1.3 Necessidades de energia para preparação de águas quentes sanitárias

O consumo de energia para preparo de águas quentes sanitárias é uma novidade do RCCTE e muito justificada, visto que este consumo chega a representar 50% da energia consumida numa edificação. O parâmetro limite de consumo é denominado  $N_a$  e é calculado em função do consumo médio diário de referência ( $M_{aqs}$ ), do número anual de dias de consumo ( $\eta_d$ ), sempre relacionados com a área de pavimento da edificação e expresso na Equação 59.

$$N_a = 0.081 \cdot M_{aqs} \cdot \eta_d / A_p \text{ (kWh/m}^2\text{.ano)} \quad \text{Eq (59)}$$

Para quantificar o consumo real, é calculado o  $N_{ac}$  em função da energia útil dispendida com sistemas convencionais de preparação de águas quentes ( $Q_a$ ), da eficiência desses sistemas ( $\eta_a$ ), abatendo sempre do consumo as contribuições do sistema solar térmico de apoio (obrigatório) e de algum sistema com energia renovável que, por ventura, tenha sido utilizado como auxiliar na produção AQS ou que sirva como fonte de recuperação de calor. As Equação 60 e 61 expressam essas relações:

$$N_{ac} = ( Q_a / \eta_a - E_{solar} - E_{ren} ) / A_p \text{ (kWh/m}^2\text{.ano)} \quad \text{Eq (60)}$$

Onde:

$$Q_a = (M_{aqs} \cdot 4187 \cdot \Delta T \cdot \eta_d) / 3600000 \text{ ( kWh/ano)} \quad \text{Eq (61)}$$

$\Delta T$  é a variação da temperatura entre a água fria de entrada no sistema e a água quente de serviço, que corresponde a 45°C.

Aqui os itens mais importantes para redução do consumo são dois: tentar dispor o máximo possível da energia solar de apoio e, em segundo lugar, ter a maior eficiência energética no sistema de produção convencional.

#### 5.1.4 Necessidades globais de energia primária

Com o objectivo de certificar os edifícios, é necessário converter todo o consumo em um único parâmetro de medição global. Como os sistemas energéticos usam diversas fontes de consumo, é necessário converter todos estes consumos numa base comum que é a energia primária, expressa em Kgep (quilograma equivalente de petróleo).

Para conseguir obter os rendimentos dos aquecimentos e arrefecimentos artificiais, bem como da produção de águas quentes sanitárias, é necessário saber que tipo de equipamento será instalado na habitação. Quando não se souber, o regulamento especifica o seguinte:

- O aquecimento será obtido por resistência eléctrica.
- O arrefecimento será obtido por máquina frigorífica com eficiência (COP) 3
- As águas quentes sanitárias serão preparadas por termoacumulador eléctrico com 50 mm de isolamento, quando não for servida a habitação de gás natural. Caso contrário, será dotada de esquentador a gás.

O parâmetro de consumo máximo será o NT que é definido pela Equação 62

$$NT = 0.9 (0.01.N_i + 0.01 N_v + 0.15 N_a) \quad \text{Eq (62)}$$

E o consumo primário total real será expresso pela Equação 63.

$$NT_c = 0.1 ( N_{ic} / \eta_i ) . F_{pui} + 0.1 ( N_{vc} / \eta_v ) . F_{pvi} + N_{ac} . F_{pua} \quad \text{Eq (63)}$$

Em que:

F<sub>pui</sub> é o factor de conversão de energia útil em primária para Inverno

F<sub>pvi</sub> é o factor de conversão de energia útil em primária para o Verão

F<sub>pua</sub> é o factor de conversão da energia útil para primária na produção das águas quentes sanitárias.

Esses factores dependem do tipo de energia utilizada na operação e podem ser:

- Electricidade = 0.290 K<sub>gep</sub>/ Kwh
- Combustíveis sólidos, líquidos e gasosos = 0.086 K<sub>gep</sub> / Kwh
- $\eta$  eficiência energética do equipamento para aquecimento
- $\eta_v$  eficiência energética do equipamento de arrefecimento

A energia total primária possível de ser consumida é inferior à soma algébrica das energias possíveis nas três etapas distintas. Isso quer dizer que é um requisito acrescido na redução dos consumos. É importante notar que o condicionamento da energia primária está no tipo de energia consumida, que basicamente independe da vontade do projectista e do usuário. Mas depende da eficiência dos equipamentos (e esta sim, pode ser influenciada pelo projectista e é função directa da vontade do proprietário do imóvel ou do dono do empreendimento).

## 5.2 Definição de possíveis vulnerabilidades de projecto

Como já foi dito, o projecto ideal é aquele que tira partido de todos os recursos que a arquitectura bioclimática pode fornecer. O problema é que, para que tal situação ocorra, o lote já deveria ter a exposição ideal com o intuito de permitir as maiores faces das fachadas na direcção Norte/Sul (no caso de estar em encostas ser sempre voltado a sul etc.). Porém, isso não ocorre por uma questão de má planeamento urbanístico. Isto faz com que o foco dos consumos das habitações seja virado um pouco para montante do início do projecto. É de fundamental importância que a problemática da energia seja incorporada pelos arquitectos urbanistas, com o objectivo de planearem uma disposição dos lotes de forma mais favorável, conseguindo, com isso, uma optimização dos recursos naturais aquando do projecto das edificações. Ainda na questão urbanística, é importante a preocupação com o coeficiente de reflexão do entorno das edificações. Como também é de grande importância a disposição de pátios secos e húmidos no

interior da urbanização, a fim de se tirar partido do arrefecimento radiativo e evaporativo como recurso nas zonas mais quentes. A preocupação com fluxo da ventilação na urbanização é fundamental. Para isso, a disposição das ruas e a altura dos edifícios têm que deixar de ter a máxima taxa de ocupação como directriz e passar a ter o consumo energético como foco. A exposição solar das edificações tem que ser melhor estudada, pois o sombreamento de horizonte, em muitos casos, impede o acesso de algumas construções ao recurso solar.

Quanto ao projecto da edificação, a preocupação inicial seria reduzir ao máximo o factor de forma pois é ele que condiciona as trocas térmicas com o exterior. O facto de se conseguir um factor de forma pequeno irá ajudar bastante em tudo o que diz respeito a perdas por condução que, na maioria dos casos, são sempre as grandes perdas térmicas da estação de aquecimento. Cabe ao arquitecto conseguir reduzir o factor sem prejudicar o aspecto visual do projecto final.

Outra preocupação principal recai nos balanços de perdas e ganhos gerados pelos envidraçados. Estes elementos precisam ser equalizados, para gerar o menor consumo possível sem prejudicar a luminosidade natural (por questões de conforto e também de consumo de energia). Em relação aos envidraçados, os sombreamentos (palas) e as protecções (estores) , merecem um estudo muito sério, pois têm que garantir a melhor eficiência possível do vão. É importante saber tirar partido, quando possível, de sombreamentos naturais temporários, de uma reflexão ideal do entorno, bem como de massas de água e de terra que possam vir a apoiar no arrefecimento evaporativo e no earth cooling.

Ou seja, é urgente focar nas estratégias bioclimáticas para reduzir perdas e aumentar ganhos no Inverno e reduzir ganhos e aumentar perdas no Verão, tirando partido de todas as valências que o clima local possa fornecer. Para tal, é preciso incorporar a geometria solar como elemento fundamental nos ante-projectos. Pois é dela que podem ser tiradas as informações necessárias para a perfeita localização de vãos e disposição de ambientes. É importante que a definição das tipologias e das áreas das edificações passem a ser função do potencial energético local, pois elas irão influenciar os consumos energéticos destas edificações. Claro que a questão não se resume ao projecto de arquitectura, mas é dele que irão derivar os demais projectos técnicos e a sua concepção deficiente irá dificultar, ou até mesmo impedir, que o projecto técnico torne a

edificação mais eficiente energeticamente falando. Por isso, uma equipa multidisciplinar é fundamental para a execução de um bom projecto. E é necessário que essa equipa comece a trabalhar conjuntamente desde as fases mais preliminares do projecto.

### 5.3 Definição dos elementos construtivos fundamentais ao consumo

- PAREDES DA ENVOLVENTE
- COBERTURA
- ENVIDRAÇADOS
- PROTECÇÃO AOS ENVIDRAÇADOS
- CAIXILHOS
- MASSA TÉRMICA
- PONTES TÉRMICAS LINEARES
- PERÍMETRO DE CONTACTO COM O SOLO
- EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EQUIPAMENTOS
- EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA DISTRIBUIÇÃO
- RECURSO A FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEL

Para reduzir o consumo, antes de mais, é importante um bom isolamento térmico. Isto implica um coeficiente de transmissão térmica  $U$ , dos elementos da envolvente, externa ou interna, com baixo valor. Para tal, é necessário que as paredes que estão em contacto com exterior ou com locais não aquecidos estejam bem isoladas. As coberturas ou lajes em contacto com local não aquecido também devem ser bem isoladas. É preciso uma preocupação especial com os vidros, pois são elementos essenciais aos ganhos. Porém, são o elo mais fraco no isolamento do envelope da edificação. O que implica numa relação directa de qualidade/área. Ou seja, quanto maior a área envidraçada de maior qualidade terá de ser o vidro afim de evitar uma maior perda de carga térmica na estação de aquecimento. Nos envidraçados, também é de suma importância a questão da sua

performance (no que diz respeito a quantidade de energia transmitida bem como no espectro da energia que se transmite). Essa performance irá condicionar a quantidade e a forma como será aquecido o local onde o envidraçado está localizado. O tipo de sombreamento também deve ser estudado de forma bastante específica. Isto porque, além do seu posicionamento (que irá condicionar a quantidade de energia que incidirá sobre o vidro), o material do qual é fabricado é muito importante pois pode funcionar como reflector, condicionando a energia incidente mas não diminuindo a luminosidade. E até mesmo pode incorporar alguma forma de aproveitamento de energias renováveis. Outro aspecto importante são as protecções, como estores e cortinados. É importante o seu uso e, no caso dos estores, a sua localização é fundamental para não criar efeito estufa (no caso de ser colocada pelo interior). É importante sempre usa-lo pelo lado externo.

Nas paredes, é de fundamental importância a correcção das pontes térmicas entre: Fachada-pavimento térreo; Fachada-pavimento sobre local não aquecido ; Fachada-pavimento intermédio ; Fachada-cobertura inclinada ou terraço ; Fachada-varanda ; Parede-parede de fachada ; Fachada-caixa de estore ; Fachada-padieira/ombreira/peitoril. É necessário, nestas soluções, buscar o menor coeficiente de transmissão térmica linear  $\psi$ , que varia em função da solução construtiva. É uma preocupação bastante pertinente, pois como são função do perímetro de contacto, em alguns projectos podem acarretar uma alta perda térmica. Da mesma forma, é preciso focar a preocupação nas paredes e pavimentos em contacto com o solo pois, tal como acontece com as pontes lineares, também são função do perímetro em contacto e do coeficiente de transmissão linear. A cobertura é um outro elemento muito importante nas trocas térmicas interior – exterior. Com a obrigatoriedade do uso de painéis solares para auxiliar na energia consumida no preparo das AQS, cada vez mais irão ser projectadas coberturas planas. Com isso, o seu isolamento torna-se cada vez mais importante afim de evitar as perdas térmicas que possam ser causadas por um deficiente isolamento. A caixilharia surge também como elemento fundamental, pois será responsável pelo grau de estanquidade ao ar, o que irá condicionar as perdas de Inverno por renovação do ar. Este facto se for descuidado, pode anular completamente todo o esforço que foi conseguido com o bom isolamento da envolvente. Outro aspecto importante, em relação aos caixilhos, é exactamente a contrapartida da boa estanquidade. Pelo facto de ser estanque a entrada de ar exterior, o caixilho ajuda piorar

a qualidade do ar interior. Para solucionar este problema é importante dotar o caixilho de sistema de grelhas reguláveis para ventilação, o que possibilita o controle do índice de renovação horária do ar interior.

A inércia térmica é uma questão fundamental num clima mediterrânico, como o português. Para garantir uma alta inércia térmica é necessário tentar garantir a maior massa possível pelo interior do isolamento, visto que só irá funcionar como massa térmica a massa interior ao isolamento. Assim isolar pelo exterior é a solução ideal. Quando, ou por opção construtiva ou no caso das reabilitações, não for possível dispor de uma alta inércia com a massa construtiva, poder-se-á sempre lançar mão do uso dos materiais de mudança de fase, de forma a garantir a inércia não conseguida com a massa da construção.

Finalmente, no que concerne à produção de AQS, é fundamental que o projecto seja o mais inteligente possível para reduzir o percurso de circulação da água, garantindo, com isso, uma maior eficiência de distribuição. Também é importante o uso de aparelhos que apoiam a produção solar, com a maior eficiência energética possível. Ou seja, por um lado focar na eficiência da produção da energia necessária e, por outro, ter um sistema de distribuição o mais eficiente possível.

É importante também, no caso de se fazer necessário o uso de aparelhos para apoiar o arrefecimento, que os mesmos sejam os mais eficientes possíveis. E, sempre que possível, procurar incorporar na edificação equipamentos de produção de energias renováveis.

As utilizações de soluções de aquecimento e arrefecimento passivo (como paredes trombe, estufas, tubos que captem o ar resfriado do solo, torre de arrefecimento evaporativo, chaminé térmica etc.) deverão sempre ser incentivadas e sempre ter a preferência em relação às formas de ganho ou perda térmica activas.

Além destes elementos, é de fundamental importância perceber que os paradigmas das soluções de projecto mudaram no tempo. Exemplo disso são as águas pluviais que, no passado, a preocupação de projecto consistia em drená-las para o ponto mais distante possível do edifício. Hoje, a preocupação passa por conseguir reter a maior quantidade possível dessas água para, com isso, satisfazer necessidades (do próprio edifício), que possam ser supridas por elas. Isso quer dizer, apenas, que é preciso não ter paradigmas

antigos e estar aberto a qualquer fonte potencial de produção ou de não desperdício de energia de que uma habitação possa dispor.



**CAPÍTULO 6 - COMPARAÇÃO DAS SOLUÇÕES  
CONSTRUTIVAS**



## 6 COMPARAÇÃO DAS SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS

### 6.1 Simulação das soluções construtivas

Com o objectivo de realizar as diversas simulações possíveis em relação às soluções construtivas, foi utilizado o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios de Portugal (RCCTE). Foi considerado como objecto de estudo uma moradia de três frentes com fins residenciais e de uso permanente, com as seguintes características:

- Tipologia: T3
- Nº de pavimentos: 3 (cave, Rés do chão e primeiro andar)
- Zona aquecida: Rés-do-chão e primeiro andar
- Espaços não úteis: Cave,  $\tau = 0.80$  (garagem privada)
- Os vãos envidraçados são protegidos por persianas exteriores
- Caixilharia sem classificação
- Não existe sombreamento por palas, corpos do edifício ou ainda edifícios adjacentes
- Zona climática de inverno I2
- Graus dias de aquecimento 1610 °C.dias
- Duração da estação de aquecimento 6.7 meses
- Energia média solar incidente na vertical orientada a Sul de Inverno  
93 kWh/m<sup>2</sup>.mês
- Zona climática de Verão V1-N
- Temperatura média exterior no Verão 19° C
- Nível 2 de exposição da fachada aos ventos
- Pé direito médio 2.55m
- Sistema de aquecimento por combustível com eficiência  $\eta_i 0.87$
- Nº médio diário de ocupantes 4
- Eficiência do sistema de aquecimento de águas quentes sanitárias  
 $\eta_a 0.82$
- Contribuição do sistema solar para o aquecimento de AQS  
999 kWh/ano
- O sistema de arrefecimento é (por defeito) máquina frigorífica com  $\eta_i 3$

- Não há contribuição de outras energias renováveis.

Por tudo que já foi descrito neste trabalho, quando estamos diante da impossibilidade de alterar o projecto de arquitectura da edificação em estudo, a redução dos consumos passa por uma melhor performance da envolvente exterior do edifício (no caso de edifícios regulados pela envolvente, que é o caso dos edifícios de até 1000 m<sup>2</sup> de área útil). Por conta disso, as simulações foram divididas em duas etapas. Na primeira, mantiveram-se inalteradas as soluções dos vãos envidraçados e da cobertura e trabalhou-se com diversas soluções de fachada para envolvente opaca. O objectivo destas simulações foi o de encontrar a melhor solução entre as estudadas no que respeita especificamente, à envolvente opaca do envelope do edifício, pois este é o foco principal deste trabalho. A segunda etapa, a título de informação, onde já havia sido encontrada a melhor solução de envolvente opaca, que é o foco principal, foram trabalhadas em cima deste resultado algumas variáveis a fim de, manipulando as outras condicionantes de performance, obter o menor consumo possível de entre os estudados para a habitação em causa. Foram simuladas, para tal efeito, soluções distintas em relação ao coeficiente de transmissão térmica  $U$  da coberta, bem como diferentes opções dos vãos envidraçados no que diz respeito ao coeficiente  $U$  e também ao factor solar  $g_{\perp}$  do vidro. As soluções de vãos envidraçados não levaram em conta a resposta a requisitos acústicos pois, como o interesse do trabalho é de simular consumos energéticos, a paridade e as diferenças de características térmicas é que eram fundamentais, não importando outros desempenhos físicos, visto que seriam iguais para todas as simulações. Posteriormente, e com o intuito de estudar algumas outras variantes, foram simuladas situações de alteração do local da construção e também alteração da classe das caixilharias.

### 6.1.1 Estudo de performance

#### 6.1.1.1 Escolha da melhor envolvente vertical opaca

Foram estudadas quatro opções de envolvente opaca, para a simulação. Levou-se em conta uma solução de coberta com  $U = 0.51 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  e de vãos envidraçados de características iguais com coeficiente de transmissão térmica  $U = 3.32 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  e factor solar  $g_{\perp} = 0.75$ . Como já foi citado, não há sombreamentos.

a) A primeira solução foi uma parede simples em betão, com 20cm de espessura, isolada pelo exterior em poliestireno expandido de 5cm e rebocada em ambas as faces.

A solução apresenta um coeficiente de transmissão térmica  $U = 0.64 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ , uma massa interior ao isolamento computável para inércia  $M_{si} = 550 \text{ Kg/m}^2$  e uma energia primária incorporada de  $721 \text{ kWh/m}^2$ .

b) A segunda solução estudada foi também uma parede simples sendo. Mas, neste caso, em alvenaria de tijolo furado de 22cm, também com isolamento pelo exterior em poliestireno expandido de 5cm de espessura e com ambas as faces rebocadas. O coeficiente  $U$  da solução é de  $0.5 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ , com massa computável para inércia  $M_{si} = 220 \text{ Kg/m}^2$  e energia primária incorporada de  $815 \text{ kWh/m}^2$ .

c) A terceira solução é de um pano duplo de alvenaria (exterior com 15cm de espessura e interior com 11cm), com caixa-de-ar entre as paredes com 6cm de espessura isolada, com poliestireno expandido de 5cm e com ambas as faces rebocadas. Apresenta coeficiente  $U = 0.47 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ,  $M_{si} = 122 \text{ Kg/m}^2$  e energia primária incorporada de  $919.5 \text{ kWh/m}^2$ .

d) A quarta é uma solução de fachada leve usando o sistema de aço leve enformado a frio, STEEL FRAME, com fechamento exterior em placa de madeira tipo OSB, interior em placa de gesso cartonado, espessura entre placas de 15cm isolada no interior em lã de rocha com 8cm de espessura, rebocada na face interior e na face exterior e usado o sistema ETICS de isolamento e acabamento com 5cm de espessura do isolante em poliestireno expandido. O coeficiente de transmissão térmica  $U = 0.27 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ , sua massa inercial é de  $98 \text{ Kg/m}^2$  e a sua energia primária incorporada corresponde a  $441 \text{ kWh/m}^2$ . O resultado da simulação pode ser visto na Tabela 23.

Tabela 23: Simulação energética para diferentes soluções de envoltivo opaca

SIMULAÇÃO PARA DIFERENTES SOLUÇÕES DE ENVOLVENTE OPACA						
SOLUÇÃO	U W/M2. °C	MSI KG/M2	NIC KWH/ M2.ANO	NVC KWH/ M2.ANO	NAC KWH/ M2.ANO	NTC KGEP/ M2.ANO
1ª	0,64	550,00	69,21	3,54	14,47	1,96
2ª	0,50	220,00	66,13	3,51	14,47	1,93
3ª	0,47	122,00	65,47	3,51	14,47	1,93
4ª	0,27	98,00	61,09	3,48	14,47	1,88

Através da Tabela 23 podemos concluir que o crescimento das necessidades de consumo é directamente proporcional ao aumento do coeficiente de transmissão térmica  $U$  e cresce como a curva do Gráfico 6.

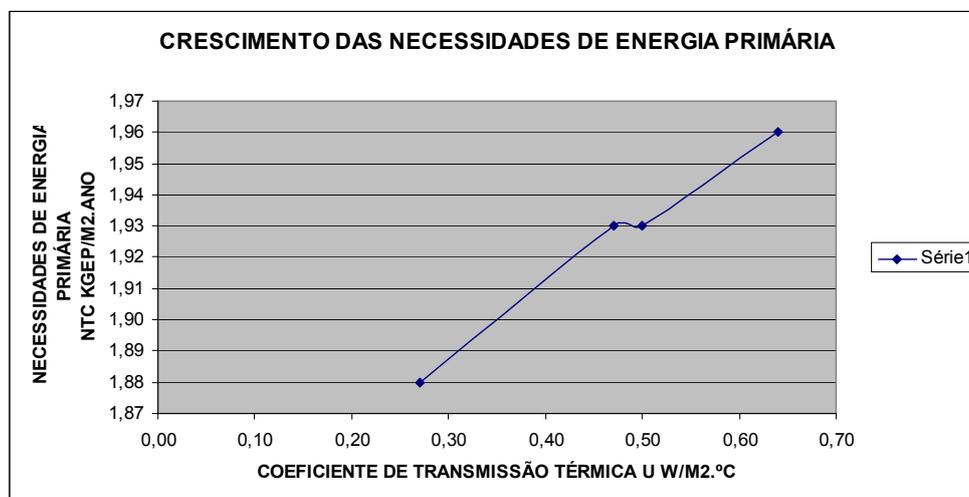


Gráfico 6: Crescimento das necessidades de energia primária

Esta curva seria constantemente decrescente com a diminuição dos valores de  $U$ . Porém, estes valores terão um limite mínimo possível. Estes limites cada vez mais variam em função do país onde se constrói, pois com o desenvolvimento de sistemas construtivos alternativos é possível conseguir valores de  $U$  bastante baixos. Nas soluções construtivas correntes em Portugal temos os valores apresentados na tabela 23. Mas com o uso de algumas soluções utilizadas em outros países, principalmente os painéis estruturais isolados<sup>52</sup>, é possível conseguir coeficientes de transmissão térmica bastantes reduzidos. É uma solução já bastante usada nos Estados Unidos da América, principalmente em edifícios similares aos abrangidos pelo RCCTE português, estes painéis já fazem parte tanto do código internacional da construção residencial (IRC), quanto do código internacional para a conservação de energia (IECC2006).

#### 6.1.1.2 Estudo sobre a localização

Como o resultado desta primeira simulação indicou que a solução opaca que melhor satisfazia era a opção 4, ou seja o sistema Steel Frame, foi realizada uma segunda simulação, com o objectivo de verificar como as soluções estudadas respondiam a locais

<sup>52</sup> Os painéis estruturais isolados são um sistema sanduiche formado por duas capas de OSB (Oriented Strand Board), contraplacados formados por fibras de madeiras orientadas de forma a lhe proporcionarem resistências mecânicas satisfatórias. Estes contraplacados envolvem uma camada isolante formada por poliestireno, ou então, poliuretano aderido às chapas de OSB através de um adesivo especial. Pode fazer-se variar a espessura da camada isolante confinada, alterando-se, assim, as características físicas do conjunto.

diferentes. Ou seja, para verificar a resposta das mesmas às diferenças climáticas do país. O resultado obtido é o apresentado na Tabela 24.

Tabela 24: Simulação para diferentes localizações

<b>SIMULAÇÃO DE LOCALIZAÇÃO</b>				
<b>SOLUÇÃO</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>PORTO</b>	<b>LISBOA</b>	<b>BRAGANÇA</b>
<b>1ª SOLUÇÃO</b>	NIC	69,21	44,34	155,00
	NVC	3,54	22,64	4,26
	NAC	14,47	14,47	14,47
	NTC	1,96	1,90	2,82
<b>2ª SOLUÇÃO</b>	NIC	66,13	42,13	149,38
	NVC	3,51	22,15	4,23
	NAC	14,47	14,47	14,47
	NTC	1,93	1,88	2,76
<b>3ª SOLUÇÃO</b>	NIC	65,47	41,66	149,18
	NVC	3,51	22,04	4,22
	NAC	14,47	14,47	14,47
	NTC	1,93	1,87	2,75
<b>4ª SOLUÇÃO</b>	NIC	61,09	38,55	140,16
	NVC	3,48	21,34	4,17
	NAC	14,47	14,47	14,47
	NTC	1,88	1,83	2,67

A Tabela 24 mostra que as soluções comportam-se de forma similar para as diversas regiões, sendo a solução nº 4 a mais favorável em qualquer delas. A Tabela 24 também demonstra que as necessidades são sempre menores em Lisboa e sempre maiores em Bragança. O valor a vermelho para as necessidades de Inverno da solução 1 em Bragança significa que esta condição não é satisfeita em função dos parâmetros do RCCTE. O Gráfico 7 representa a tabela de uma forma mais agrupada, onde é possível observar com maior facilidade o comportamento das simulações em função da localidade e das soluções. E dessa percepção é possível concluir que quanto mais extremadas são as solicitações numa determinada estação, maior serão as necessidades finais de energia primária. Climas amenos, onde existam tanto solicitações de Inverno quanto de Verão, mas que sejam solicitações medianas, apresentam solicitações de consumo menores. É importante salientar que o facto de existir diferença no tipo de

combustível e de máquinas usadas para o arrefecimento ou aquecimento da moradia gera, também, uma discrepância nas necessidades de consumo em função dos rendimentos energéticos equipamento.

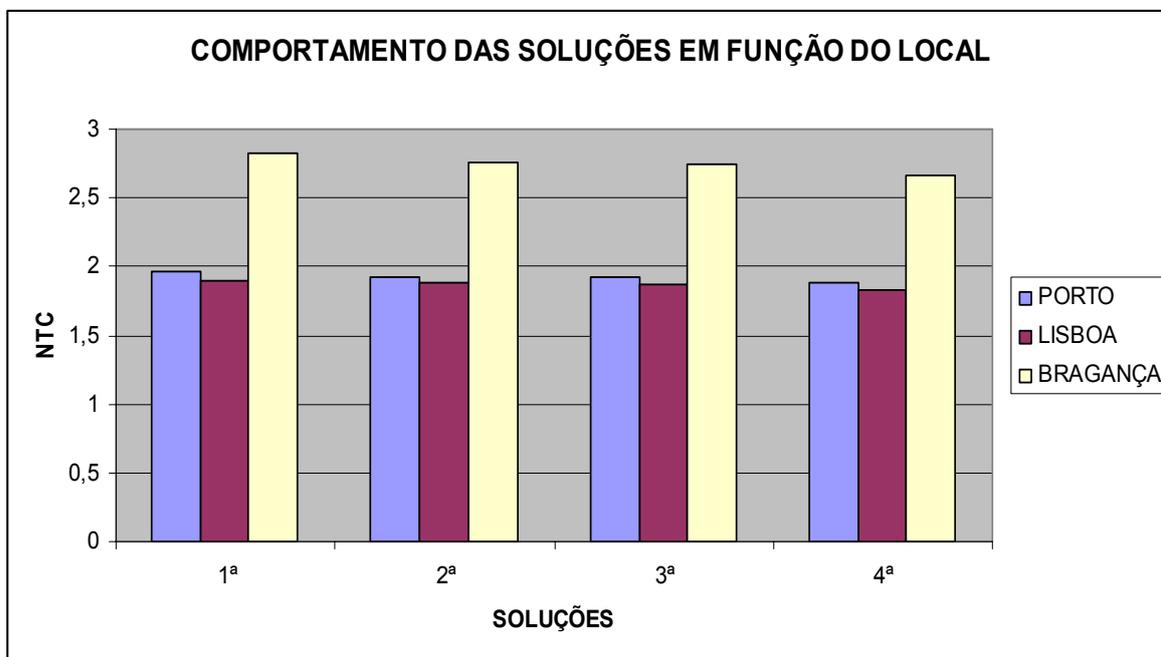


Gráfico 7: Comportamento das soluções em função do local

### 6.1.1.3 Alteração das características construtivas da cobertura

Como a 4ª solução foi a melhor em todas as localidades, foi a partir dela que foram feitas outras simulações com alteração nas características da cobertura e dos vãos envidraçados.

Na primeira alteração, foi modificada a solução construtiva da coberta, partindo de um coeficiente de transmissão térmica  $U$  de  $0.51 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$  até  $0.29 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$  (1ª simulação). Para que isto fosse possível, partiu-se de uma camada de isolamento em poliestireno expandido no primeiro caso de 3cm até chegar aos 8cm para o coeficiente  $U= 0.29 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$ , sempre compondo uma solução construtiva de cobertura invertida sobre laje aligeirada com abobadilhas cerâmicas de 20 cm de espessura e camada de compressão em betão com 5 cm de espessura. A Tabela 25 representa a evolução das necessidades energéticas em função da alteração da condutibilidade térmica da

cobertura. É importante salientar que foi sempre mantida a cor da face exterior, para não modificar o coeficiente de absorção.

Tabela 25: Simulações de cobertura (envolvente vertical STEEL FRAME)

<b>VARIAÇÃO DA SOLUÇÃO DA COBERTURA PARA ENVOLVENTE VERTICAL OPACA NO SISTEMA STEEL FRAME</b>				
<b>U COBERTA</b>	<b>NIC</b>	<b>NVC</b>	<b>NAC</b>	<b>NTC</b>
0,51	69,21	3,54	14,47	1,96
0,41	59,19	3,39	14,47	1,86
0,29	56,92	3,28	14,47	1,84

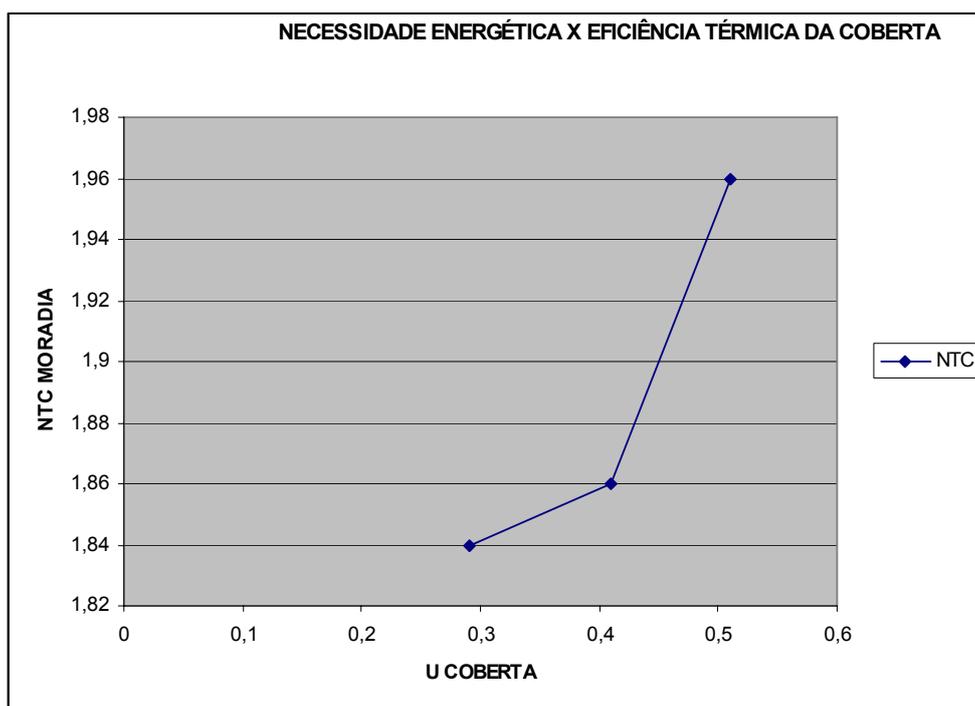


Gráfico 8: Necessidade energética x eficiência térmica da coberta

A Tabela 25 e o Gráfico 8 mostram que, tal como aconteceu no estudo anterior da envolvente opaca, a cobertura também influencia de sobremaneira as necessidades de consumo finais, visto que a relação área coberta x área de envolve opaca é de 0.87. A importância da cobertura nas necessidades de consumo é quase a mesma da envolvente

opaca. E é de salientar que esse é um facto recorrente para as habitações unifamiliares de três ou menos frentes.

#### 6.1.1.4 Alteração da classe dos caixilhos

Outro estudo realizado foi o de aferir o comportamento dos consumos através da mudança da classe da caixilharia usada. A simulação original foi para uma caixilharia não classificada, usando as melhores soluções de envolve vertical opaca e de coberta, foram simuladas, depois, situações para classes de caixilhos 1, 2 e 3 respectivamente. Os resultados são apresentados na Tabela 26 e no Gráfico 9.

Tabela 26: Simulação para a variação da classe do caixilho

<b>VARIAÇÃO DA CLASSE DA CAIXILHARIA PARA ENVOLVENTE VERTICAL OPACA EM STEEL FRAME E MELHOR COBERTA</b>				
CLASSE	NIC	NVC	NAC	NTC
0	56,92	3,28	14,47	1,84
1	55,34	3,45	14,47	1,82
2	53,75	3,62	14,47	1,81
3	52,17	3,81	14,47	1,80

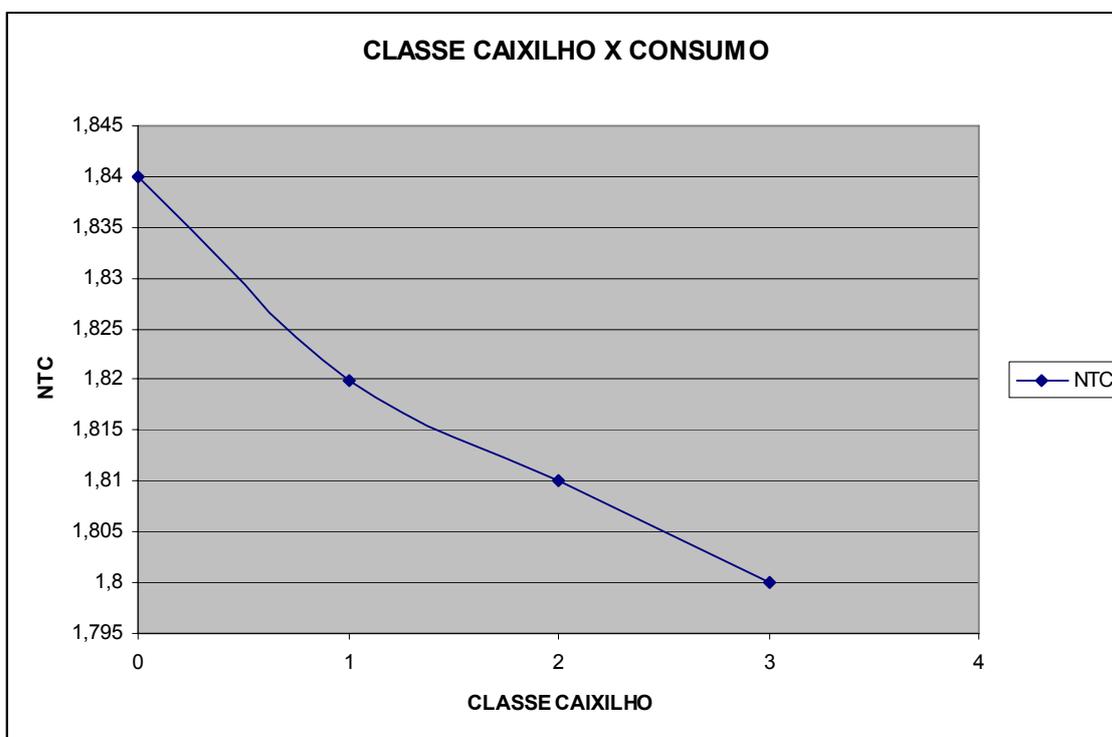


Gráfico 9: Classe do caixilho x consumo

A Tabela 26 e o Gráfico 9 mostram que a classificação do caixilho usado é relevante nos consumos finais, sendo possível reduzir as necessidades de consumo de energia primária total por metro quadrado entre 1 e 2% por nível de classificação do caixilho. A classificação do caixilho não é uma decisão meramente técnica em definir o uso de uma ou outra classe. Essa decisão passa, logicamente, pela questão do custo. Mas também estar intrinsecamente ligada à solução arquitectónica, pois são elementos fundamentais para a classificação as formas de abertura de um determinado vão e como também a dimensão do vão. Ou seja, um determinado perfil poderia ser classificado como uma classe superior para um determinado limite de altura do vão e não o será caso o projecto de arquitectura determine um vão com altura superior a este limite pré estabelecido.

#### 6.1.1.5 Alteração das características físicas dos vãos envidraçados

A próxima simulação consistiu em usar a melhor solução encontrada até então, ou seja, envolvente opaca em steel frame coberta com coeficiente de transmissão térmica  $U = 0.29 \text{ W/ m}^2\cdot\text{°C}$  e classe de caixilho 3. E, usando essas características construtivas, alterar os coeficientes  $U$  e o factor  $g_{\perp}$  do vidro.

Tabela 27: Simulação para diferentes soluções de vãos envidraçados

<b>VARIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO VIDRO</b>						
SOLUÇÃO	U VIDRO	$g_{\perp}$ VIDRO	NIC	NVC	NAC	NTC
1	3,32	0,75	52,17	3,81	14,47	1,80
2	2,7	0,75	45,16	4,77	14,47	1,74
3	1,9	0,70	36,37	5,84	14,47	1,66
4	1,3	0,75	30,04	7,98	14,47	1,62

A Tabela 27 mostra a evolução das necessidades energéticas em função da melhoria das condições dos vãos envidraçados.

O Gráfico 10 representa a curva de desempenho das necessidades de energia primária em função das características do vidro.

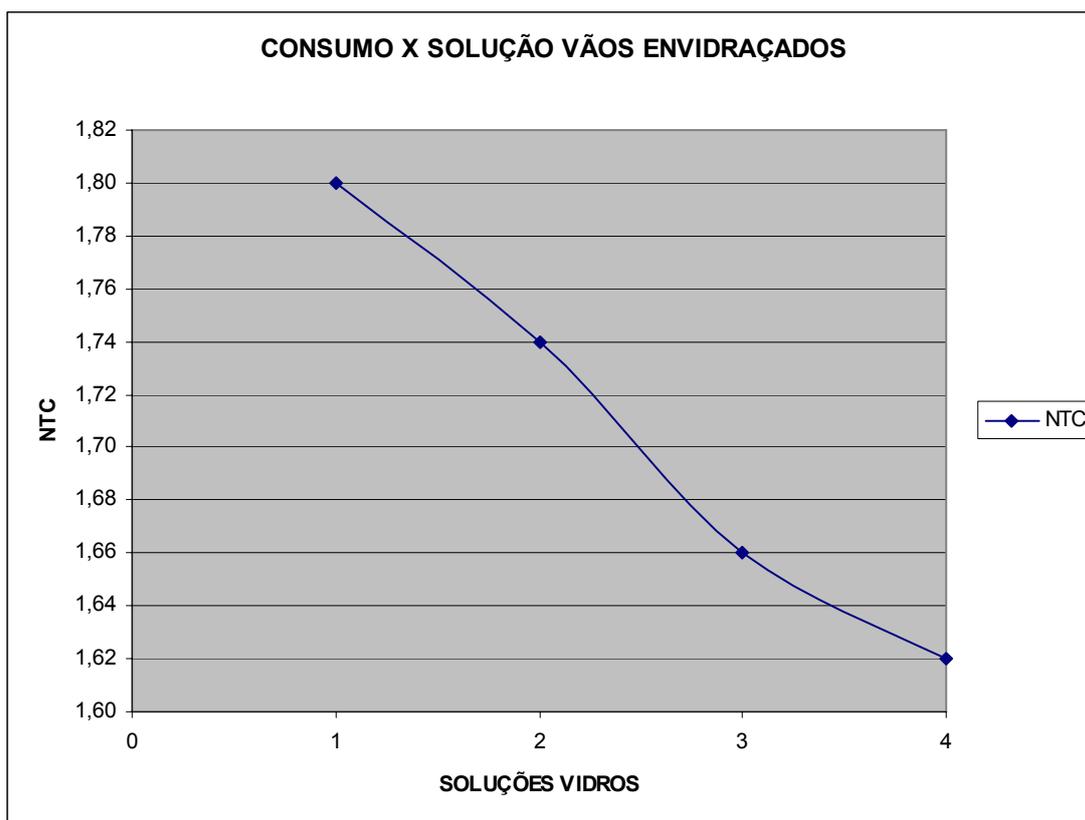


Gráfico 10: Consumo x solução dos vãos envidraçados

É possível perceber, com esta simulação, que a redução das perdas pela envolvente envidraçada é fundamental para que se consiga alcançar uma melhor performance energética do edifício estudado.

Partindo da equação das perdas pela envolvente, e admitindo como variáveis apenas as perdas da envolvente opaca vertical e dos vãos envidraçados, e os demais elementos como constantes, poderíamos definir como equação de equilíbrio e que relacionasse a área de envolvente opaca com a área de envolvente envidraçada, a relação entre seus coeficientes de condutibilidade térmicas. Admitindo o pressuposto que deveria haver um equilíbrio de perdas nas duas superfícies podemos escrever que:

$$\text{Área}_{\text{opaca}} \cdot U_{\text{opaca}} = \text{Área}_{\text{envidraçados}} \cdot U_{\text{envidraçados}}$$

Desta relação podemos definir que o coeficiente U dos vãos envidraçados, teoricamente, nunca deveria ultrapassar o valor de:

$$U_{\text{envidraçado Max teórico}} = (U_{\text{opaca}}) / (A_{\text{env}} / A_{\text{opaca}}) \quad \text{Eq (64)}$$

Onde:

$A_{\text{env}}$  = Área dos vãos envidraçados

$A_{\text{opaca}}$  = Área da envolvente vertical opaca

Com esta relação, seria possível, teoricamente, determinar o valor de U dos envidraçados para uma situação ideal.

No caso em estudo, a relação entre as áreas dos envidraçados e opaca é de 0.5322. O U teórico estimado do vidro para solução em Steel frame seria de (0.27 / 0.5322) que será de 0.5073 W /m2.°C. É claramente inferior às soluções apresentadas no nosso caso, o que corresponde a uma relação equivocada de áreas, visto que na melhor situação estudada o valor de U dos vãos envidraçados é de 1.3 W / m2.°C, a relação ideal de áreas para o Steel frame seria de 20.76 %. Mas, como foi dito acima, esse seria o valor óptimo, visto que todas as simulações cumprem os requisitos do RCCTE. No caso do programa europeu Passive House, as recomendações são as seguintes:  $U_{\text{opaco}} \leq 0.15$  W /m2.°C e  $U_{\text{envidraçados}} \leq 0.80$  W /m2.°C , o que nos fornece uma relação ideal entre áreas de 18.75% . É fundamental, também, salientar a relação entre área de vão envidraçado e área de piso ao qual o vão serve como fonte de luz. É importante que a área de envidraçado ronde os 30% da área de piso servida pois, caso contrário o consumo de iluminação artificial aumentará bastante. A EPA<sup>53</sup> ,no seu programa Energy Star , recomenda que a área de envidraçado represente entre 10 e 25 % da área de envolvente exterior e que, paralelamente, represente entre 30 a 35 % da área do piso a que serve. O grande problema, no que tange aos envidraçados, é que a arquitectura actual abusa dos vidros, principalmente a partir do momento em que a tecnologia possibilitou a criação de panos enormes de fachadas vidradas. Com isso, estas relações de áreas descritas acima nunca são cumpridas, fazendo com que seja necessário um alto consumo energético para dotar o ambiente interior de condições de conforto.

---

<sup>53</sup> EPA (Environmental Protection Agency) agência americana para protecção ao ambiente

### 6.1.1.6 Alteração da localização dos vãos envidraçados

Com a finalidade de mensurar os ganhos de performance energética em função da localização dos vãos envidraçados, foi feita uma simulação para comparar o posicionamento inicial dos vãos com alternativas onde apenas eram alteradas as posições das aberturas, sendo sempre mantidas as áreas das mesmas. A Tabela 28 e o Gráfico 11 mostram o comportamento das necessidades de energia primária em função do posicionamento dos vãos.

Tabela 28: Simulação em função da localização dos vãos envidraçados

LOCALIZAÇÃO DOS VÃOS ENVIDRAÇADOS				
NE	SW	NW	NTC	SOLUÇÕES
31,72	24,15	3,34	1,62	INICIAL
24,15	31,72	3,34	1,59	OPÇÃO 1
24,15	3,34	31,72	1,70	OPÇÃO 2
3,34	24,15	31,72	1,62	OPÇÃO 3
3,34	31,72	24,15	1,59	OPÇÃO 4

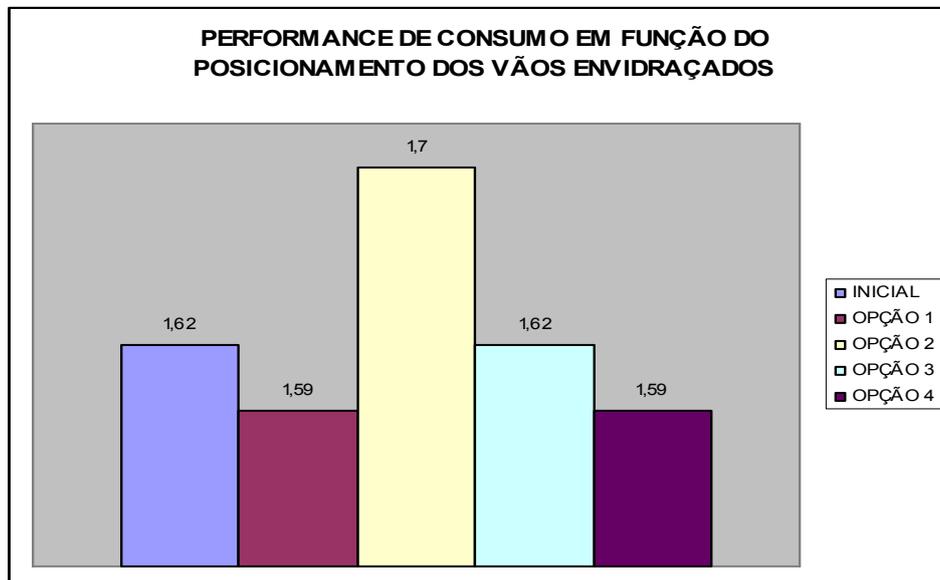


Gráfico 11: Performance em função do posicionamento dos vãos envidraçados

É possível concluir, através desta simulação, pela importância do posicionamento dos vãos para o resultado das necessidades energéticas da moradia. Isso faz com que seja primordial o estudo prévio do posicionamento dos vãos numa interação da arquitetura com a física da construção.

#### 6.1.1.7 Conclusões do estudo

A primeira parte do referido estudo, que é o foco deste trabalho, permitiu definir os consumos das soluções da envolvente opaca possibilitando, assim, o estudo da sustentabilidade de cada solução que será apresentado a seguir, neste trabalho.

A segunda parte do estudo permitiu comprovar que, no caso desta habitação, era possível reduzir as necessidades de energia primária de 1.96 Kgep/m<sup>2</sup>.ano para 1.59 Kgep/m<sup>2</sup>.ano, o que corresponde a uma possível economia de 18% nos consumos (o que representa uma enormidade no parque construído de qualquer país). A amplitude destas reduções é, obviamente, reduzidas em função do pressuposto estabelecido no estudo de não alterar a configuração do projecto bem como da orientação do lote onde está inserido. Caso esses elementos tivessem sido objecto de análise, seria claramente maior o resultado das possíveis reduções de consumos conseguidas. Fica claro, com isso, que já não se pode mais projectar sem essa preocupação.

Essa preocupação não passa simplesmente pelo cumprimento de regulamentos (neste caso o RCCTE, que claramente é um passo a frente nesta questão). Mas sim é necessário também que se tente soluções de engenharia que consigam dotar as habitações de conforto com consumos energéticos os mais baixos possíveis.

### 6.2 Estudo de sustentabilidade da envolvente vertical opaca

Como o foco deste trabalho é o estudo específico da envolvente vertical opaca, as análises de agora em diante serão centradas nesta vertente.

#### 6.2.1 Estudo ambiental

O estudo de impacto ambiental das soluções construtivas para envolvente opaca consistiu em quantificar as emissões de cada solução construtiva em causa. Para tal, foi necessário estudar individualmente as emissões de cada material componente das respectivas soluções. Os impactos estudados foram: Potencial de acidificação, potencial de eutrofização, potencial de aquecimento global e Potencial de oxidação fotoquímica (SMOG). Na generalidade dos materiais foi utilizado o banco de dados do Software americano BEES (Building for Environmental and Economic Sustainability) na sua versão 4.0, com excepção do poliestireno e do tijolo cerâmico furado, em que os dados foram conseguidos através da base de dados do Life-Cycle Inventory (LCI) “Ecoinvent”. Os dados obtidos através do LCI tiveram que ser equalizados para as unidades utilizadas pelo BEES. Essa equalização foi feita através das tabelas de

equivalência do próprio BEES, que são parte integrante deste trabalho no capítulo da sustentabilidade. Foi desconsiderada, para todas as soluções, a pintura das superfícies de ambas as faces. Isto porque, como seria contabilizada de forma igual para todas as soluções, tem peso numa visão absoluta mas é desprezível quando analisada de forma relativa.

Os tempos de ciclo de vida de cada produto são diferentes e ponderados quando quantificadas as suas emissões.

#### 6.2.1.1 Impactos da Solução 1

Vale recordar que a solução 1 consiste numa parede simples em betão com 20 cm de espessura isolada pelo exterior em poliestireno de 5cm de espessura, apresentando ambas as faces rebocadas. É importante salientar que a parede foi considerada maciça em betão, pois a taxa de aço por m<sup>3</sup> pode ser variável e, como a sua área é muito pequena quando comparada com a área de betão da secção, é razoável dizer que as emissões do betão e do aço seriam correspondentes em função do pouco espaço ocupado pelo aço dentro da secção.

##### 6.2.1.1.1 Impactos do Poliestireno

O estudo do poliestireno baseia-se numa unidade funcional de 1 kg do produto produzido. A Tabela 29 mostra os impactos do produto com as suas respectivas unidades.

Tabela 29: Impactos do poliestireno

<b>IMPACTOS POLESTIRENO</b>		
UNIDADE FUNCIONAL: KG		
IMPACTO	VALOR	UNIDADE
POTENCIAL DE ACIDIFICAÇÃO	0,7770	KG H+
POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO	0,0146	KG N
POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL	9,6000	KG CO2
POTENCIAL DE OXIDAÇÃO FOTOQUÍMICA (SMOG)	0,0025	KG NOX

A unidade funcional do produto é de 1kg e a unidade funcional das soluções construtivas é de 1m<sup>2</sup>. Para que haja uma equivalência dos impactos na unidade funcional da solução é necessário contabilizar o consumo de unidades funcionais do produto na unidade funcional da solução. O poliestireno em causa apresenta uma densidade de 32 kg/m<sup>3</sup> e uma espessura de 0.05 m, o que corresponde a um consumo de 1.6 kg/m<sup>2</sup>. Este consumo tem que ser multiplicado pelo factor unitário de cada impacto do material, a fim de determinar cada impacto do material na solução construtiva.

#### 6.2.1.1.2 Impactos do betão

Foi considerada como unidade funcional do betão 0.027 m<sup>3</sup>. A Tabela 30 mostra os impactos do produto para esta unidade funcional.

Tabela 30: Impactos do betão

<b>IMPACTOS BETÃO</b>		
UNIDADE FUNCIONAL: 0,027 M3		
IMPACTO	VALOR	UNIDADE
POTENCIAL DE ACIDIFICAÇÃO	0,00192	KG H+
POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO	0,00142	KG N
POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL	6,55000	KG CO2
POTENCIAL DE OXIDAÇÃO FOTOQUÍMICA (SMOG)	0,03730	KG NOX

Como a espessura da parede é de 0.20 m, isso implica num factor de correlação de 0.2 m<sup>3</sup> de betão por m<sup>2</sup> de parede pronta. E como a unidade funcional do betão é de 0.027 m<sup>3</sup>, o consumo de unidades funcionais do produto por unidade de solução é de 7.41 unidades.

#### 6.2.1.1.3 Impactos do reboco

Os impactos do reboco foram estudados para uma unidade funcional de 0.09 m<sup>2</sup>, conforme mostra a Tabela 31

Tabela 31: Impactos do reboco

<b>IMPACTOS REBOCO</b>		
UNIDADE FUNCIONAL: 0,09 M2		
IMPACTO	VALOR	UNIDADE
POTENCIAL DE ACIDIFICAÇÃO	0,00039	KG H+
POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO	0,00030	KG N
POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL	1,43000	KG CO2
POTENCIAL DE OXIDAÇÃO FOTOQUÍMICA (SMOG)	0,00758	KG NOX

Por relação directa é possível concluir que o consumo de unidades funcionais do reboco por unidades da solução é de  $1/0.09 = 11.11$  unidades. É importante salientar que na solução o reboco é contabilizado duas vezes por aparecer em ambas as faces. Poderia haver um pequeno desvio entre soluções para o exterior e interior mas que no estudo foi desconsiderado.

#### 6.2.1.1.4 Impactos globais da solução construtiva por unidade funcional

Os impactos da solução construtiva são apresentados na Tabela 32

Tabela 32: Impactos solução 1

<b>IMPACTOS DA SOLUÇÃO 1</b>				
UNIDADE FUNCIONAL DA SOLUÇÃO: 1M2				
MATERIAL: POLIESTIRENO				
UNIDADE FUNCIONAL DO MATERIAL: KG				
FACTOR DE CORRELAÇÃO: DENSIDADE 32 KG/M3				
ESPESSURA DA CAMADA = 0,05 M				
CONSUMO = 1,6 UNID. FUNC. MATERIAL/ UNID. FUNC. SOLUÇÃO				
IMPACTO	UNITÁRIO MATERIAL	CONSUMO	UNITÁRIO SOLUÇÃO	UNIDADE
POTENCIAL DE ACIDIFICAÇÃO	0,7770	1,60	1,24320	KG H+
POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO	0,0146	1,60	0,02336	KG N
POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL	9,6000	1,60	15,36000	KG CO2
POTENCIAL DE OXIDAÇÃO FOTOQUÍMICA (SMOG)	0,0025	1,60	0,00406	KG NOX

<b>MATERIAL: BETÃO</b>				
UNIDADE FUNCIONAL DO MATERIAL: 0,027 M3				
FACTOR DE CORRELAÇÃO: 0,2 M3/M2				
ESPESSURA DA CAMADA = 0,2 M				
CONSUMO = 7,41 UNID. FUNC. MATERIAL/ UNID. FUNC. SOLUÇÃO				
IMPACTO	UNITÁRIO MATERIAL	CONSUMO	UNITÁRIO SOLUÇÃO	UNIDADE
POTENCIAL DE ACIDIFICAÇÃO	0,00192	7,41	0,01423	KG H+
POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO	0,00142	7,41	0,01052	KG N
POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL	6,55000	7,41	48,53550	KG CO2
POTENCIAL DE OXIDAÇÃO FOTOQUÍMICA (SMOG)	0,03730	7,41	0,27639	KG NOX
<b>MATERIAL: REBOCO</b>				
UNIDADE FUNCIONAL DO MATERIAL: 0,09 M2				
CONSUMO = 11,11 UNID. FUNC. MATERIAL/ UNID. FUNC. SOLUÇÃO				
IMPACTO	UNITÁRIO MATERIAL	CONSUMO	UNITÁRIO SOLUÇÃO	UNIDADE
POTENCIAL DE ACIDIFICAÇÃO	0,00039	11,11	0,00873	KG H+
POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO	0,00030	11,11	0,00669	KG N
POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL	1,43000	11,11	31,77460	KG CO2
POTENCIAL DE OXIDAÇÃO FOTOQUÍMICA (SMOG)	0,00758	11,11	0,16843	KG NOX
<b>IMPACTOS GLOBAIS DA SOLUÇÃO POR UNIDADE FUNCIONAL</b>				
IMPACTO			VALOR	UNIDADE
POTENCIAL DE ACIDIFICAÇÃO			1,26616	KG H+
POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO			0,04057	KG N
POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL			95,67010	KG CO2
POTENCIAL DE OXIDAÇÃO FOTOQUÍMICA (SMOG)			0,44888	KG NOX

### 6.2.1.2 Impactos da Solução 2

A segunda solução construtiva é composta por uma parede simples de alvenaria de tijolo furado com espessura de 0.22 m isolada pelo exterior em poliestireno com espessura de 0.05 m, apresentando ambas as faces rebocadas. Em relação à solução, 1 será suprimido o impacto da parede em betão e acrescentado o da parede em alvenaria, que é composta pelas parcelas do tijolo e da argamassa de assentamento.

#### 6.2.1.2.1 Impactos do tijolo cerâmico de 0.22m de espessura

A unidade funcional utilizada para análise dos impactos do tijolo foi o kg do produto, como demonstra a Tabela 33. Para equalizar a unidade funcional do produto com a unidade funcional da solução, que é sempre de 1 m2, foi necessário obter o peso de cada tijolo e o consumo de tijolos por m2 de alvenaria pronta. O peso de cada tijolo dessa

espessura do fabricante estudado, que no caso foi a PRECERAM<sup>54</sup>, representa 8 kg por unidade. E o consumo por m<sup>2</sup> incluindo, perda de 5%, é de 16.8 unidades, o que corresponde a um total de 134.40 kg de produto por cada m<sup>2</sup> da solução.

Tabela 33: Impactos tijolo

<b>IMPACTOS TIJOLO CERÂMICO</b>		
UNIDADE FUNCIONAL: KG		
IMPACTO	VALOR	UNIDADE
POTENCIAL DE ACIDIFICAÇÃO	0,02800	KG H+
POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO	0,00049	KG N
POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL	0,22000	KG CO <sub>2</sub>
POTENCIAL DE OXIDAÇÃO FOTOQUÍMICA (SMOG)	0,00012	KG NOX

#### 6.2.1.2.2 Impactos da argamassa de assentamento

A unidade funcional utilizada para a argamassa de assentamento foi o m<sup>3</sup>, como é apresentado na Tabela 34. O consumo de argamassa por m<sup>2</sup> de solução construtiva é função da espessura do tijolo e representa 0.019 m<sup>3</sup> de argamassa por m<sup>2</sup> de parede pronta.

Tabela 34: Impactos argamassa de assentamento

<b>IMPACTOS ARGAMASSA À BASE DE CIMENTO PORTLAND</b>		
UNIDADE FUNCIONAL: 1 M <sup>3</sup>		
IMPACTO	VALOR	UNIDADE
POTENCIAL DE ACIDIFICAÇÃO	0,19848	KG H+
POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO	0,15202	KG N
POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL	722,22150	KG CO <sub>2</sub>
POTENCIAL DE OXIDAÇÃO FOTOQUÍMICA (SMOG)	3,82828	KG NOX

<sup>54</sup> PRECERAM, empresa portuguesa dedicada à produção de produtos cerâmicos certificados para a indústria da construção

### 6.2.1.2.3 Impactos globais da solução construtiva por unidade funcional

Os impactos globais são apresentados na Tabela 35

Tabela 35: Impactos globais solução 2

<b>IMPACTOS DA SOLUÇÃO 2</b>				
<b>UNIDADE FUNCIONAL DA SOLUÇÃO: 1M2</b>				
<b>MATERIAL: POLIESTIRENO</b>				
UNIDADE FUNCIONAL DO MATERIAL: KG				
FACTOR DE CORRELAÇÃO: DENSIDADE 32 KG/M3				
ESPESSURA DA CAMADA = 0,05 M				
CONSUMO = 1,6 UNID. FUNC. MATERIAL/ UNID. FUNC. SOLUÇÃO				
IMPACTO	UNITÁRIO MATERIAL	CONSUMO	UNITÁRIO SOLUÇÃO	UNIDADE
POTENCIAL DE ACIDIFICAÇÃO	0,7770	1,60	1,24320	KG H+
POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO	0,0146	1,60	0,02336	KG N
POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL	9,6000	1,60	15,36000	KG CO2
POTENCIAL DE OXIDAÇÃO FOTOQUÍMICA (SMOG)	0,0025	1,60	0,00406	KG NOX
<b>MATERIAL: TIJOLO CERÂMICO</b>				
UNIDADE FUNCIONAL DO MATERIAL: KG				
FACTOR DE CORRELAÇÃO: 16,8 UNID/M2				
PESO POR PEÇA = 8 KG				
CONSUMO = 134,40 UNID. FUNC. MATERIAL/ UNID. FUNC. SOLUÇÃO				
IMPACTO	UNITÁRIO MATERIAL	CONSUMO	UNITÁRIO SOLUÇÃO	UNIDADE
POTENCIAL DE ACIDIFICAÇÃO	0,02800	134,40	3,76320	KG H+
POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO	0,00049	134,40	0,06586	KG N
POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL	0,22000	134,40	29,56800	KG CO2
POTENCIAL DE OXIDAÇÃO FOTOQUÍMICA (SMOG)	0,00012	134,40	0,01613	KG NOX
<b>MATERIAL: ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO</b>				
UNIDADE FUNCIONAL DO MATERIAL: 1 M3				
FACTOR DE CORRELAÇÃO: 0,019 M3/M2				
CONSUMO = 0,019 UNID. FUNC. MATERIAL/ UNID. FUNC. SOLUÇÃO				
IMPACTO	UNITÁRIO MATERIAL	CONSUMO	UNITÁRIO SOLUÇÃO	UNIDADE
POTENCIAL DE ACIDIFICAÇÃO	0,19848	0,019	0,00377	KG H+
POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO	0,15202	0,019	0,00289	KG N
POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL	722,22150	0,019	13,72221	KG CO2
POTENCIAL DE OXIDAÇÃO FOTOQUÍMICA (SMOG)	3,82828	0,019	0,07274	KG NOX

<b>MATERIAL: REBOCO</b>				
UNIDADE FUNCIONAL DO MATERIAL: 0,09 M2				
CONSUMO = 11,11 UNID. FUNC. MATERIAL/ UNID. FUNC. SOLUÇÃO				
IMPACTO	UNITÁRIO MATERIAL	CONSUMO	UNITÁRIO SOLUÇÃO	UNIDADE
POTENCIAL DE ACIDIFICAÇÃO	0,00039	11,11	0,00873	KG H+
POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO	0,00030	11,11	0,00669	KG N
POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL	1,43000	11,11	31,77460	KG CO2
POTENCIAL DE OXIDAÇÃO FOTOQUÍMICA (SMOG)	0,00758	11,11	0,16843	KG NOX
<b>IMPACTOS GLOBAIS DA SOLUÇÃO POR UNIDADE FUNCIONAL</b>				
IMPACTO			VALOR	UNIDADE
POTENCIAL DE ACIDIFICAÇÃO			5,01890	KG H+
POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO			0,09879	KG N
POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL			90,42481	KG CO2
POTENCIAL DE OXIDAÇÃO FOTOQUÍMICA (SMOG)			0,26136	KG NOX

### 6.2.1.3 Impactos da Solução 3

A solução 3 consiste num pano duplo de alvenaria de tijolo cerâmico furado, com caixa-de-ar de 6 cm entre panos parcialmente preenchida por poliestireno com 5 cm de espessura. Um pano elevado com tijolos de 15 cm de espessura e o segundo pano com tijolos de 11 cm de espessura. A alvenaria apresenta ambas as faces acessíveis rebocadas.

Em relação à solução construtiva 2, os produtos constituintes são os mesmos, o que representa impactos de produtos iguais. O que muda é o impacto do tijolo na solução construtiva, visto que sai um pano de 22 cm e entram dois: um de 15 cm e um de 11 cm. Na tabela 36 pode perceber-se a contribuição de cada um desses panos na unidade funcional da parede pronta. Outro impacto diferente é o consumo maior de argamassa de assentamento.

No que concerne ao tijolo de 15 cm, o peso por unidade de tijolo é de 5.3 kg e o rendimento é de 16.8 unidades/m<sup>2</sup>, o que implica o consumo global de 89.04 kg de tijolo/ m<sup>2</sup> de parede pronta. No caso do tijolo de 11 cm, o peso unitário é de 4 kg e o rendimento também é de 16.8 unidades/ m<sup>2</sup> de parede pronta, gerando um consumo de 67.20 kg de tijolo / m<sup>2</sup> de alvenaria pronta. A argamassa de assentamento, como é função das espessuras, apresenta um rendimento de 0.009 m<sup>3</sup>/ m<sup>2</sup> de parede para a alvenaria de 11 cm e de 0.013 m<sup>3</sup>/ m<sup>2</sup> de parede para a alvenaria de 15 cm, gerando um consumo global para a solução de 0.022 m<sup>3</sup>/ m<sup>2</sup> de parede pronta.

### 6.2.1.3.1 Impactos globais da solução construtiva por unidade funcional

A Tabela 36 Representam os impactos de cada componente e os globais da solução construtiva 3

Tabela 36: Impactos globais solução 3

<b>IMPACTOS DA SOLUÇÃO 3</b>				
<b>UNIDADE FUNCIONAL DA SOLUÇÃO: 1M2</b>				
<b>MATERIAL: POLIESTIRENO</b>				
UNIDADE FUNCIONAL DO MATERIAL: KG				
FACTOR DE CORRELAÇÃO: DENSIDADE 32 KG/M3				
ESPESSURA DA CAMADA = 0,05 M				
CONSUMO = 1,6 UNID. FUNC. MATERIAL/ UNID. FUNC. SOLUÇÃO				
IMPACTO	UNITÁRIO MATERIAL	CONSUMO	UNITÁRIO SOLUÇÃO	UNIDADE
POTENCIAL DE ACIDIFICAÇÃO	0,7770	1,60	1,24320	KG H+
POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO	0,0146	1,60	0,02336	KG N
POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL	9,6000	1,60	15,36000	KG CO2
POTENCIAL DE OXIDAÇÃO FOTOQUÍMICA (SMOG)	0,0025	1,60	0,00406	KG NOX
<b>MATERIAL: TIJOLO CERÂMICO 15</b>				
UNIDADE FUNCIONAL DO MATERIAL: KG				
FACTOR DE CORRELAÇÃO: 16,8 UNID/M2				
PESO POR PEÇA = 5,3 KG				
CONSUMO = 89,04 UNID. FUNC. MATERIAL/ UNID. FUNC. SOLUÇÃO				
IMPACTO	UNITÁRIO MATERIAL	CONSUMO	UNITÁRIO SOLUÇÃO	UNIDADE
POTENCIAL DE ACIDIFICAÇÃO	0,02800	89,04	2,49312	KG H+
POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO	0,00049	89,04	0,04363	KG N
POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL	0,22000	89,04	19,58880	KG CO2
POTENCIAL DE OXIDAÇÃO FOTOQUÍMICA (SMOG)	0,00012	89,04	0,01068	KG NOX
<b>MATERIAL: TIJOLO CERÂMICO 11</b>				
UNIDADE FUNCIONAL DO MATERIAL: KG				
FACTOR DE CORRELAÇÃO: 16,8 UNID/M2				
PESO POR PEÇA = 4 KG				
CONSUMO = 67,20 UNID. FUNC. MATERIAL/ UNID. FUNC. SOLUÇÃO				
IMPACTO	UNITÁRIO MATERIAL	CONSUMO	UNITÁRIO SOLUÇÃO	UNIDADE
POTENCIAL DE ACIDIFICAÇÃO	0,02800	67,20	1,88160	KG H+
POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO	0,00049	67,20	0,03293	KG N
POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL	0,22000	67,20	14,78400	KG CO2
POTENCIAL DE OXIDAÇÃO FOTOQUÍMICA (SMOG)	0,00012	67,20	0,00806	KG NOX

<b>MATERIAL: ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO</b>				
UNIDADE FUNCIONAL DO MATERIAL: 1 M3				
FACTOR DE CORRELAÇÃO: 0,022 M3/M2				
CONSUMO = 0,022 UNID. FUNC. MATERIAL/ UNID. FUNC. SOLUÇÃO				
IMPACTO	UNITÁRIO MATERIAL	CONSUMO	UNITÁRIO SOLUÇÃO	UNIDADE
POTENCIAL DE ACIDIFICAÇÃO	0,19848	0,022	0,00437	KG H+
POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO	0,15202	0,022	0,00334	KG N
POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL	722,22150	0,022	15,88887	KG CO2
POTENCIAL DE OXIDAÇÃO FOTOQUÍMICA (SMOG)	3,82828	0,022	0,08422	KG NOX
<b>MATERIAL: REBOCO</b>				
UNIDADE FUNCIONAL DO MATERIAL: 0,09 M2				
CONSUMO = 11,11 UNID. FUNC. MATERIAL/ UNID. FUNC. SOLUÇÃO				
IMPACTO	UNITÁRIO MATERIAL	CONSUMO	UNITÁRIO SOLUÇÃO	UNIDADE
POTENCIAL DE ACIDIFICAÇÃO	0,00039	11,11	0,00873	KG H+
POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO	0,00030	11,11	0,00669	KG N
POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL	1,43000	11,11	31,77460	KG CO2
POTENCIAL DE OXIDAÇÃO FOTOQUÍMICA (SMOG)	0,00758	11,11	0,16843	KG NOX
<b>IMPACTOS GLOBAIS DA SOLUÇÃO POR UNIDADE FUNCIONAL</b>				
IMPACTO			VALOR	UNIDADE
POTENCIAL DE ACIDIFICAÇÃO			5,63102	KG H+
POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO			0,10995	KG N
POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL			97,39627	KG CO2
POTENCIAL DE OXIDAÇÃO FOTOQUÍMICA (SMOG)			0,27546	KG NOX

#### 6.2.1.4 Impactos da Solução 4

A solução 4 consiste numa parede estruturada em aço enformado a frio, com espessura de 15 cm, preenchida parcialmente em seu interior por lã de rocha com 8 cm de espessura, vedada na face exterior por placa OSB e na face interior por placa de gesso cartonado, isolada pelo exterior em poliestireno de 5 cm de espessura e rebocada em ambas as faces.

Os impactos de produtos ainda não apresentados nas soluções anteriores são: A estrutura em aço enformado a frio, a placa OSB, a placa em gesso cartonado e a lã de rocha que são descritos a seguir.

#### 6.2.1.4.1 Impactos da estrutura em aço enformado a frio

A unidade funcional usada foi 0.09 m<sup>2</sup>. O que corresponde a um consumo de 11.11 unidades funcionais do produto por unidade funcional da solução. A Tabela 37 apresenta os impactos deste produto.

Tabela 37: Impactos estrutura em aço enformado a frio

<b>IMPACTOS ESTRUTURA EM AÇO ENFORMADO A FRIO</b>		
UNIDADE FUNCIONAL: 0,09 M2		
IMPACTO	VALOR	UNIDADE
POTENCIAL DE ACIDIFICAÇÃO	0,00014	KG H+
POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO	0,00014	KG N
POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL	0,56400	KG CO2
POTENCIAL DE OXIDAÇÃO FOTOQUÍMICA (SMOG)	0,00186	KG NOX

#### 6.2.1.4.2 Impactos da lã de rocha

A unidade funcional do produto foi 1 kg. Os consumos na unidade funcional da solução foram conseguidos através da densidade do produto especificado (que é de 64 kg/m<sup>3</sup>) e a espessura real usada (que é de 7.9 cm), o que fornece um consumo de 5.06 kg de produto por m<sup>2</sup> de parede pronta.

A Tabela 38 representa os impactos deste produto.

Tabela 38: Impactos lã de rocha

<b>IMPACTOS LÃ DE ROCHA</b>		
UNIDADE FUNCIONAL: 1 KG		
IMPACTO	VALOR	UNIDADE
POTENCIAL DE ACIDIFICAÇÃO	0,00012	KG H+
POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO	0,00006	KG N
POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL	0,24800	KG CO2
POTENCIAL DE OXIDAÇÃO FOTOQUÍMICA (SMOG)	0,00166	KG NOX

#### 6.2.1.4.3 Impactos da placa OSB

A unidade funcional estudada foi de 0.09 m<sup>2</sup>, o que fornece um consumo directo de 11.11 unidades funcionais do produto por m<sup>2</sup> de parede pronta.

A Tabela 39 representa os impactos gerados por este produto.

Tabela 39: Impactos placa OSB

<b>IMPACTOS PLACA OSB</b>		
UNIDADE FUNCIONAL: 0,09 M2		
IMPACTO	VALOR	UNIDADE
POTENCIAL DE ACIDIFICAÇÃO	0,00126	KG H+
POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO	0,00166	KG N
POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL	0,84600	KG CO2
POTENCIAL DE OXIDAÇÃO FOTOQUÍMICA (SMOG)	0,03660	KG NOX

#### 6.2.1.4.4 Impactos da placa de gesso cartonado

A unidade funcional usada para mensurar os impactos foi de 0.09 m<sup>2</sup>, o que gera o consumo directo de 11.11 unidades funcionais do produto por unidade funcional da solução construtiva.

A Tabela 40 representa os impactos deste material.

Tabela 40: Impactos placa de gesso cartonado

<b>IMPACTOS PLACA GESSO CARTONADO</b>		
UNIDADE FUNCIONAL: 0,09 M2		
IMPACTO	VALOR	UNIDADE
POTENCIAL DE ACIDIFICAÇÃO	0,00084	KG H+
POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO	0,00067	KG N
POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL	1,99000	KG CO2
POTENCIAL DE OXIDAÇÃO FOTOQUÍMICA (SMOG)	0,00595	KG NOX

#### 6.2.1.4.5 Impactos globais da solução construtiva por unidade funcional

A Tabela 41 Representa os impactos por produto e os impactos globais da solução construtiva estudada.

Tabela 41: Impactos globais solução 4

<b>IMPACTOS DA SOLUÇÃO 4</b>				
<b>UNIDADE FUNCIONAL DA SOLUÇÃO: 1M2</b>				
<b>MATERIAL: POLIESTIRENO</b>				
UNIDADE FUNCIONAL DO MATERIAL: KG				
FACTOR DE CORRELAÇÃO: DENSIDADE 32 KG/M3				
ESPESSURA DA CAMADA = 0,05 M				
CONSUMO = 1,6 UNID. FUNC. MATERIAL/ UNID. FUNC. SOLUÇÃO				
IMPACTO	UNITÁRIO MATERIAL	CONSUMO	UNITÁRIO SOLUÇÃO	UNIDADE
POTENCIAL DE ACIDIFICAÇÃO	0,7770	1,60	1,24320	KG H+
POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO	0,0146	1,60	0,02336	KG N
POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL	9,6000	1,60	15,36000	KG CO2
POTENCIAL DE OXIDAÇÃO FOTOQUÍMICA (SMOG)	0,0025	1,60	0,00406	KG NOX
<b>MATERIAL: ESTRUTURA EM AÇO ENFORMADO A FRIO</b>				
UNIDADE FUNCIONAL DO MATERIAL: 0,09 M2				
CONSUMO = 11,11 UNID. FUNC. MATERIAL/ UNID. FUNC. SOLUÇÃO				
IMPACTO	UNITÁRIO MATERIAL	CONSUMO	UNITÁRIO SOLUÇÃO	UNIDADE
POTENCIAL DE ACIDIFICAÇÃO	0,00014	11,11	0,00160	KG H+
POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO	0,00014	11,11	0,00153	KG N
POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL	0,56400	11,11	6,26604	KG CO2
POTENCIAL DE OXIDAÇÃO FOTOQUÍMICA (SMOG)	0,00186	11,11	0,02066	KG NOX
<b>MATERIAL: PLACA OSB</b>				
UNIDADE FUNCIONAL DO MATERIAL: 0,09 M2				
CONSUMO = 11,11 UNID. FUNC. MATERIAL/ UNID. FUNC. SOLUÇÃO				
IMPACTO	UNITÁRIO MATERIAL	CONSUMO	UNITÁRIO SOLUÇÃO	UNIDADE
POTENCIAL DE ACIDIFICAÇÃO	0,00126	11,11	0,01400	KG H+
POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO	0,00166	11,11	0,01844	KG N
POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL	0,84600	11,11	9,39906	KG CO2
POTENCIAL DE OXIDAÇÃO FOTOQUÍMICA (SMOG)	0,03660	11,11	0,40663	KG NOX
<b>MATERIAL: PLACA GESSO CARTONADO</b>				
UNIDADE FUNCIONAL DO MATERIAL: 0,09 M2				
CONSUMO = 11,11 UNID. FUNC. MATERIAL/ UNID. FUNC. SOLUÇÃO				
IMPACTO	UNITÁRIO MATERIAL	CONSUMO	UNITÁRIO SOLUÇÃO	UNIDADE
POTENCIAL DE ACIDIFICAÇÃO	0,00084	11,11	0,00928	KG H+
POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO	0,00067	11,11	0,00747	KG N
POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL	1,99000	11,11	22,10890	KG CO2
POTENCIAL DE OXIDAÇÃO FOTOQUÍMICA (SMOG)	0,00595	11,11	0,06610	KG NOX

<b>MATERIAL: LÃ DE ROCHA</b>				
UNIDADE FUNCIONAL DO MATERIAL: KG				
FACTOR DE CORRELAÇÃO: DENSIDADE 64 KG/M3				
ESPESSURA DA CAMADA = 0,079 M				
CONSUMO = 5,06 UNID. FUNC. MATERIAL/ UNID. FUNC. SOLUÇÃO				
IMPACTO	UNITÁRIO MATERIAL	CONSUMO	UNITÁRIO SOLUÇÃO	UNIDADE
POTENCIAL DE ACIDIFICAÇÃO	0,00012	5,06	0,00063	KG H+
POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO	0,00006	5,06	0,00032	KG N
POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL	0,24800	5,06	1,25488	KG CO2
POTENCIAL DE OXIDAÇÃO FOTOQUÍMICA (SMOG)	0,00166	5,06	0,00840	KG NOX
<b>MATERIAL: REBOCO</b>				
UNIDADE FUNCIONAL DO MATERIAL: 0,09 M2				
CONSUMO = 11,11 UNID. FUNC. MATERIAL/ UNID. FUNC. SOLUÇÃO				
IMPACTO	UNITÁRIO MATERIAL	CONSUMO	UNITÁRIO SOLUÇÃO	UNIDADE
POTENCIAL DE ACIDIFICAÇÃO	0,00039	11,11	0,00873	KG H+
POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO	0,00030	11,11	0,00669	KG N
POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL	1,43000	11,11	31,77460	KG CO2
POTENCIAL DE OXIDAÇÃO FOTOQUÍMICA (SMOG)	0,00758	11,11	0,16843	KG NOX
<b>IMPACTOS GLOBAIS DA SOLUÇÃO POR UNIDADE FUNCIONAL</b>				
IMPACTO			VALOR	UNIDADE
POTENCIAL DE ACIDIFICAÇÃO			1,27744	KG H+
POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO			0,05781	KG N
POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL			86,16348	KG CO2
POTENCIAL DE OXIDAÇÃO FOTOQUÍMICA (SMOG)			0,67429	KG NOX

#### 6.2.1.5 Normalização dos impactos

Para que se obtenha uma comparação efectiva do resultado dos impactos de cada solução, é necessário normalizar os resultados. Isto porque temos resultados de impactos em diferentes unidades e seria impossível mensurar de forma homogénea estes resultados sem antes normaliza-los.

São necessários dois passos a fim de normalizar os valores. O primeiro, consiste em atribuir pesos a cada um dos impactos. Este passo é de altíssima complexidade, pois cada região (e até cada avaliador) tenderá a valorizar aquilo que a sua realidade mais próxima eleja como mais importante. Exemplo disso seria numa região onde a chuva ácida é recorrente, ponderar com um peso maior a acidificação.

No caso deste trabalho, a valoração dos pesos obedeceu a Tabela 42.

Tabela 42: Pesos dos impactos

<b>TABELA DE PESOS DOS IMPACTOS</b>	
IMPACTO	PESO
POTENCIAL DE ACIDIFICAÇÃO	7,00%
POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO	14,00%
POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL	69,00%
POTENCIAL DE OXIDAÇÃO FOTOQUÍMICA (SMOG)	10,00%

O segundo passo consiste em, de alguma forma, retirar as unidades dos impactos. Neste trabalho vai ser usada, mais uma vez, a tabela constante da versão 4.0 do BEES, que é originária da Agência Americana de Energia. A Tabela 43 mostra as emissões per capita de cada impacto no Estados Unidos. Apesar de serem dados americanos e de as emissões serem infinitamente maiores que as portuguesas, os processos produtivos são, em muitos casos, semelhantes. Este facto permite assemelhar o resultado na sua proporcionalidade. E, como o que está em causa é uma questão de proporcionalidade estes números não serão distorcidos. Poderão sim diferentes em valores absolutos mas nunca em valores relativos. E como os resultados são números adimensionais, isto é ultrapassado e fornece-nos um resultado que representa a realidade portuguesa. Cabe, nesse aspecto, salientar que, em relação aos impactos dos materiais, foram sempre definidas nas alternativas de simulações distâncias de transportes próximas das realizadas para deslocamentos de materiais para uma obra situada na cidade do Porto. Isto porque no programa existe a opção de distâncias muito maiores que representam a realidade americana. E essas distâncias de transporte influenciam bastante as emissões finais do ciclo de vida de cada produto.

A tabela 43 representa essas emissões per capita americanas.

Tabela 43: Normalização dos impactos, fonte BEES 4.0

<b>TABELA DE NORMALIZAÇÃO DO BEES</b>	
IMPACTO	VALOR DE NORMALIZAÇÃO
POTENCIAL DE ACIDIFICAÇÃO	7.800.200.000,00 MILIMOL DE H+ EQUIVALENTE/ANO/PERCAPTA
POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO	19.214,20 g N EQUIVALENTE/ANO/PERCAPTA
POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL	25.582.640,09 g DE CO2 EQUIVALENTE/ANO/PERCAPTA
POTENCIAL DE OXIDAÇÃO FOTOQUÍMICA (SMOG)	150.500,03 g NOX EQUIVALENTE/ANO/PERCAPTA

Em posse desses dois elementos, o trabalho consistiu em tratar o valor de cada impacto atribuindo-lhe o peso do respectivo impacto e dividindo-o pela contribuição per capita deste mesmo impacto. Esta operação fornece como resultado um número adimensional, possibilitando assim a soma algébrica destes valores. As Tabelas de 44 a 47 e os Gráficos de 12 a 15 representam os resultados das soluções de 1 a 4 respectivamente.

Tabela 44: Pontuação ambiental solução 1

<b>PONTUAÇÃO AMBIENTAL DA SOLUÇÃO 1</b>					
IMPACTO	VALOR	UNIDADE	PESO	NORMALIZAÇÃO	SCORE
POTENCIAL DE ACIDIFICAÇÃO	1266,16	milimol H+	7,00	7800200000,00	0,00000
POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO	40,57	g N	14,00	19214,20	0,02956
POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL	95670,1	g CO2	69,00	25582640,09	0,25804
POTENCIAL DE OXIDAÇÃO FOTOQUÍMICA (SMOG)	448,88	g NOX	10,00	150500,03	0,02983
<b>TOTAL PONTOS</b>					<b>0,31742</b>

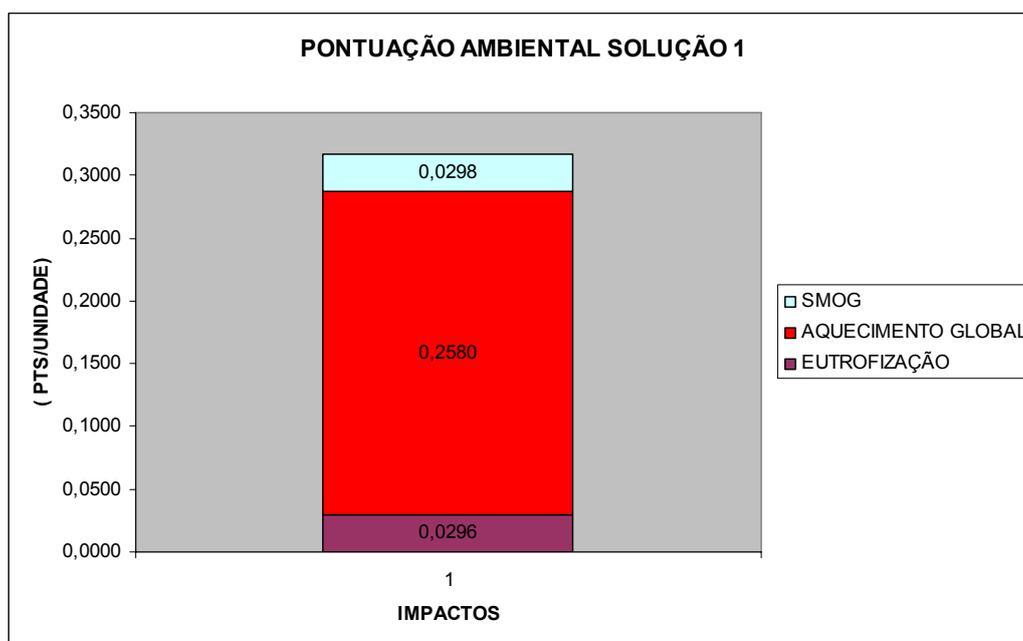


Gráfico 12: Pontuação ambiental solução 1

Tabela 45: Pontuação ambiental solução 2

<b>PONTUAÇÃO AMBIENTAL DA SOLUÇÃO 2</b>					
IMPACTO	VALOR	UNIDADE	PESO	NORMALIZAÇÃO	ESCORE
POTENCIAL DE ACIDIFICAÇÃO	5018,90000	milimol H+	7,00	7800200000,00	0,00000
POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO	98,79	g N	14,00	19214,20	0,07198
POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL	90424,81	g CO2	69,00	25582640,09	0,24389
POTENCIAL DE OXIDAÇÃO FOTOQUÍMICA (SMOG)	261,36	g NOX	10,00	150500,03	0,01737
<b>TOTAL PONTOS</b>					<b>0,33324</b>

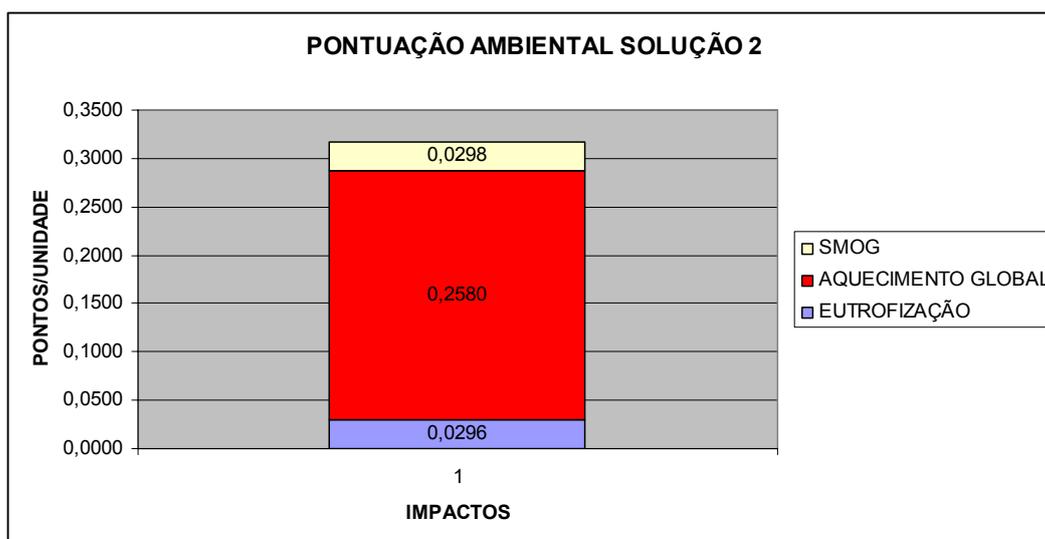


Gráfico 13: Pontuação ambiental solução 2

Tabela 46: Pontuação ambiental solução 3

<b>PONTUAÇÃO AMBIENTAL DA SOLUÇÃO 3</b>					
IMPACTO	VALOR	UNIDADE	PESO	NORMALIZAÇÃO	ESCORE
POTENCIAL DE ACIDIFICAÇÃO	5631,02	milimol H+	7,00	7800200000,00	0,00001
POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO	109,95	g N	14,00	19214,20	0,08011
POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL	97396,27	g CO2	69,00	25582640,09	0,26269
POTENCIAL DE OXIDAÇÃO FOTOQUÍMICA (SMOG)	275,46000	g NOX	10,00	150500,03	0,01830
<b>TOTAL PONTOS</b>					<b>0,36111</b>

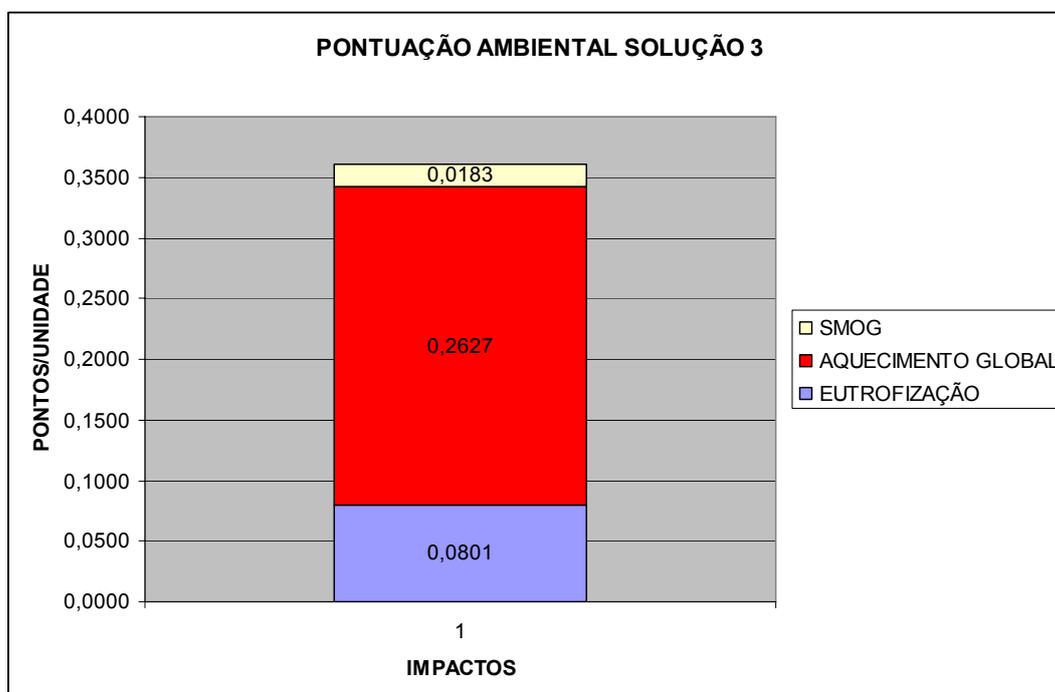


Gráfico 14: Pontuação ambiental solução 3

Tabela 47: Pontuação ambiental solução 4.

<b>PONTUAÇÃO AMBIENTAL DA SOLUÇÃO 4</b>					
IMPACTO	VALOR	UNIDADE	PESO	NORMALIZAÇÃO	ESCORE
POTENCIAL DE ACIDIFICAÇÃO	1277,44	milimol H+	7,00	7800200000,00	0,00000
POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO	57,81	g N	14,00	19214,20	0,04212
POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL	86163,48	g CO2	69,00	25582640,09	0,23240
POTENCIAL DE OXIDAÇÃO FOTOQUÍMICA (SMOG)	674,29	g NOX	10,00	150500,03	0,04480
<b>TOTAL PONTOS</b>					<b>0,31932</b>

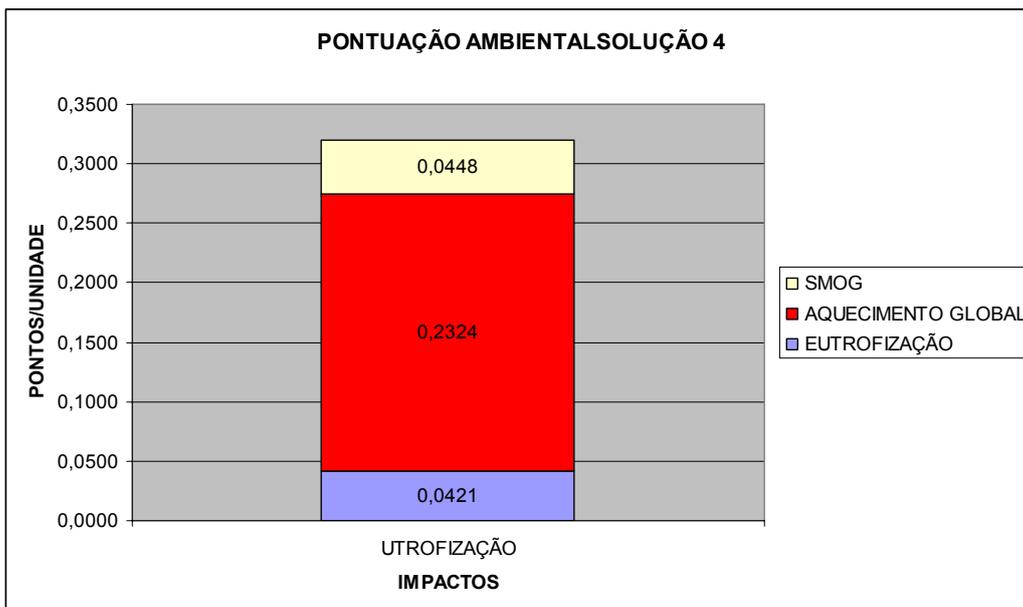


Gráfico 15: Pontuação ambiental solução 4

O Gráfico 16 representa a comparação das pontuações globais por unidade funcional de cada solução.

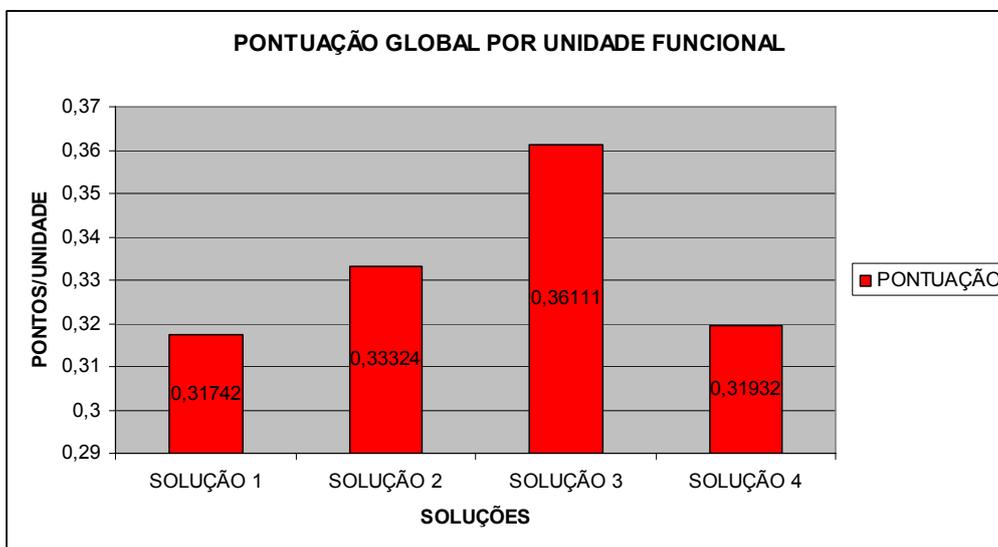


Gráfico 16: Comparativo das pontuações ambientais das soluções

Fica claro que as melhores performances ambientais são as das soluções 1 e 4. A proximidade dos resultados finais dessas soluções não nos indica, com clareza, qual seria exactamente a melhor solução no que concerne aos requisitos ambientais. Mas é claramente indicativo que a escolha teria que recair sobre uma delas quando vista

simplesmente da óptica ambiental. Porém, a sustentabilidade não se restringe ao aspecto ambiental fazendo parte deste contexto também as questões económicas e sociais, que serão apresentadas a seguir.

### 6.2.2 Estudo económico

O estudo económico consistiu em quantificar o custo de produção da unidade funcional de 1 m<sup>2</sup> de parede pronta. Os tempos de ciclo de vida das análises ambientais e económicas são diferentes. No caso da análise ambiental, esse tempo começa com a aquisição da matéria-prima e finaliza com o fim da vida do produto. No caso do estudo económico, este período é pré-fixado em 50 anos. Isto porque períodos superiores a este poderiam incorrer a análise em erros derivados de três factores:

- a) A tecnologia do produto tenderia a tornar-se obsoleta.
- b) Os dados futuros tornar-se-iam incertos.
- c) Um futuro muito distante faz o custo inicial perder importância.

São considerados, para composição final, os custos relativos à:

- a) Aquisição
- b) Instalação
- c) Manutenção
- d) Reparação
- e) Substituição
- f) Valor residual de fim de vida

O valor residual entrará, quando existir, com valores sempre negativos.

Para a redução dos valores futuros a um valor presente de custos, é introduzida uma taxa de desconto no valor de 4% (Que engloba a inflação e o custo financeiro do dinheiro).

#### 6.2.2.1 Custos de ciclo de vida das soluções

##### 6.2.2.1.1 Custos dos ciclos de vida das unidades funcionais das soluções

As Tabelas de 48 à 51 apresentam as composições de custos de ciclo de vida das respectivas unidades funcionais das soluções construtivas de envolvente opaca.

Tabela 48: Custo da unidade funcional da solução 1

<b>CUSTOS DA UNIDADE FUNCIONAL DA SOLUÇÃO 1</b>						
MATERIAL	UNIDADE FUNCIONAL	CUSTO INICIAL	CUSTO FUTURO	CUSTO TOTAL	CONSUMO	CUSTO NA UNIDADE FUNCIONAL DA PAREDE
BETÃO	0,027 M3	6,30	-0,18	6,12	7,41	45,35
POLIESTIRENO	1 KG	2,65	0,00	2,65	1,60	4,24
REBOCO 2 FACES	0,09 M2	2,70	-0,10	2,60	11,11	28,89
					<b>TOTAL</b>	<b>78,48</b>

Tabela 49: Custo da unidade funcional da solução 2

<b>CUSTOS DA UNIDADE FUNCIONAL DA SOLUÇÃO 2</b>						
MATERIAL	UNIDADE FUNCIONAL	CUSTO INICIAL	CUSTO FUTURO	CUSTO TOTAL	CONSUMO	CUSTO NA UNIDADE FUNCIONAL DA PAREDE
POLIESTIRENO	1 KG	2,65	0,00	2,65	1,60	4,24
ALVENARIA e= 22 CM	1 M2	13,04	-0,50	12,54	1,00	12,54
REBOCO 2 FACES	0,09 M2	2,70	-0,10	2,60	11,11	28,89
					<b>TOTAL</b>	<b>45,67</b>

Tabela 50: Custo da unidade funcional da solução 3

<b>CUSTOS DA UNIDADE FUNCIONAL DA SOLUÇÃO 3</b>						
MATERIAL	UNIDADE FUNCIONAL	CUSTO INICIAL	CUSTO FUTURO	CUSTO TOTAL	CONSUMO	CUSTO NA UNIDADE FUNCIONAL DA PAREDE
POLIESTIRENO	1 KG	2,65	0,00	2,65	1,60	4,24
REBOCO 2 FACES	0,09 M2	2,70	-0,10	2,60	11,11	28,89
ALVENARIA DUPLA	1 M2	24,15	-0,98	23,17	1,00	23,17
					<b>TOTAL</b>	<b>56,30</b>

Tabela 51: Custo da unidade funcional da solução 4

<b>CUSTOS DA UNIDADE FUNCIONAL DA SOLUÇÃO 4</b>						
MATERIAL	UNIDADE FUNCIONAL	CUSTO INICIAL	CUSTO FUTURO	CUSTO TOTAL	CONSUMO	CUSTO NA UNIDADE FUNCIONAL DA PAREDE
POLIESTIRENO	1 KG	2,65	0,00	2,65	1,60	4,24
REBOCO 2 FACES	0,09 M2	2,70	-0,10	2,60	11,11	28,89
ESTRUTURA EM AÇO ENFORMADO À FRIO	0,09 M2	2,53	0,04	2,57	11,11	28,55
LÃ DE ROCHA	1 M2	4,55	0,00	4,55	1,00	4,55
PLACA OSB	0,09 M2	0,83	-0,01	0,82	11,11	9,11
PLACA GESSO	0,09 M2	0,57	0,00	0,57	11,11	6,33
<b>TOTAL</b>						<b>81,67</b>

O Gráfico 17 representa a comparação entre custos de ciclo de vidas por unidade funcional de cada solução.

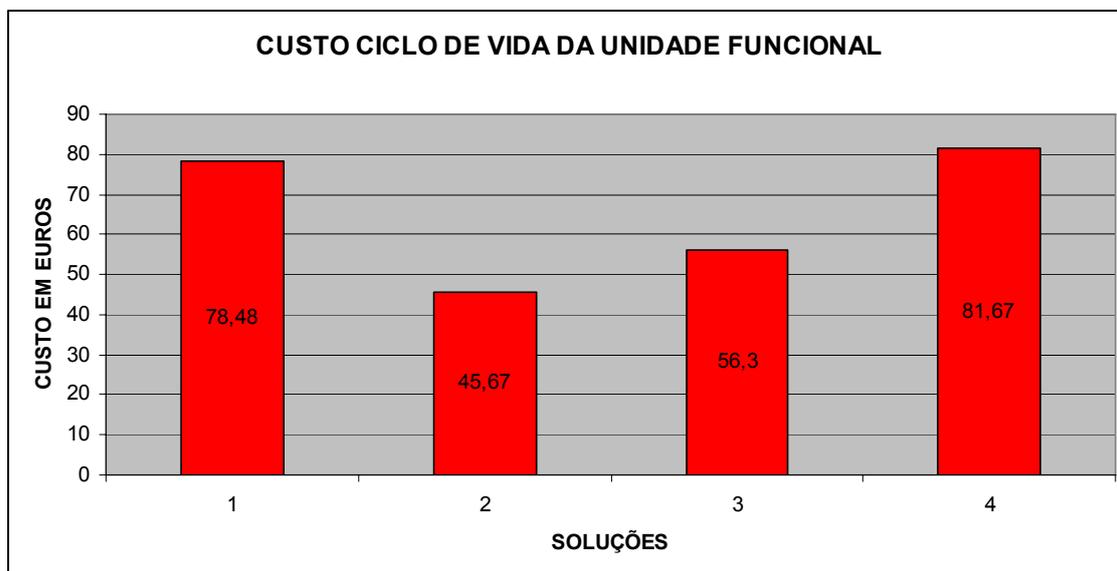


Gráfico 17: Comparação dos custos de ciclo por unidade funcional

#### 6.2.2.1.2 Custos Globais do ciclo de vida

Fazendo a multiplicação dos custos de unidade funcional pela área total da envolvente opaca, é possível obter o custo ciclo de vida total de cada solução. Como apresenta a Tabela 52, este custo não representa a performance da habitação que cada solução irá gerar.

Tabela 52: Custos globais de ciclo de vida

<b>SOLUÇÕES</b>	<b>ÁREA</b>	<b>CUSTO UNITÁRIO</b>	<b>CUSTO TOTAL</b>
SOLUÇÃO 1	111,25	78,48	8730,90
SOLUÇÃO 2	111,25	45,67	5080,79
SOLUÇÃO 3	111,25	56,30	6263,38
SOLUÇÃO 4	111,25	81,67	9085,79

Vale salientar que o custo da solução 4 sofre com esta comparação visto que a solução não é simplesmente uma solução de vedação, mas também tem uma componente estrutural. Mas como é impossível fabricar a vedação sem conter a estrutura, ela fica penalizada. Ao fazer uma análise comparativa, não das soluções de fachada, mas sim da moradia num todo, esta solução seria altamente beneficiada.

#### 6.2.2.2 Custos das soluções inseridas na moradia

Apesar do custo anterior ser representativo, é necessário computar o custo da solução em serviço. Isto só pode ser feito comparando os custos do ciclo de vida de cada solução, somados aos consumos energéticos que cada solução gera na moradia. Como os custos de energia para as águas quentes sanitária, de iluminação e o consumo com equipamentos, são iguais, o trabalho se restringe aos custos de aquecimento e arrefecimento. O custo energético para os consumos de aquecimento por kWh é de 0.067 euros, em função de ser gás natural com dados da região da cidade do Porto, em Portugal. Os mesmos parâmetros indicam para o arrefecimento o custo de 0.1132 euros/kWh, que é o custo em tarifário simples de fornecimento de electricidade.

A Tabela 53 mostra os custos totais de performance nos 50 anos, que é o ciclo de vida de custo estudado, para cada uma das soluções.

Tabela 53: Custo total de performance

SOLUÇÃO	ÁREA DE PISO M2	NIC KWH/M2. ANO	CUSTO KWH ELÉCT.	CUSTO TOTAL AQUEC. 50 ANOS	NVC KWH/M2. ANO	CUSTO KWH GÁS	CUSTO TOTAL ARREF. 50 ANOS	TOTAL
1	188,56	69,21	0,1132	73864,34	3,54	0,067071	2238,50	76102,85
2	188,56	66,13	0,1132	70577,22	3,51	0,067071	2219,53	72796,75
3	188,56	65,47	0,1132	69872,83	3,51	0,067071	2219,53	72092,36
4	188,56	61,09	0,1132	65198,28	3,48	0,067071	2200,56	67398,84

#### 6.2.2.3 Custos totais

Para mensurar o custo total da solução é necessário adicionar o seu custo de existência (ou seja o custo para ser fabricada, mantida e desconstruída) ao seu custo de performance. A Tabela 54 e o Gráfico 18 representam estes resultados.

Tabela 54: Custos globais das soluções

SOLUÇÃO	CUSTO EXISTÊNCIA	CUSTO PERFORMANCE	CUSTO GLOBAL
1	8730,90	76102,85	84833,75
2	5080,79	72796,75	77877,54
3	6263,38	72092,36	78355,74
4	9085,79	67398,84	76484,63

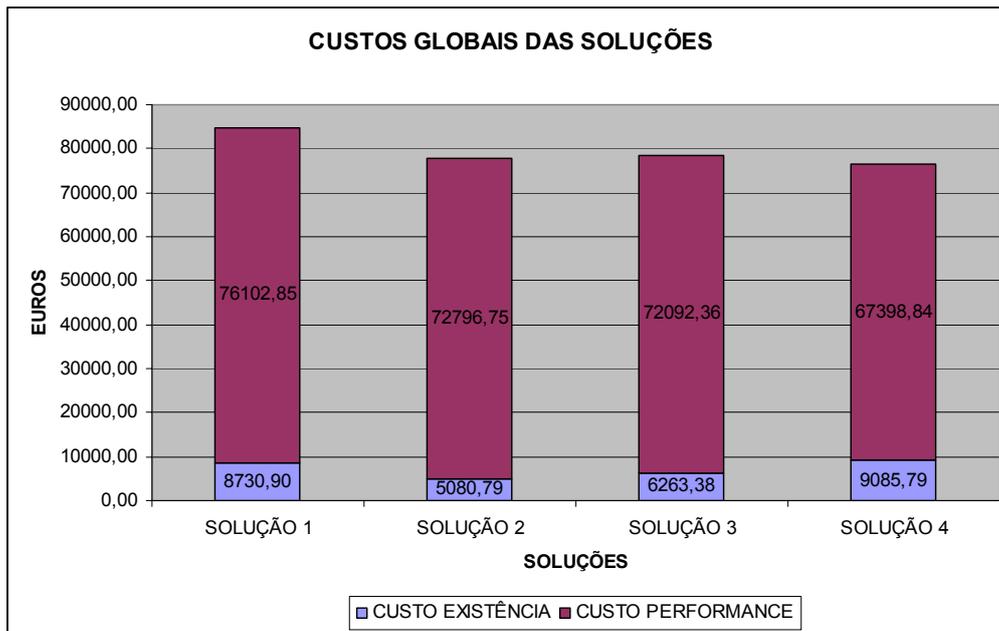


Gráfico 18: Custos globais das soluções

### 6.2.3 Estudos sociais

Os impactos socioculturais seguem duas vertentes básicas. A primeira está na cadeia produtiva da construção. E a segunda, no consumidor final do produto.

Em relação à cadeia produtiva, é claramente importante levar em consideração o aspecto da indústria cerâmica, que é uma indústria de grande importância para uma determinada região do país, e que poderia ser bastante afectada no caso do uso generalizado ou da solução 1 ou da 4. É fundamental, antes de massificar o emprego de alguma solução não convencional a construção portuguesa na actualidade, preparar a indústria para tal. Por outro lado, existe uma comunidade que habita a envolvente das fontes de matéria-prima usada para o fabrico dos tijolos. Essa comunidade sairia beneficiada do processo de alteração do emprego generalizado de soluções construtivas que abdicassem do uso do tijolo. É importante estudar a capacidade instalada de produção de aço enformado a frio bem como de placa OSB, a fim de mensurar os impactos que o uso maciço desta solução poderiam trazer tanto para o mercado, quanto para a deslocação de algumas indústrias (o que com certeza teria impacto ao nível social de algumas regiões). No que toca à mão-de-obra directa da construção civil, é importante um estudo mais aprofundado do reaproveitamento através de requalificação, no caso do emprego numa escala maior de soluções com Steel Frame. Isto porque é uma solução que apresenta outros paradigmas de escala e de processo. É importante também mensurar o impacto que a redução de pessoal não qualificado traz, quando do emprego

de construção leve, pois ao mesmo tempo que o processo torna a construção mais qualitativa também exige menos mão-de-obra envolvida. O que, socialmente falando, num país como Portugal pode ter um impacto importante na classe operária actual da construção civil.

Na óptica do consumidor final, o grande trabalho social de implementação da construção leve seria o de desconstruir a ideia que o peso e a compacidade na construção representam qualidade. O facto das paredes serem leves e a sensibilidade ao toque aparentar fragilidade gera, no consumidor, uma aversão ao sistema. É necessário um trabalho que foque no cliente a necessidade de valorização dos 5 sentidos humanos, a fim de lhes mostrar que a visão é satisfeita da mesma forma; a audição pode, inclusive, melhorar em função do melhor tratamento acústico e trabalhar o som do toque nas paredes; o olfacto e o paladar são indiferentes e no que tange ao tacto existe a sensação desagradável do toque mas uma muito melhor sensação de conforto térmico. É um trabalho árduo que tem que ser encabeçado pela solução mais sustentável e focado num mundo sustentável com o intuito de permitir aos filhos do consumidor de hoje o direito de consumir amanhã.

Como a questão social é de alta complexidade para mensurar o valor global de sustentabilidade o trabalho ficará restrito às componentes ambientais e sociais.

#### 6.2.4 Performance global

A performance global visa sintetizar os aspectos económicos e ambientais numa única pontuação. Mas surge novamente o problema da necessidade da soma de valores com unidades diferentes.

Para resolução deste problema, o programa BEES (na sua versão 4.0) propõe o recurso ao método M.A.D.A (Multiattribute Decision Analysis) que relaciona, numa mesma soma, artigos com unidades diferentes. Para realizar a soma é necessário tornar os termos adimensionais. Para tal somam-se todos os termos da vertente económica e divide-se o resultado de cada solução por este valor global. Assim se obtêm o valor representativo do âmbito económico numa óptica relativa. Repete-se a operação para o aspecto ambiental. Mas o trabalho não se restringe a isso: é importante atribuir pesos aos aspectos ambientais e económicos. No caso deste trabalho, foi atribuído o peso de 60 % para os requisitos ambientais e de 40% aos económicos. As Tabelas 55 e 56 representam respectivamente, a normalização e os resultados globais das soluções.

Tabela 55: Normalização dos impactos ambientais e económicos

SOLUÇÕES	RESULTADOS		NORMALIZAÇÃO	
	AMBIENTAL	ECONÓMICO	AMBIENTAL	ECONÓMICO
SOLUÇÃO 1	0,32	84833,75	0,24	0,27
SOLUÇÃO 2	0,33	77877,54	0,25	0,25
SOLUÇÃO 3	0,36	78355,74	0,27	0,25
SOLUÇÃO 4	0,32	76484,63	0,24	0,24
	1,33	317551,66	1,00	1,00

Tabela 56: Pontuação global das soluções

SOLUÇÕES	NORMALIZAÇÃO		PESOS		PONTUAÇÃO		
	AMBIENTAL	ECONÓMICO	AMBIENTAL	ECONÓMICO	AMBIENTAL	ECONÓMICO	GLOBAL
1	0,24	0,27	60%	40%	14,31	10,69	24,99
2	0,25	0,25	60%	40%	15,02	9,81	24,83
3	0,27	0,25	60%	40%	16,28	9,87	26,15
4	0,24	0,24	60%	40%	14,39	9,63	24,03
	1,00	1,00			60,00	40,00	100,00

O Gráfico 19 representa a pontuação global de cada solução construtiva.

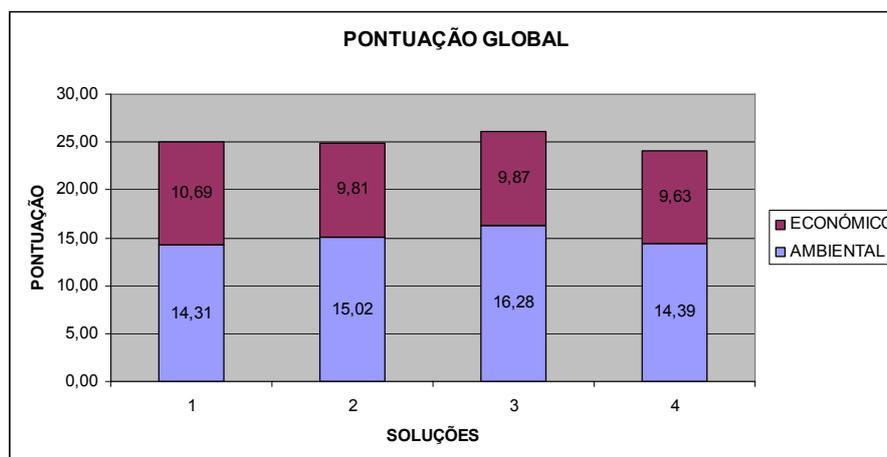


Gráfico 19: Pontuação Global das Soluções

As tabelas e o gráfico interpretam o resultado do estudo onde a solução 4 é a melhor alternativa das opções estudadas. Apesar da diferença de resultados ser relativamente pequena, a solução 4 é muito melhor (sustentavelmente falando) pois, além de exercer a função especificamente estudada neste trabalho, desempenha também a função estrutural na habitação na qual está inserida. Claro que esse papel também poderia ser desempenhado pela solução 1. Mas, pelos estudos desenvolvidos, é possível deduzir (tanto pela questão do peso específico de cada uma delas quanto pelo comparativo de tempo na execução de cada processo) que a solução 4 levaria nítida vantagem quando

comparada com a solução 1 em toda performance possível de ser realizada por cada uma.

É também preponderante a questão dos pesos atribuídos a cada impacto. Isto porque o aumento de importância do impacto ambiental em detrimento ao económico, ou vice-versa, alteraria os resultados das pontuações finais de cada solução. Por este aspecto este mesmo estudo realizado numa região diferente, ou até mesmo por outra pessoa na mesma região, poderia apresentar resultados diferentes. O que fará esta situação ter um universo de respostas cada vez mais restrito é o aumento dos bancos de dados, bem como a implementação de uma forma mais abrangente do estudo por soluções sustentáveis.

## **CAPÍTULO 7 - CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS**



## 7 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

### 7.1 Conclusões

Neste capítulo apresenta-se uma síntese dos principais temas abordados neste trabalho. Embora já tenham sido feitos comentários parciais relativos a cada tema tratado, para uma análise mais completa do que foi estudado é importante abordar a temática de forma inteira.

A questão da sustentabilidade começa a ser encarada pela sociedade como um tema de fundamental importância, inclusive para a perpetuação da própria espécie humana. Logicamente que não é fácil abordar o tema de uma forma global no contexto mundial quando, em algumas regiões, questões básicas de sobrevivência ainda não estão satisfeitas.

O enfoque da sustentabilidade na construção civil muitas vezes é colocado de lado simplesmente por desconhecimento do processo. Ou, em outros casos, pelo facto de atrelarem o conceito a soluções economicamente desfavoráveis. Ou simplesmente por ligarem a questão da sustentabilidade a um conceito de construção verde muito usado na década de 90 do século passado, onde era proposta uma construção alternativa com materiais que não proporcionavam o mínimo de conforto ao seu usuário.

Ainda hoje a questão de construir de forma mais sustentável é pouco difundida entre os profissionais da área de construção. Mas com o trabalho que o meio académico vem desenvolvendo e fortemente impulsionado pelos custos de energia que foram atingidos recentemente, começa a haver uma pressão maior no sentido de ser estudado mais a fundo o processo.

O trabalho permitiu concluir que não se pode querer estudar sustentabilidade de uma construção de forma restrita a alguns aspectos. É de fundamental importância o aspecto holístico do estudo da sustentabilidade. Essa visão holística sinaliza que não é mais possível haver equipa de projecto uni disciplinar. A multidisciplinaridade das equipas é

condição primordial para que projectos futuros possam gerar habitações mais sustentáveis.

Os projectos são factores fundamentais na questão da sustentabilidade, pois fica praticamente impossível dotar uma construção de características sustentáveis quando o projecto não leva em conta factores como a exposição solar, a protecção aos vãos envidraçados, a inércia térmica (quando se possa tirar partido dela), a distribuição do calor ou do frio no interior da habitação, entre outros elementos. Ou seja, todo o funcionamento está condicionado pelas alternativas de projecto. É importante salientar que esse projecto é condicionado pela escolha do local, o que remete para o urbanismo uma parcela importante no desenvolvimento sustentável das futuras construções.

No que toca às soluções construtivas, as simulações realizadas neste trabalho, bem como o estudo comparativo de sustentabilidade realizado nas opções de envolvente opacas, permitiram verificar que a análise de escolha de soluções não pode mais restringir-se ao custo de produção desta solução, sendo de fundamental importância os conceitos de custo de ciclo de vida e o de custo de performance. Se apenas este aspecto económico fosse analisado com a profundidade devida, soluções que aparentemente seriam melhores (por apresentarem um custo de produção mais baixo) seriam completamente descartadas quando estudadas em função dos seus custos globais. Fica claro, com isso, que as funções dos elementos construtivos da fachada não podem mais restringir-se ao conceito antigo, onde era considerado apenas um elemento que envolvia a habitação e a protegia das intempéries exteriores. Agora a visão holística obriga-nos a analisar a fachada também como um elemento de consumo, elemento este que apresenta um custo de performance e um impacto ambiental em função da sua existência.

As simulações servem como indicação de que a construção leve tende a ser a solução de futuro da construção. Isso levanta o problema de ser necessário incorporar, nas soluções leves, materiais (como por exemplo os materiais de mudança de fase) que consigam exercer a função que a massa teria nas soluções construtivas pesadas.

Outro aspecto importante é notar que as soluções que combinam mais de uma função resolvidas num único elemento passam a ser vantajosas quando comparadas às soluções que têm função exclusiva.

O trabalho também permitiu constatar que não é fácil, ainda, fazer um estudo de sustentabilidade da construção. Por um lado, pelo facto dos bancos de dados ainda serem escassos e restritos muitas vezes à realidade do local onde foram desenvolvidos. Por outro, pelo facto da construção civil apresentar um número enorme de insumos que tornam muito exaustivo o processo de análise. Mas alguns passos têm sido dados no sentido do avanço. O passo balizar foi dado com a criação dos regulamentos que estabelecem consumos máximos de energia. Isto facilita pois restringe soluções construtivas e torna possível relacionar soluções com consumos de uma forma mais directa. Com o passar do tempo, é de se esperar que comecem a existir bancos de dados com os impactos de soluções (como hoje já existem para as composições de custos de actividades na construção). O processo não deve ser assim tão rápido, mas deve ser bastante acelerado num futuro muito próximo.

Em suma, o trabalho tentou contribuir de uma forma mais prática para o incentivo do estudo da sustentabilidade. Não apenas com a vertente ambiental, mas com um foco muito centrado na questão económica. Não com uma visão económico pontual, mas sim abrangente a todo o ciclo de vida e a performance de uso da habitação.

## 7.2 Perspectivas futuras

A sustentabilidade é uma questão central da humanidade e a construção civil não irá ficar fora desse processo. O que deve acontecer é uma mudança de paradigma nos conceitos. Num futuro muito próximo não se discutirá mais se uma determinada construção é qualitativamente construída apenas pelos aspectos tangíveis do passado e sim se ela, além de ter todas essas condições de qualidade, ainda é sustentável. É como se o sector concluísse que sabe fazer bem feito e a partir de agora terá que fazer bem feito e de forma sustentável. Para alcançar este patamar, a tendência é que a construção se industrialize cada vez mais, que os elementos construtivos se tornem mais leves e multi-funcionais. Isso irá implicar uma grande alteração na característica do operário do sector, que terá de ser reciclado. Este impacto social precisa ser acautelado e acompanhado de perto pelos diversos sectores sociais envolvidos no processo. Por outro lado, há um grande trabalho académico a ser feito com os bancos de dados de impactos das soluções construtivas. É um trabalho moroso e gigantesco que já está em curso mas que demanda muitos recursos materiais e intelectuais. É necessário, também, que países

em desenvolvimento criem os seus regulamentos de consumos energéticos das edificações a fim de poderem mensurar a sustentabilidade actual de suas construções e projectar as situações desejadas futuras. Essa questão é fundamental pois mais uma vez aqui entra a questão holística do processo e no que diz respeito a sustentabilidade o mundo precisa ser visto como um só.

Precisamos também ter sempre a atenção para não retirar aos projectos as características locais, de cada região, pois isso levaria a mesmice cultural que não seria benéfica a humanidade já que estaria influenciando conceitos intrínsecos a própria sustentabilidade.

É premente que todos os envolvidos no processo de concepção, construção, manutenção e desconstrução das habitações futuras e, das reabilitações das existentes, tenham a sustentabilidade como pressuposto não só de qualidade mais também de sobrevivência do sector.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A Handbook for Planning and Conducting Charrettes for High-Performance Projects. National Renewable Energy, USA, 2003.

A. Michael Schaal – Liquids Fuels Outlook and Challenges. In 2008 Energy Conference, Washington D. C., USA, 2008.

AEO 2008 Overview.

Alice Marlene Grimm, Notas de Aula.

Aldomar Pedrini e Steven Szokolay (2005) - Recomendações Para o Desenvolvimento de uma Ferramenta de Suporte às Primeiras Decisões Projetuais Visando ao Desempenho Energético de Edificações de Escritórios em Climas Quentes. Porto Alegre, Brasil, 2005.

Arquitetura Bioclimática- Perspectivas de Inovação e Futuro. Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 2004.

Assumptions to the Annual Energy Outlook 2008.

Ayoade, J. O. – Introdução à Climatologia Para os Trópicos. ed Bertrand Brasil, São Paulo, 1983.

Barry, R. G. and Chorley, R. (1998) – Atmosphere water and Climate. ed Routledge, 1998.

Base de Dados de Apoio ao Projeto de Edificações Eficientes. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Universidade Federal de Santa Catarina.

Bousted (2001). Boustead Ltd. Boustead Model, Environmental Database, 2001.

Bravo, G. e Gonzáles, E.(2001) – Confort Térmico en el Trópico Húmedo: Experiencias de Campo en Viviendas Naturalmente ventiladas. In ENCAC , São Pedro-SP, Brasil, 2001.

Cahiers du CSTB.

Carbon Capture and Storage In The CDM. Agência Internacional de Energia, 2007.

Caminho para 2050 (2005). BCSD, Portugal, 2005.

Carla Silva (2007) Eco-Eficiência de Produtos e Sistemas de Processo: ACV e AFM, Lisboa, 2007.

Catarina Ribeiro, Inês Santos, Paulo Partidário, João Mariz Graça e Hélder Gonçalves (2006). In :Seminário “Certificação Energética e Ambiental dos Edifícios”. Lisboa, 2006.

Charles, K. E. (2003). Fanger`s Thermal Comfort And Draught Models. IRC Research Report, 2003.

Cláudio Emanuel Pietro; Roberto Lamberts e Fernando Oscar Pereira (2001). Estratégias Bioclimáticas para o Projeto de Edificações: Conceituação e Aplicação para Maringá, Paraná. Brasil, 2001.

Comentários al Regulamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE-2007). IDAE, Madrid, 2007.

Comunicação da Comissão ao Conselho, ao Parlamento Europeu, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões – Para uma Estratégia Temática Sobre o Ambiente Urbano. Comissão das Comunidades Europeias, 2004.

Degani, Clarisse Menezes e Cardoso, Francisco Ferreira. A Sustentabilidade ao Longo do Ciclo de Vida do Edifício; Importância da Etapa de Projeto Arquitetônico. Universidade de São Paulo, Brasil.

Desempenho Térmico de Edificações. Comitê Brasileiro de Construção Civil, Brasil, 1998.

Dolf Gielen. Tracking Industrial Energy Efficiency and CO2 Emissions. China, 2008.

Dollfus, J. (1954) – Aspects (les) de L`architecture Populaire dans le Monde. Albert Morancê, Paris, 1954.

Dreyfus, J. (1960) – Le Confort dans L`abitat en Pays Tropicaux. Ed Eyrolles, Paris, 1960.

Eficiência Energética em Edifícios – Realidades Empresariais e Oportunidades. BCSD, Portugal, 2005.

Elizabeth Spomer (2008). B G North America. In: EIA 2008 Energy Conference. Washington D.C., 2008.

Emission Baseline. Estimating the Unknown, OCDE, 2000.

Emission Intensity Improvement Based on Sectorial Approach. SLT/IEA, Março, 2008.

Establishment of Air Ventilator Assessment System. Universidade de Hong Kong, 2006.

Evans; J. M (1980). – Housing, Climate and Comfort. ed The Architectural Press, Michigan, USA, 1980.

EVANS; J. M (1991). – Acondicionamento Termico , Análise de las Normas IRAN de Argentina. Anais ENCAC, Florianópolis, Brasil, 1991.

F. Pacheco Torgal e Said Jalali (2007). Construção Sustentável. O Caso Dos Materiais De Construção. Coimbra, Portugal, 2007.

Fanger, P. O. (1972) – Thermal Comfort, Analysis and Application in Environmental Engineering. Ed McGraw-Hill, New York, 1972.

Fausto Simões (2005). Arquitectura e Energia no Edifício - Resposta a Um Desafio. Almada, Portugal, 2005.

Fausto Simões (2006). Concepção Bioclimática da “Casa do Futuro”, 2006.

Fausto Simões. Desenhar com o Clima. Clima-Conforto-Habitação.

Fausto Simões. Desenhar para a Sobrevivência.

Fausto Simões. Introdução a Arquitectura Bioclimática.

Flávio de Miranda Ribeiro (2006). Análise de Ciclo de Vida – Uma Ferramenta de Gestão Ambiental. Brasil, 2006.

Geoff Levermore (2007). Energy Demand Changes Under Climate Change Buildings. Lisboa, Portugal, 2007.

Givoni, B. (1976) – Man, Climate and Architecture. Applied Science Publishers, Califórnia, 1976.

Givoni, B. (1992) – Comfort Climate Analysis and Building Guidelines. Energy and Buildings, 1992.

Givoni, B. and Milne, M (1979) –Architecture Design Based on Climate Energy Conservation Through Buildings Design. ed Donald Watson MacGraw Hill, New York, 1979.

High-Performance Windows: Buildings Envelope Improvement. EPA (Environmental Protection Agency), USA, 2000.

Impact Estimator for Buildings. Athena Institute.

Implementando Tecnologias Acessíveis para a Sustentabilidade da Construção Civil. LEED-Brasil

Iron and Steel Global Efforts. International Iron and Steel Institute, 2008.

Jensen, A. A.; Hofman, L.; Moller, T. B.; Schmidt, A.; Christianen, K.; Elkington, J.; Van Dijk, F. (1997). Life Cycle Assessment (LCA) – A Guide to Approaches, experiences and Information sources. European Environmental Agency, 1997.

João de Jesus Ferreira (2005). Rede Urbana de Frio e Calor na Z.I. da Parque Expo'98, S.A.2005.

Kathleen Eisbrenner (2008) – LNG: Demand Opportunities and Supply Challenge. In : EIA 2008 Energy Conference. Washington D.C., 2008.

Kelly Loureiro; Joyce Carlo e Roberto Lamberts (2002). Estudo de Estratégias Bioclimáticas para a Cidade de Manaus. Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, 2002.

La Captación y el Almacenamiento de Dióxido de Carbono. Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático.

Lamberts, R (2000)- Desempenho Térmico de Edificações. ed Mimeo, Florianópolis, Brasil, 2000.

Leopoldo Bastos e Cláudia Barroso-Krause (2005). Sustentabilidade e Arquitetura: Histórico e Abordagem do Estado da Arte. Rio De Janeiro, Brasil, 2005.

Lívia Tirone (2004). Buildings Envelops. França, 2004

M. Almeida e L. Bragança. Thermal Assessment of A Mixed Buildings Technology Solution. Universidade Do Minho.

M. Almeida, L. Bragança e P. Medonça. Potentialities of Lightweight Construction Solutions for Sustainability. Guimarães, Portugal.

M. Guedes de Almeida; Valdemar Garcia; E. Maldonado e Luís Bragança (1997). A Influência da Temperatura e da Radiação Solar na Capacidade de Armazenamento Térmico de Elementos Construtivos. Portugal, 2007.

M. J. N. Oliveira Panão; H. J. P. Gonçalves e P. M. C. Ferrão (2006). Indicadores do Desempenho Térmico de Edificações Urbanas. Lisboa, Portugal, 2006.

Malcon Shealy – Chinese Oil demand. In Energy Conference 2008. Washington D. C., USA, 2008.

Manual de Diseño Bioclimático para Arquitectos y Urbanistas. ed. Gustavo Gil, Barcelona, Espanha, 1998.

Marcelo de Andrade Roméro (2004). Sistema Integrado para Avaliações de Desempenho Energético de Edificações – SIADEE, 2004.

Mário Hermes Viggiano. Projetando com Diretriz Bioclimática.

Mariz Graça, João; Bento, João; Gonçalves, Hélder; Aguiar, Ricardo (2000). Um Sistema Baseado em Conhecimento para Promover uma Maior Eficiência Energética das Edificações em Portugal, Espanha, 2000.

Maurício Roriz. Flutuação Horária do Limite de Conforto Térmico: Uma Hipótese de Modelo Adaptativo. Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, Brasil.

Meadows, D. L.; Meadows, D.H.; Randers, J. and Willian III (1972) – The Limits to Growth, Clube de Roma, 1972.

- Minnesota Demolition Survey: Phase Two Report. Athena Institute, 2004.
- Nicol, J. F. (1993) – A Handbook for Field Studies Towards an Adaptive Model. ed University of East, London, 1993.
- Nicol, J. F. and Humphreys, M.(2002). Adaptive Thermal Comfort and Sustainable Thermal Standards for Buildings. Energy and Building, 2002.
- Nicol, J. F.; Raja, I. A.; Allaudin, A. and Jamy, J. N: - Climatic Variations in Comfortable Temperatures. “The Pakistan Projects”. Energy and Building, 1999
- Olgay, V (1963) Design With Climate: Bioclimate Approach to Architectural Regionalism. Princeton University Press, New Jersey, 1963
- Paulo Afonso Rheingantz. Projeto Bioclimático (Quadro Síntese de Recomendações Para a cidade do Rio de Janeiro). Universidade Federal do Rio De Janeiro, Brasil.
- PMBOK, 2000
- Real Decreto 47/2007 de 19 de Janeiro. Procedimento Básico para Certificação de Eficiência Energética para Novos Edifícios. Espanha, 2007.
- Real Decreto 1027/2007 – RITE. Espanha, 2007.
- Refresh. Lincoln Scott Advanced Environmental, 2007.
- Relatório Stern, Outubro, 2006.
- Ricardo Lobão e Manuela de Almeida. Modelo Simplificado de Previsão do Comportamento Térmico de Edifícios. Universidade do Minho, 2007.
- Ricardo Mateus e Luís Bragança. Tecnologias Construtivas para a Sustentabilidade da Construção. Universidade do Minho.
- Rivero, R. (1986). – Arquitetura e Clima: Acondicionamento Térmico Natural. ed Luzzatto, Porto Alegre, Brasil, 1986.
- Sandra Monteiro Silva e Manuela Guedes de Almeida. Avaliação do Impacto Energético e Económico de Diferentes Soluções Construtivas. Universidade do Minho.
- Sónia Magalhães; Roberto Albuquerque; Jorge Correia Pinto e Adelino Leite (2001). Fisiologia da Termorregulação - Texto de Apoio. Faculdade de Medicina da Universidade do Porto, Portugal, 2001.
- Szokolay, S. V.(1981) – Cooling Problems and Response in Presominatly Overheat Humid Regions in: Passive Cooling, ed Bowen, 1981.
- Szokolay, S. V.(1987) – Thermal Design of Buildings . Camberra, Austrália. Raya Education Division, 1987.

Szokolay, S. V.(1995) – The CPZ (Control Potential Zone) Method and Its Use to Develops Climate Zone. Queensland, University of Queensland, ISES (mimeo), 1995

Tan, R. R e Culaba, A. B. (2001) – Life Cycle Impact Assessment Using Possibilistic compromise programming,

The Eco-Indicator 99 – A Damage Oriented Method For A Life Cycle Impact Assessment, 2001.

The Status of Japanese Cement Industry and Performance Indicators on Cement Industry. Japan Cement Association, 2008.

TIRONENUNES. Indicadores De Metas Ambientais.

TIRONENUNES. Optimização Do Desempenho Ambiental.

Tomohiko Ihara (2006). Energy Conservation And Urban Heat Island Mitigation Effects By Solar Reflective Coating to An Automobile. Japão, 2006.

Vanderley M. John (2005). Análise De Ciclo De Vida. São Paulo, Brasil, 2005.

Victor Olgyay, AIA Rocky Mountain Institute – Reducing Green House Gas Emission Trough Green Building Design. In: Aspen Climate Action Conference, USA, 2006.

Wagner Andreasi e Jucimeire Neves da Silva (2003) Estudos Das Variáveis Climáticas Internas Que Influenciam No Conforto Térmico E Na Eficiência Energética Das Edificações.

Wagner Andreasi e Rogério de Souza Versage (2003). A Ventilação Natural Como Estratégia Visando Proporcionar Conforto Térmico E Eficiência Energética No Ambiente Interno. Brasil, 2003.

Waste Wise Guide, City Of Melbourne, Australia.

World Energy Outlook, EIA 2005.

World Energy Outlook, EIA 2006.

World Energy Outlook, EIA 2007.

Xavier, António A. P.; Lamberts,Roberto; Volpato, Cleber G.. Relacionamento Entre Sensações Térmicas E Percentagem De Pessoas Insatisfeitas Com O Ambiente Em Estudo De Campo.

Yutaka Genchi. Life Cycle Impact Assessment Of Urban Heat Island In Tokyo. Japão.

## SITES

[www.adene.pt](http://www.adene.pt)

[www.aicia.es](http://www.aicia.es)

[www.apps1.eere.energy.gov](http://www.apps1.eere.energy.gov)

[www.bfrl.nist.gov](http://www.bfrl.nist.gov)

[www.cylex.pt](http://www.cylex.pt)

[www.cstb.fr](http://www.cstb.fr)

[www.edp.pt](http://www.edp.pt)

[www.eea.europa.eu](http://www.eea.europa.eu)

[www.eerg.it](http://www.eerg.it)

[www.energystar.gov](http://www.energystar.gov)

[www.environment-agency.gov.uk](http://www.environment-agency.gov.uk)

[www.europa.eu](http://www.europa.eu)

[www.gbcbrasil.org.br](http://www.gbcbrasil.org.br)

[www.iea.org](http://www.iea.org)

[www.marm.es](http://www.marm.es)

[www.metalica.com.br](http://www.metalica.com.br)

[www.passivehouse.co.uk](http://www.passivehouse.co.uk)

[www.quercus.pt](http://www.quercus.pt)

[www.steelframehousing.org](http://www.steelframehousing.org)

[www.tironenunes.pt](http://www.tironenunes.pt)

[www.ufsc.br](http://www.ufsc.br)

[www.umass.edu](http://www.umass.edu)

[www.usgbc.org](http://www.usgbc.org)

[www.usp.br](http://www.usp.br)

[www.worldsteel.org](http://www.worldsteel.org)

