



Análise de soluções construtivas com recurso à Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade

Outubro de 2010

ÍNDICE

I. APRESENTAÇÃO.....	1
II. OBJECTIVO	1
III. DESCRIÇÃO DA MARS-SC.....	1
IV. APRESENTAÇÃO DAS SOLUÇÕES.....	3
V. APLICAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS DA MARS-SC.....	6
VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	8
VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	10
ANEXO	11

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 – PAREDE DE ISOLAMENTO PELO EXTERIOR TOMADA COMO SOLUÇÃO DE REFERÊNCIA (ESPESSURA TOTAL: 0,30M).	3
FIGURA 2 – PAREDE DUPLA DE ALVENARIA DE TIJOLO CONVENCIONAL [PAREDE A] (ESPESSURA TOTAL: 0,37M).	4
FIGURA 3 – PAREDE DUPLA DE ALVENARIA COM TIJOLO TÉRMICO (PANO INTERIOR) E MACIÇO (PANO EXTERIOR) [PAREDE B] (ESP.: 0,29M)	4
FIGURA 4 – SOLUÇÃO DE ETICS (PANO SIMPLES TIJOLO DE FURAÇÃO VERTICAL) [PAREDE C] (ESPESSURA: 0,30M)	5
FIGURA 5 – SOLUÇÃO DE FACHADA VENTILADA COM REVESTIMENTO CERÂMICO [PAREDE D] (ESPESSURA: 0,28M)	5
FIGURA 6 – COMPARAÇÃO GRÁFICA (GRÁFICO TIPO RADAR) DAS SOLUÇÕES DE PAREDES SUSTENTÁVEIS COM A PAREDE DE REFERÊNCIA.	7
FIGURA 7 – COMPARAÇÃO INDIVIDUAL DAS PROPOSTAS DE SOLUÇÃO DE PAREDE (PAREDES A, B, C E D) SUSTENTÁVEL COM A SOLUÇÃO DE PAREDE CONVENCIONAL (PAREDE DE REFERÊNCIA).	7
FIGURA 8 – APRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS VALORES EXPOSTOS NA TABELA 4.	8

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 – IDENTIFICAÇÃO DOS INDICADORES E RESPECTIVOS PARÂMETROS ADOPTADOS NA ANÁLISE PELA MARS-SC.	1
TABELA 2 – RESULTADOS PARCIAIS DO CÁLCULO DE CADA PARÂMETRO POR SOLUÇÃO DE PAREDE.	6
TABELA 3 – NORMALIZAÇÃO DOS VALORES APRESENTADOS NA TABELA 2, COM BASE NA EQUAÇÃO 2.	6
TABELA 4 – VALORES INTERMÉDIOS DOS INDICADORES SUSTENTÁVEIS DA MARS-SC QUE DEFINEM À NOTA SUSTENTÁVEL DE CADA SOLUÇÃO.	8
TABELA 5 – CÁLCULOS PARCIAIS POR PARÂMETRO RELATIVOS À PAREDE DE REFERÊNCIA.	11
TABELA 6 - CÁLCULOS PARCIAIS POR PARÂMETRO RELATIVOS À PAREDE A.	12
TABELA 7 - CÁLCULOS PARCIAIS POR PARÂMETRO RELATIVOS À PAREDE B.	13
TABELA 8 - CÁLCULOS PARCIAIS POR PARÂMETRO RELATIVOS À PAREDE C.	14
TABELA 9 - CÁLCULOS PARCIAIS POR PARÂMETRO RELATIVOS À PAREDE D.	15

I. Apresentação

Fábio Ribas Fernandes, nascido a 13 de Março de 1985 em Viana do Castelo; estudante de Engenharia Civil na Universidade de Aveiro, actualmente a terminar a dissertação de mestrado “Reabilitação Sustentável de Edifícios em centro urbano – caderno de encargos tipo” sob orientação científica do Doutor Victor Ferreira e da Doutora M^ª Fernanda Rodrigues.

II. Objectivo

Efectuar uma análise comparativa, gráfica e quantitativamente (utilizando a ferramenta MARS-SC¹), em termos ambientais, funcionais e de custos de soluções construtivas de paredes de fachada (pano duplo, simples, sistemas ETICS e fachadas ventiladas) que incluam produtos estruturais ou não-estruturais do grupo PRECERAM e consideradas mais sustentáveis relativamente a uma solução de referência de construção convencional.

III. Descrição da MARS-SC

Esta metodologia de avaliação da sustentabilidade de soluções construtivas assenta em três indicadores que englobam parâmetros que dependem dos objectivos da avaliação, das características próprias das soluções construtivas, das exigências funcionais que se pretendem satisfeitas e dos dados disponíveis [1]. Os parâmetros escolhidos para cada um dos três indicadores e o respectivo peso estão indicados na Tabela 1.

Tabela 1 – Identificação dos Indicadores e respectivos parâmetros adoptados na análise pela MARS-SC.

Indicador	Parâmetro	Peso (%)	Peso
Ambiente	energia primária incorporada (PEC)	70,0	0,3
	potencial de aquecimento global (PAG)	30,0	
Funcionalidade	isolamento a sons aéreos ($D_{n,w}$)	33,3	0,4
	espessura da parede (e)	33,3	
	isolamento térmico (U)	33,3	
Economia	custo de construção (€/m ²)	100,0	0,3

¹ Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade de Soluções Construtivas, desenvolvida pelos Eng.º Ricardo Mateus e Eng.º Luís Bragança, ambos docentes na Universidade do Minho.

Relativamente ao indicador ambiental são considerados a energia primária incorporada (PEC) nos materiais e o potencial de aquecimento global (PAG), que traduzem os impactos ambientais dos materiais durante os processos de extracção das matérias-primas e fabrico até diferentes fases do seu ciclo de vida. Existem já bases de dados no âmbito dos materiais de construção que, com base em análises ciclo de vida, listam os respectivos PEC e PAG com maior ou menor eficiência. Este estudo é baseado no Inventário da Energia e do Carbono² [2], desenvolvido na Inglaterra, e de certa forma, mais adequado à realidade daquele país.

Como referido na Tabela 1, as características funcionais em estudo terão como base comparativa, por cada solução de parede:

- ✓ A espessura total;
- ✓ O isolamento térmico caracterizado pelo coeficiente global de transmissão térmica (U – equação 1) e com base nos valores máximos e de referência estipulados no RCCTE3.

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum_j R_j + R_{ar} + \frac{1}{h_e}} \quad (\text{eq. 1})$$

- ✓ O isolamento a sons aéreos - $D_{n,w}$ - com recurso ao Modelo Misto proposto por Meisser [1].

Na quantificação dos custos de construção relativo ao indicador económico, recorreu-se ao gerador de preços compostos do software CYPE, numa tentativa de obter, um valor mais aproximado possível do preço real por m² das soluções a apresentar (foram considerados apenas os custos directos).

Depois de avaliado o desempenho de cada indicador (tendo em conta os parâmetros que lhe correspondem e o peso que cada um acarreta – Tabela 1), a MARS-SC propõe que se sintetize num único valor (Nota Sustentável) o desempenho global das soluções construtivas – tendo igualmente em conta o peso atribuído a cada indicador (Tabela 1) no cálculo desse valor [1].

² Base de dados desenvolvida no Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Bath, Inglaterra – especifica a energia incorporada de diversos materiais de construção com base no ciclo *Cradle-to-Gate*.

³ Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, DL nº 80/2006 de 6 de Fevereiro

IV. Apresentação das Soluções

Produtos do Grupo PRECERAM utilizados [3-5]:

- ✓ Tijolo cerâmico de furação horizontal PRECERAM ® 30x20x11cm
- ✓ Tijolo cerâmico de furação horizontal PRECERAM ® 30x20x15
- ✓ Tijolo térmico (furação vertical) PRECERAM ® 30x19x14cm
- ✓ Tijolo térmico (furação vertical) PRECERAM ® 30x19x19cm
- ✓ Tijolo térmico (furação vertical) PRECERAM ® 30x19x24cm
- ✓ Argila expandida ARGEX®8-16
- ✓ Placas de gesso laminado GYPTEC ® Placa A 15mm
- ✓ Placas de gesso laminado GYPTEC ® Placa A 9,5mm
- ✓ Massa de gesso GYPTEC ® Massa GS24
- ✓ Cola adesiva GYPTEC ® Massa GA

Esquemática das soluções construtivas adoptadas:

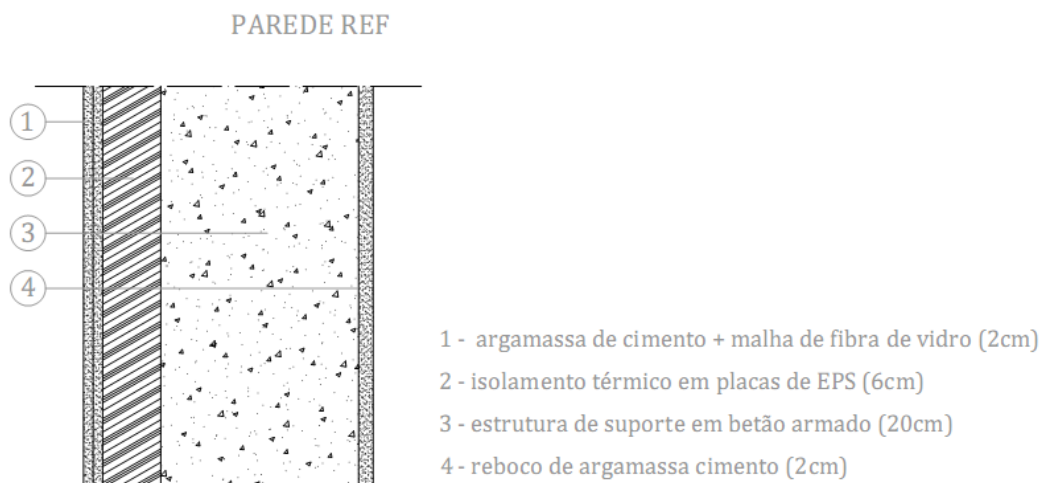


Figura 1 – Parede de isolamento pelo exterior tomada como solução de referência (espessura total: 0,30m).

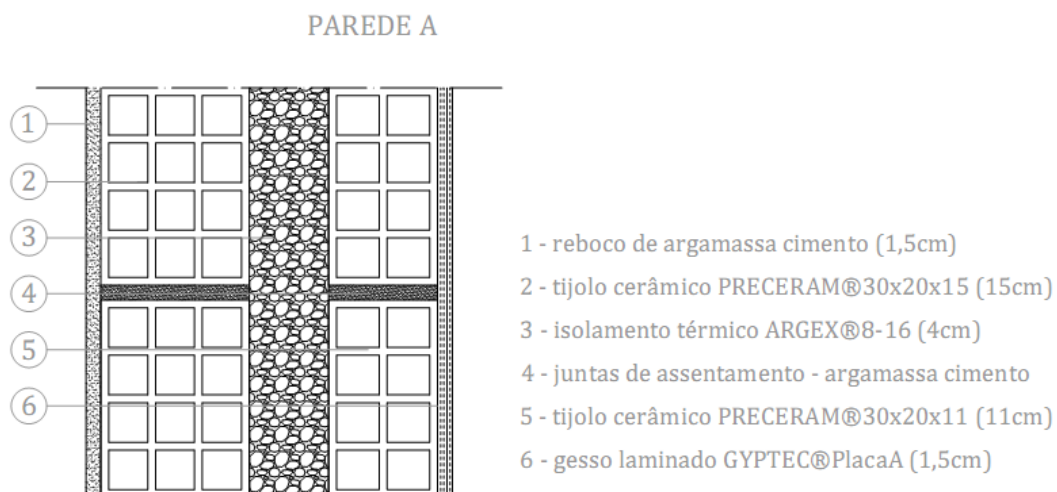


Figura 2 – Parede dupla de alvenaria de tijolo convencional [Parede A] (espessura total: 0,37m).

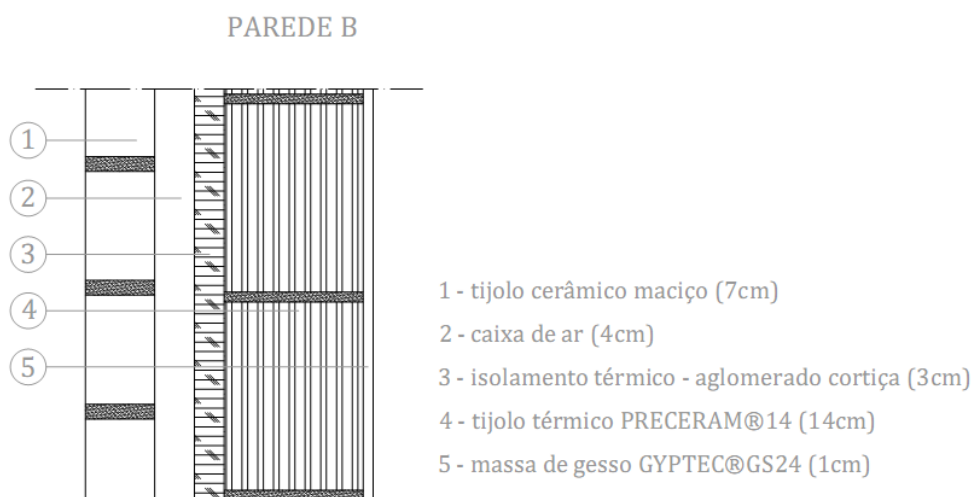


Figura 3 – Parede dupla de alvenaria com tijolo térmico (pano interior) e maciço (pano exterior) [Parede B] (esp.: 0,29m)

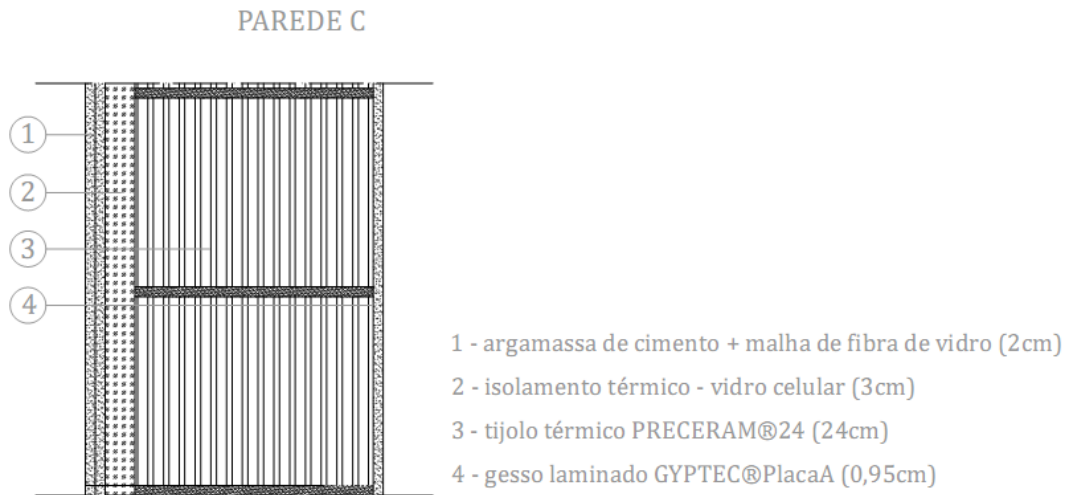


Figura 4 – Solução de ETICS (pano simples tijolo de furação vertical) [Parede C] (espessura: 0,30m)

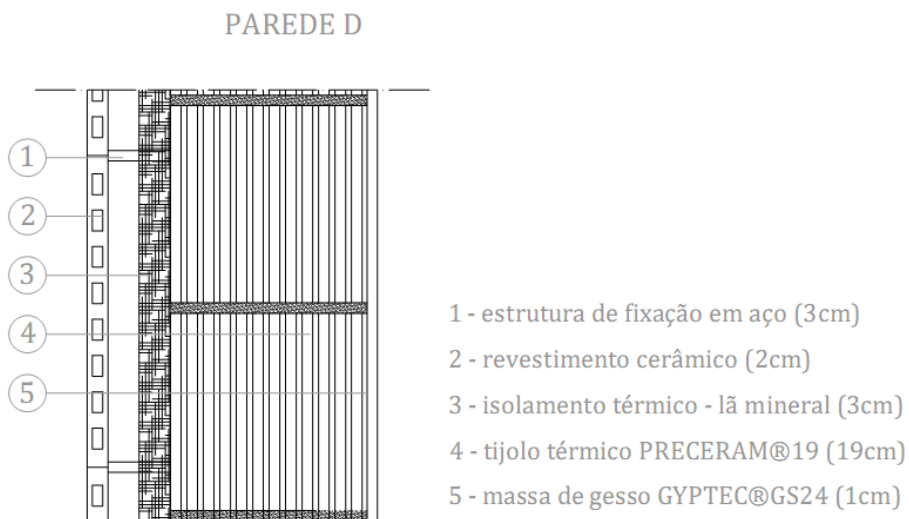


Figura 5 – Solução de fachada ventilada com revestimento cerâmico [Parede D] (espessura: 0,28m)

V. Aplicação e análise dos resultados da MARS-SC

Tabela 2 – Resultados parciais do cálculo de cada parâmetro por solução de parede.

Solução Construtiva	Massa 4 (kg/m ²)	PEC (MJ/m ²)	PAG (kgCO2/m ²)	D _{n,w} (dB)	EP (m)	U 5 (W/m ² ·°C)	CC (€/m ²)
Parede REF	577,08	1170,73	126,50	54	0,30	0,55	139,46
Parede A	350,60	1013,49	78,83	50	0,37	0,59	92,24
Parede B	323,10	881,82	67,26	49	0,29	0,56	77,94
Parede C	249,70	803,26	52,81	51	0,30	0,52	142,37
Parede D	229,33	859,93	59,51	49	0,28	0,51	155,55

Quantificados os parâmetros em análise (Tabela 2), através das folhas de cálculo disponíveis em anexo, todos os valores foram normalizados (Tabela 3) por aplicação da equação 2, para que através dos gráficos tipo radar e com os valores intervalados de 0 (pior valor) a 1 (melhor valor), esteja facilitada a comparação das soluções.

$$\bar{P}_i = \frac{P_i - P_i^-}{P_i^+ - P_i^-} \quad \forall i \quad (\text{eq. 2})$$

Da aplicação da equação 2 resulta a normalização do parâmetro \bar{P}_i pela relação entre o valor do parâmetro P_i da solução e dos melhor e pior resultados do parâmetro de sustentabilidade, P_i^+ e P_i^- , respectivamente.

Tabela 3 – Normalização dos valores apresentados na Tabela 2, com base na equação 2.

Solução Construtiva	Massa	PEC	PAG	D _{n,w}	EP	U	CC
Parede REF	0,00	0,00	0,00	1,00	0,83	0,43	0,21
Parede A	0,65	0,43	0,65	0,20	0,00	0,00	0,82
Parede B	0,73	0,79	0,80	0,00	0,89	0,38	1,00
Parede C	0,94	1,00	1,00	0,40	0,78	0,84	0,17
Parede D	1,00	0,85	0,91	0,00	1,00	1,00	0,00

4 Na quantificação da condutibilidade térmica dos materiais recorreu-se, para os produtos PRECERAM aplicados, às respectivas fichas técnicas e, para os restantes elementos que compõe a solução, recorreu-se ao ITE 50, do LNEC.

5 Na quantificação da densidade dos materiais recorreu-se, para os produtos PRECERAM aplicados, às respectivas fichas técnicas e, para os restantes elementos que compõe a solução, recorreu-se ao ITE 50, do LNEC.

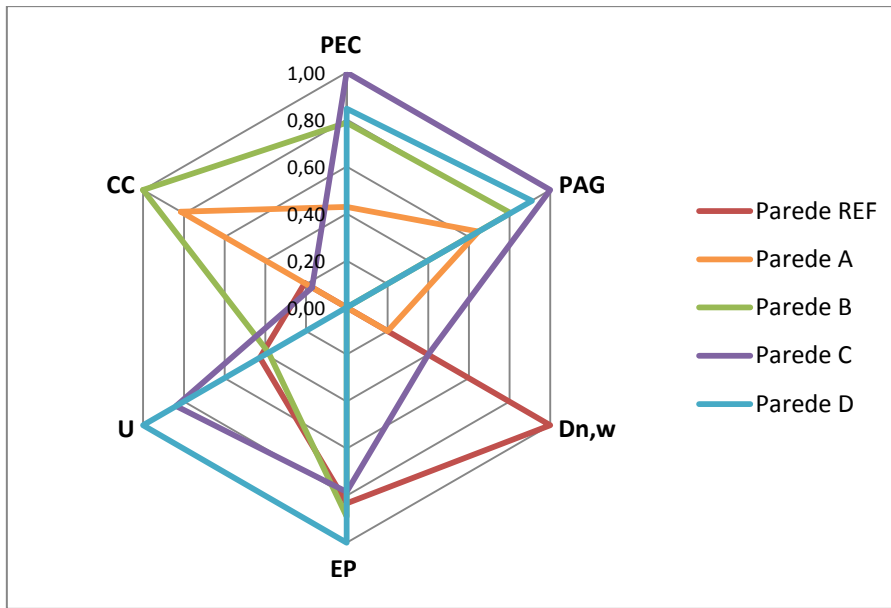


Figura 6 – Comparação gráfica (gráfico tipo radar) das soluções de paredes sustentáveis com a parede de referência.

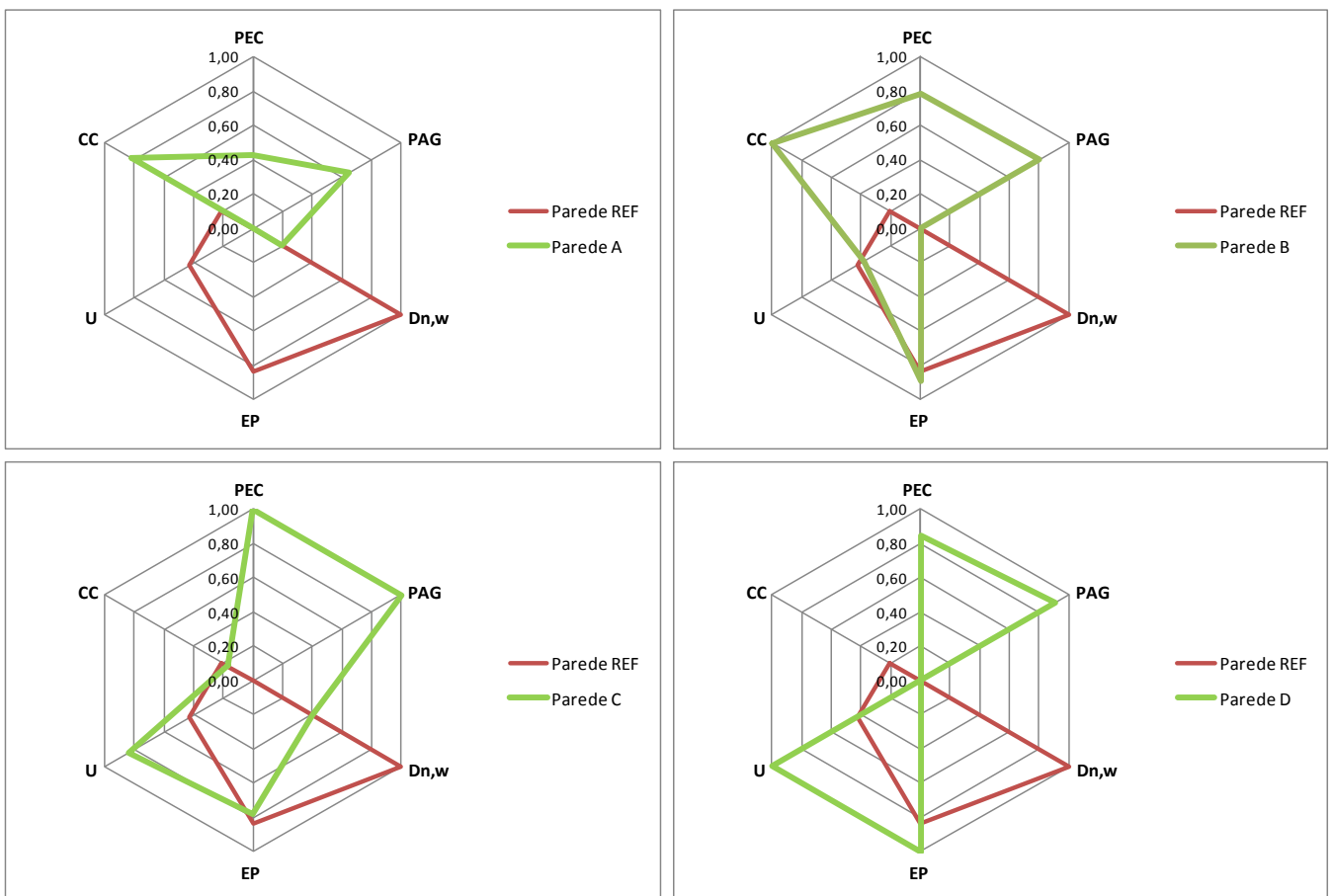


Figura 7 – Comparação individual das propostas de solução de parede (paredes A, B, C e D) sustentável com a solução de parede convencional (parede de referência).

Tabela 4 – Valores intermédios dos indicadores sustentáveis da MARS-SC que definem a nota sustentável de cada solução.

Solução Construtiva	PEC	PAG	INDICADOR AMBIENTAL	$D_{n,w}$	EP	U	INDICADOR FUNCIONAL	CC	INDICADOR ECONÓMICO	NOTA SUSTENTÁVEL
Parede REF	0,00	0,00	0,00	0,33	0,28	0,14	0,75	0,21	0,21	0,36
Parede A	0,30	0,19	0,49	0,07	0,00	0,00	0,07	0,82	0,82	0,42
Parede B	0,55	0,24	0,79	0,00	0,30	0,13	0,42	1,00	1,00	0,71
Parede C	0,70	0,30	1,00	0,13	0,26	0,28	0,67	0,17	0,17	0,62
Parede D	0,59	0,27	0,86	0,00	0,33	0,33	0,67	0,00	0,00	0,53

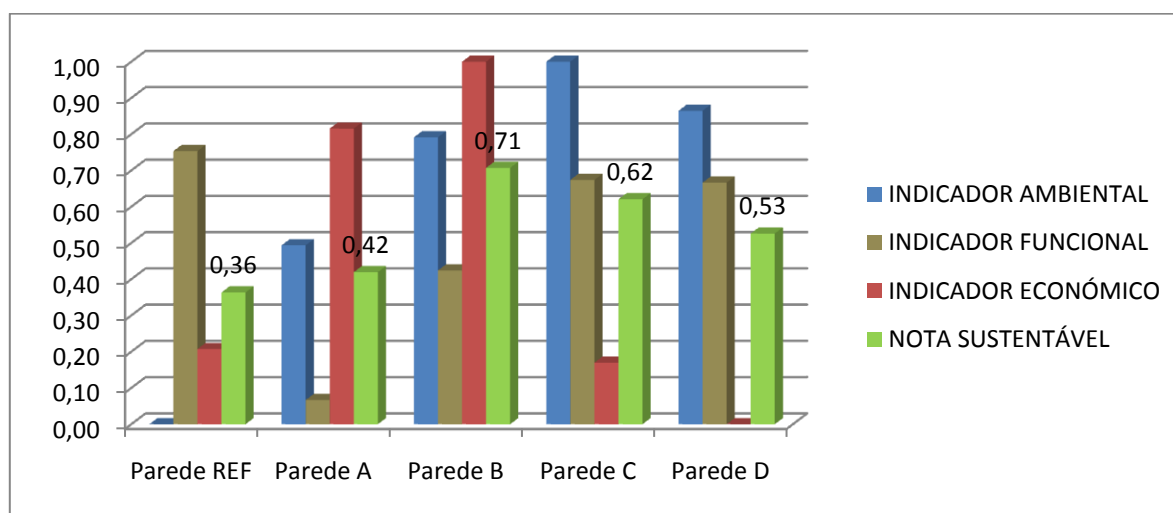


Figura 8 – Apresentação gráfica dos valores expostos na Tabela 4.

VI. Considerações Finais

- é possível constatar que todas as soluções apresentadas como sustentáveis revelam superioridade na generalidade dos factores, e mais especificamente na nota final de sustentabilidade atribuída relativamente à solução tida como referência/convencional da construção. Salienta-se a solução de parede dupla que conta com pano interior de tijolo térmico PRECERAM 14 (Parede B) que superou, destacadamente, todas as outras soluções descritas, não só em termos da nota sustentável geral como no indicador económico.

- a gama de produtos do grupo PRECERAM dá azo, por si só, a uma panóplia de soluções. Foram seleccionados alguns para aplicação em diferentes projectos e requisitos de paredes exteriores, tendo em conta a construção corrente em Portugal e tirando partido da versatilidade dos produtos do grupo.

Contudo, a funcionalidade da metodologia aplicada é proporcional à maior amostra de soluções, já que haverá uma maior dispersão de resultados, melhorando, inclusivé, o aspecto visual dos gráficos tipo radar.

- os pesos adoptados por parâmetro e indicador foram considerados consoante a sua importância relativa, contudo a metodologia envolve uma atribuição subjectiva de pesos. Estes podem ser distribuídos equitativamente ou numa adaptação que, do ponto de vista do avaliador, melhor se adequa à realidade da relação custo/benefício ambiental e/ou funcional.

- para os valores de isolamento sonoro a sons aéreos foram adoptados os valores obtidos em [1] para soluções construtivas similares já que é adoptado o modelo misto de Meisser na determinação deste parâmetro e que este se serve essencialmente da lei da massa; era de todo o interesse uma avaliação mais aprofundada já que estão em estudo produtos do GRUPO PRECERAM e que estes, pela sua geometria e composição têm características diferentes dos apresentados no referido trabalho.

VII. Referências Bibliográficas

- [1] R. Mateus e L. Bragança, *Tecnologias construtivas para a sustentabilidade da construção*. Edições Ecopy, 2006.
- [2] G. Hammond e C. Jones, *Inventory of Carbon and Energy*. Sustainable Energy Research Team (SERT) - University of Bath, UK, 2008.
- [3] “Preceram, Indústrias de Construção, SA.” [Online]. Available: <http://www.preceram.pt/index.php>. [Accessed: 14-Out-2010].
- [4] “Gyptec Ibérica - Placas de Gesso Laminado.” [Online]. Available: <http://www.gyptec.pt/>. [Accessed: 14-Out-2010].
- [5] “Argex - Argila Expandida.” [Online]. Available: <http://www.argex.pt/>. [Accessed: 14-Out-2010].

ANEXO

Tabela 5 – Cálculos parciais por parâmetro relativos à Parede de Referência.

PAREDE REF sistema ETICS (suporte em betão armado, placas de EPS, revestimento argamassa com malha de fibra de vidro)										
	espessura	massa		PEC		PAG		λ	R	custo
	<i>m</i>	<i>Kg/m³</i>	<i>Kg/m²</i>	<i>MJ/kg</i>	<i>MJ/m²</i>	<i>kgCO₂/kg</i>	<i>kgCO₂/m²</i>	<i>W/m^oC</i>	<i>m² oC/W</i>	<i>€/m²</i>
suporte - betão armado	0,200	2600,00	520,00	1,95	1014,00	0,22	115,96	2,000	0,10	79,74
isolamento - EPS	0,060	18,00	1,08	88,60	95,69	2,50	2,70	0,040	1,50	59,72
revestimento - reboco armado	0,035	1600,00	56,00	1,09	61,04	0,14	7,84	0,800	0,04	
	0,30		577,08		1170,73		126,50			139,46
								$R_{si} =$	0,12	
								$R_{se} =$	0,04	
								$R_{si} + \sum R_j + R_{se} =$	1,80	
índice isolamento sons aéreos			$D_{n,w} \approx$	54	<i>dB</i>			$U =$	0,55	<i>W/m² oC</i>

Tabela 6 - Cálculos parciais por parâmetro relativos à Parede A.

PAREDE A alvenaria dupla de tijolo (15+11cm) com ARGEX®8-16 preenchendo totalmente a caixa de ar										
	espessura	massa		PEC		PAG		λ	R	custo
	<i>m</i>	<i>Kg/m³</i>	<i>Kg/m²</i>	<i>MJ/kg</i>	<i>MJ/m²</i>	<i>kgCO₂/kg</i>	<i>kgCO₂/m²</i>	<i>W/m²C</i>	<i>m² °C/W</i>	<i>€/m²</i>
tijolo PRECERAM 30x20x15	0,150	–	122,50	3,00	367,50	0,22	26,95	–	0,39	
tijolo PRECERAM 30x20x11	0,110	–	96,30	3,00	288,90	0,22	21,19	–	0,27	37,87
argamassa de assentamento	–	1600,00	72,00	1,09	78,48	0,14	10,30	–	–	
argamassa de revestimento	0,015	1600,00	24,00	1,09	26,16	0,14	3,43	0,800	0,02	31,30
gesso laminado GYPTEC Placa A	0,015	–	11,80	6,75	79,65	0,38	4,48	0,250	0,06	16,17
ARGEX (8-16mm)	0,080	300,00	24,00	7,20	172,80	0,52	12,48	0,100	0,80	6,90
	0,37		350,60		1013,49		78,83			92,24
								$R_{si} =$	0,12	
								$R_{se} =$	0,04	
								$R_{si} + \sum R_j + R_{se} =$	1,70	
índice isolamento sons aéreos	$D_{n,w} \approx$		50	<i>dB</i>				$U =$	0,59	<i>W/m² °C</i>

Tabela 7 - Cálculos parciais por parâmetro relativos à Parede B.

PAREDE B alvenaria dupla de tijolo (7cm maciço+14cm térmico), isolamento cortiça preenchendo parcialmente a caixa de ar										
	espessura	massa		PEC		PAG		λ	R	custo
	<i>m</i>	<i>Kg/m³</i>	<i>Kg/m²</i>	<i>MJ/kg</i>	<i>MJ/m²</i>	<i>kgCO₂/kg</i>	<i>kgCO₂/m²</i>	<i>W/m²°C</i>	<i>m²°C/W</i>	<i>€/m²</i>
tijolo maciço 7	0,070	–	140,00	3,00	420,00	0,22	30,80	–	0,08	
tijolo térmico PRECERAM 14	0,140	935,00	130,90	3,00	392,70	0,22	28,80	–	0,79	63,19
caixa de ar	0,040	–	–	–	–	–	–	–	–	
argamassa de assentamento	–	1600,00	32,00	1,09	34,88	0,14	4,58	–	–	
massa gesso GYPTEC GS24	0,010	1600,00	16,00	1,09	17,44	0,14	2,29	0,800	0,01	5,24
aglomerado cortiça expandido	0,030	140,00	4,20	4,00	16,80	0,19	0,80	0,040	0,75	9,51
	0,29		323,10		881,82		67,26			77,94
								$R_{si} =$	0,12	
								$R_{se} =$	0,04	
								$R_{si} + \sum R_j + R_{se} =$	1,79	
índice isolamento sons aéreos			$D_{n,w} \approx$	49	<i>dB</i>			$U =$	0,56	<i>W/m²°C</i>

Tabela 8 - Cálculos parciais por parâmetro relativos à Parede C.

PAREDE C sistema ETICS (estrutura suporte - tijolo térmico PRECERAM 24) isolada pelo exterior com vidro celular (3cm)										
	espessura	massa		PEC		PAG		λ	R	custo
	<i>m</i>	Kg/m^3	Kg/m^2	MJ/kg	MJ/m^2	$kgCO_2/kg$	$kgCO_2/m^2$	W/m^2C	$m^2 C/W$	$€/m^2$
tijolo térmico PRECERAM 24	0,240	860,00	206,40	3,00	619,20	0,22	45,41	–	1,07	37,55
isolamento - vidro celular	0,030	120,00	3,60	27,00	97,20	0,00	0,00	0,048	0,63	89,58
revestimento - reboco armado	0,020	1600,00	32,00	1,09	34,88	0,14	4,48	0,800	0,03	15,24
gesso laminado GYPTEC Placa A	0,010	–	7,70	6,75	51,98	0,38	2,93	0,250	0,04	15,24
	0,30		249,70		803,26		52,81			142,37
								$R_{si} =$	0,12	
								$R_{se} =$	0,04	
								$R_{si} + \sum R_j + R_{se} =$	1,92	
índice isolamento sons aéreos	$D_{n,w} \approx$		51	<i>dB</i>				$U =$	0,52	$W/m^2 C$

Tabela 9 - Cálculos parciais por parâmetro relativos à Parede D.

PAREDE D fachada ventilada (estrutura suporte - tijolo térmico PRECERAM 19), revestimento cerâmico fixo c/ grampos de aço										
	espessura	massa		PEC		PAG		λ	R	custo
	<i>m</i>	<i>Kg/m³</i>	<i>Kg/m²</i>	<i>MJ/kg</i>	<i>MJ/m²</i>	<i>kgCO₂/kg</i>	<i>kgCO₂/m²</i>	<i>W/m²°C</i>	<i>m²°C/W</i>	<i>€/m²</i>
tijolo térmico PRECERAM 19	0,190	907,00	172,33	3,00	516,99	0,22	37,91	–	0,90	37,55
isolamento - lã mineral	0,030	100,00	3,00	16,80	50,40	1,05	3,15	0,042	0,71	10,14
massa gesso GYPTEC GS24	0,010	1600,00	16,00	1,09	17,44	0,14	2,29	0,800	0,01	5,24
estrutura fixação (caixa de ar)	0,030	–	3,00	56,70	170,10	2,82	8,46	–	–	102,62
revestimento cerâmico	0,020	–	35,00	3,00	105,00	0,22	7,70	–	0,18	
	0,28		229,33		859,93		59,51			155,55
								$R_{si} =$	0,12	
								$R_{se} =$	0,04	
								$R_{si} + \sum R_j + R_{se} =$	1,97	
índice isolamento sons aéreos			$D_{n,w} \approx$	49	<i>dB</i>			$U =$	0,51	<i>W/m²°C</i>