

CONCLUSÕES

Este capítulo apresenta as conclusões do trabalho realizado, em forma de síntese dos resultados obtidos, de limitações encontradas e de perspectivas de evolução futura. Como síntese, pode referir-se que o principal objectivo deste estudo era conseguir harmonizar todos os aspectos funcionais dos edifícios numa solução ambientalmente optimizada em relação à solução convencional. Estes aspectos foram essencialmente: os aspectos de conforto (higrotérmicos, iluminação e acústicos), o custo económico, a protecção, a estética, a resistência mecânica e a delimitação física e formal dos espaços. Foi proposta uma estratégia de habitação de peso misto, onde se separa um núcleo de estrutura portante do edifício e uma zona leve, criando-se duas zonas térmicas diferenciadas – uma pesada e uma leve. Esta estratégia foi também aplicada às paredes da zona pesada, sendo por isso chamadas de paredes mistas, por terem um pano interior pesado, isolamento e panos leves pelo exterior. A zona leve tem estrutura, paredes, cobertura e pavimento em soluções de painéis leves. Esta estratégia permitiu obter uma muito menor energia incorporada da solução mista relativamente às soluções pesadas convencionais (betão armado e tijolo furado). Como limitações, os principais aspectos referidos são a quantidade de factores que estão em jogo numa análise do ponto de vista energético da construção, que condicionam as análises. Os objectivos futuros são a divulgação dos sistemas propostos de modo a permitir a sua gradual implementação. Naturalmente, espera-se poder vir a continuar o estudo efectuado, no sentido de desenvolver ainda mais as soluções propostas e outras de modo a permitir alcançar maior eficiência energético-funcional.

7.1.**SÍNTESE DOS RESULTADOS OBTIDOS**

A crescente necessidade de economizar meios e recursos, aliada à recessão económica e a uma maior sensibilização às questões ambientais, tem impelido, ainda que timidamente, a um crescimento do minimalismo em Arquitectura o qual, levado ao seu extremo, implica a redução à expressão mínima também dos elementos construtivos. Esta corrente, chamada por alguns autores de "Light-tech" ou "Eco-tech", aposta na introdução de estruturas mais eficientes, o que também passa pela redução dos custos energéticos. A redução do peso próprio dos sistemas construtivos é um ponto essencial na optimização dos custos energéticos da construção, mas esta é normalmente compreendida de uma maneira limitada. Algum preconceito relativo à introdução de materiais e métodos de construção inovadores, tem impelido a que se concentre a atenção apenas em reduzir os impactes ambientais das soluções construtivas convencionais, mantendo-as pesadas.

Este trabalho pretendeu mostrar as potencialidades associadas ao uso de materiais leves para permitir alcançar um bom desempenho do ponto de vista ambiental. Propõe-se adequar as construções leves a um clima temperado como o de Portugal e, por esse facto, deve considerar-se a introdução de alguma massa térmica. Isto implica normalmente o aumento do peso, pelo que as construções leves deixam dessa forma de o ser, a não ser que se optimizem os sistemas de armazenamento térmico, por exemplo através de materiais não convencionais, tais como os materiais eutéticos. Para avaliar esta solução foram efectuados ensaios térmicos de um PCM (Phase Change Material) natural – óleo de côco numa célula quase adiabática construída para o efeito. Propôs-se alternativamente um sistema misto, com uma optimização da localização da massa térmica e envidraçados de forma a permitir um peso intermédio entre uma solução leve e uma solução convencional, o que poderá constituir uma solução mais consensual, já que se compõe parcialmente de um sistema construtivo pesado para as zonas de dormir e mais íntimas, com estrutura em betão e lajes de piso e tecto em betão alveolares, logo mais convencional e apenas as zonas de trabalho num sistema construtivo leve. Ao actuar sobre este conceito de sistema misto, optou-se igualmente por utilizar sistemas de ganho solar térmico indirecto, numa estratégia combinada de optimização do desempenho térmico, acústico e da iluminação natural.

Sinteticamente, pode afirmar-se que a estratégia de habitar sob uma segunda pele, que é o tema central deste estudo, apresenta-se com duas abordagens distintas:

- Uma pesquisa sobre soluções construtivas de fachada onde os materiais leves, translúcidos e transparentes podem ser utilizados por si só ou em combinação com materiais pesados locais como por exemplo pedra, terra compactada e adobe, tendo como objectivo a optimização dos aspectos ambientais, energéticos e económicos;

- Uma pesquisa sobre as tipologias arquitectónicas, nomeadamente pela introdução do conceito de zonamento térmico interior. Um enquadramento histórico a este conceito é apresentado no Capítulo III. É proposta uma alternativa ao conceito convencional de habitação de inércia térmica homogénea, através duma solução de inércia térmica mista. Estas duas soluções, que se apresentam na Figura 7.1.1. foram transpostas para duas Células de Teste, às quais se chamaram Células de Edifício Teste (CET). A CET 1 é a solução Proposta, apresentada em corte na Figura 7.1.2.a) e a CET 2 é a solução Convencional, apresentada em corte na Figura 7.1.2.b). Estas Células foram utilizadas para realizar ensaios de diversa ordem, cujos resultados se apresentaram no Capítulo VI e que mostram a viabilidade desta estratégia de diminuição do peso global da construção, mantendo os padrões de conforto actuais e até mesmo permitindo o seu incremento nalgumas situações. Nestas duas células foi feita a avaliação do desempenho higrotérmico e de iluminação natural, de forma a poder estabelecer-se uma comparação relativa sob o ponto de vista do consumo energético de utilização e do conforto.

Atendendo a que, na construção convencional, as fachadas são os elementos que mais condicionam os consumos energéticos dos edifícios, a primeira abordagem incidiu sobre os envidraçados e as paredes, visando a optimização do seu desempenho sob todos os pontos de vista energéticos. Uma vez que se concluiu que, no caso dos envidraçados, não é possível proceder a uma redução do peso significativa, o estudo incidiu duma forma mais aprofundada nos elementos opacos, onde a optimização energética aliada à estratégia de redução de peso poderá ter um maior impacto. Foram estudadas as diversas soluções de parede de fachada existentes, pormenorizadamente descritas no Capítulo V, e que foram classificadas da seguinte forma:

1. Fachadas de panos simples pesados homogéneas (PS) (compostas de um só pano do mesmo material);
2. Fachadas de panos simples pesados (PS) com isolamento pelo interior;
3. Fachadas de panos simples pesados (PS) com isolamento pelo exterior;
4. Fachadas de panos multi-camadas pesados duplas (PD) e triplas (PT), com caixa(s)-de-ar com ou sem isolamento;
5. Fachadas multi-camadas de panos de peso misto duplas (PMD) ou triplas (PMT) com caixa(s)-de-ar com ou sem isolamento;
6. Fachadas leves (PL) (simples ou multi-camadas).

A Figura 7.1.3 apresenta os diversos tipos de fachadas enumeradas, mostrando esquematicamente a sua constituição. Para cada um destes tipos é apresentada uma descrição das suas aplicações e principais características.

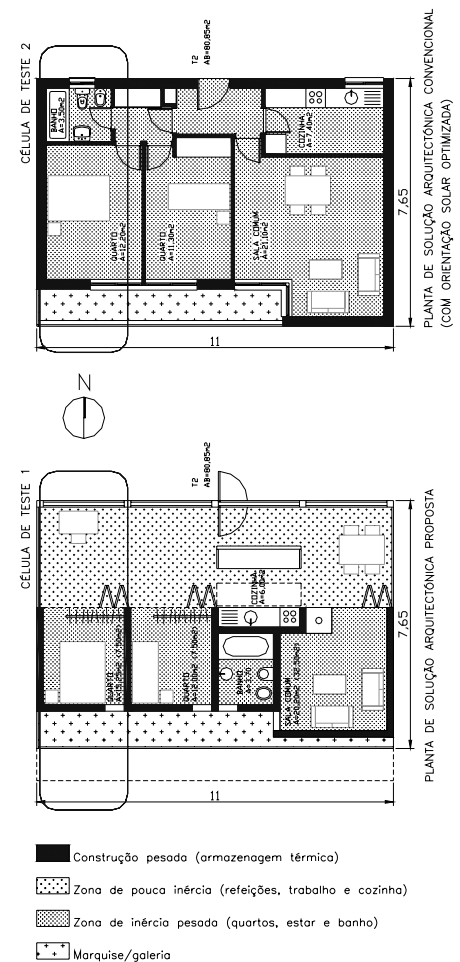


Figura 7.1.1. Solução arquitectónica convencional de referência e solução proposta

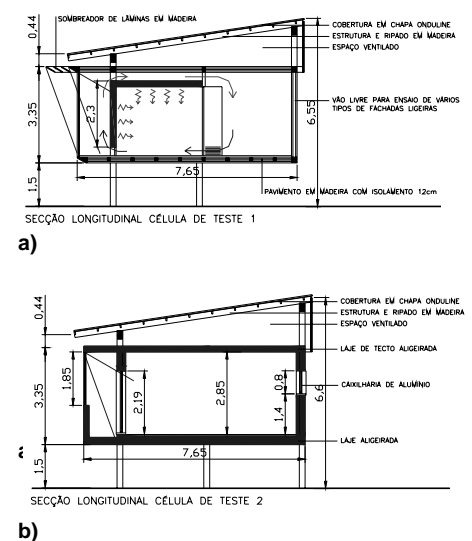


Figura 7.1.2. Cortes longitudinais das CET 1 e 2

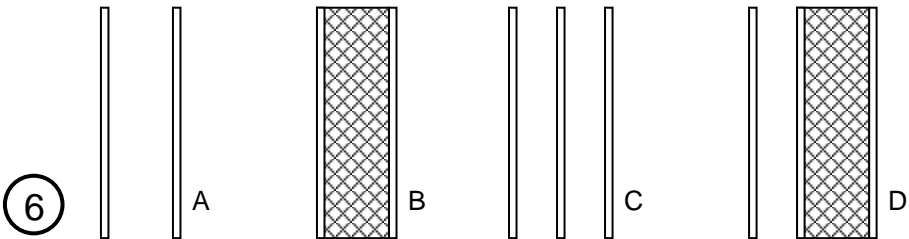
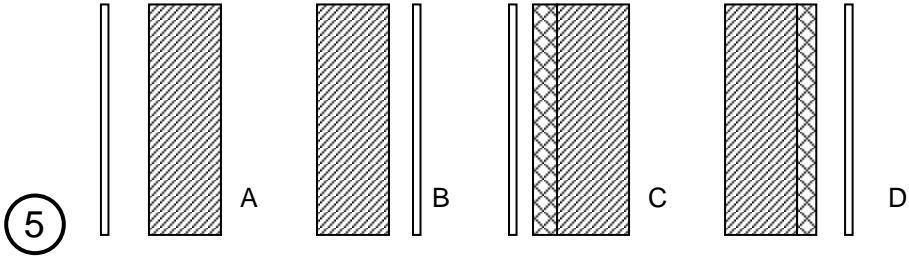
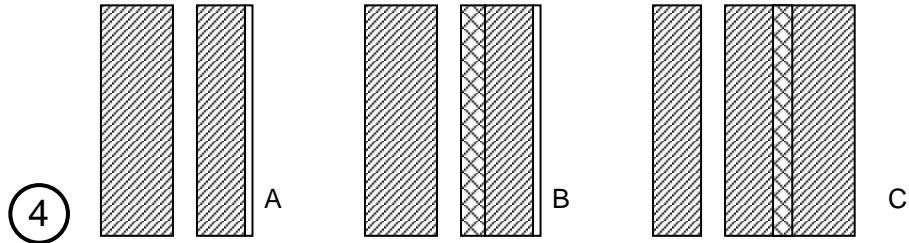
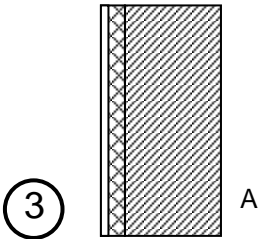
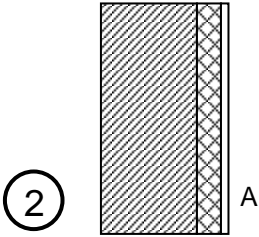
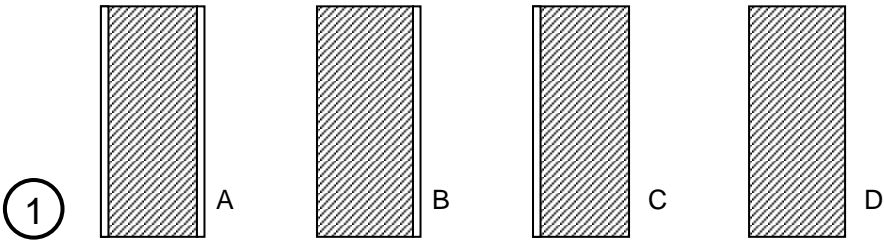


Figura 7.1.3. Representação esquemática das secções construtivas das paredes em estudo

O Tipo 1A consiste em paredes simples de pedra, terra ou tijolo, tradicionalmente de grande espessura (mais de 30cm), sem isolamento e com reboco interior e/ou exterior. É uma solução comum em construções com mais de 50 anos, mas que foi abandonada pelo deficiente desempenho termo-higrométrico quando se começou a reduzir a sua espessura. A elevada espessura com que estas soluções eram utilizadas tinha no entanto como vantagem uma grande contribuição em termos de massa térmica. Como o seu bom desempenho está condicionado a uma grande espessura, a sua utilização em construções novas é inviabilizada pelo elevado custo económico.

Os Tipos 2A, 5B e 5D são soluções comuns utilizadas em reabilitação de edifícios para aumentar a Resistência térmica das paredes simples anteriormente referidas. Com estas soluções existe, no entanto, um desperdício da massa térmica. A solução 5B, geralmente com revestimento interior em gesso cartonado, por não ter isolamento, permite algum aproveitamento da massa térmica, mas, no entanto, apresenta maiores perdas de calor.

O Tipo 3A representa a solução actualmente mais comum de parede simples exterior. É uma solução relativamente económica, mas que acusticamente não é muito favorável, quando a parede tem pouca massa. Por exemplo a solução de tijolo furado é mais desfavorável que a de tijolo maciço, tijolo perfurado, pedra ou adobe. Destas, a solução de adobe com isolamento exterior representa a solução mais optimizada em termos de energia incorporada, conforme se pode ver nos estudos apresentados no Anexo 3. Nas soluções de cantaria de pedra, de alvenaria de adobe ou de tijolo maciço, as alvenarias só poderão estar à vista na face interior, já que a face exterior deste tipo de parede é coberta pelo isolamento e material de acabamento (geralmente reboco armado com rede de Poliéster sobre poliestireno expandido). As principais desvantagens deste tipo de solução são a vulnerabilidade mecânica, pouca durabilidade e especificidade dos materiais de acabamento.

O Tipo 4B representa a solução actualmente mais comum de parede multi-camada utilizada em Portugal e constitui uma solução relativamente económica, de fácil execução, bom desempenho higrotérmico e acústico. Em termos de energia incorporada não é uma solução optimizada, já que a massa térmica do material do pano exterior é desperdiçada e por isso não contribui para a inércia térmica do edifício. Esta solução é especialmente desfavorável no caso do material exterior ser o de maior massa, o que acontece geralmente nos casos deste ser de tijolo maciço ou perfurado, blocos de betão e pedra, geralmente face-à-vista.

O Tipo 5C constitui uma solução de fachada de peso misto e materializa a optimização higrotérmica do conceito presente no Tipo 3A, pelo uso conjugado do material pesado (pedra, adobe ou tijolo maciço) com o material leve pelo exterior (placas de contraplacado, painéis de aglomerado de madeira/cimento,

placas de pedra, polímeros, painéis sandwich, etc.) e com uma caixa-de-ar parcialmente preenchida por isolamento térmico. Relativamente à solução 3A tem a vantagem da caixa-de-ar poder ser ventilada, o que permite que, quer o revestimento, quer o material de isolamento possam ser de diversos tipos, não apresentando tantos problemas de durabilidade e manutenção.

O Tipo 5A em que o material leve exterior é transparente ou translúcido e isolante, pretende utilizar o conceito de parede acumuladora, pelo que só será favorável a sua orientação a Sul, associada com a existência de sombreadores. Tem como principal característica o aproveitamento da massa térmica pelo interior, já que dispõe de alguma capacidade de isolamento pelo exterior, mas com a vantagem estética de que o material acumulador térmico (cantaria de pedra, alvenaria de adobe ou tijolo maciço) ser visível igualmente pelo exterior.

Numa tentativa de englobar e sintetizar todos os tipos referenciados anteriormente, tendo em conta o estudo comparativo entre paredes apresentado no Capítulo IV e Anexo 3, foi feita uma selecção de paredes para um estudo mais aprofundado, que é apresentado no Capítulo VI e Anexo V. Este estudo teve como aspectos principais os custos de construção e transporte dos materiais para a obra, assim como o custo económico total resultante da aplicação de diversos tipos de parede na envolvente da CET Convencional, englobando os consumos energéticos com necessidades de aquecimento durante 50 anos. Deste estudo resultou a escolha de duas soluções de parede a aplicar na CET Proposta: a PMD2.1/15 (Figura 7.1.5) para a zona pesada e a PT(L)3.1 (Figura 7.1.6) para a zona leve. A não utilização da Parede mista dupla em toda a CET Proposta deveu-se essencialmente ao seu elevado peso próprio, já que o seu custo total era apenas ligeiramente superior, como se pode ver na Tabela 7.1.1. A opção por uma parede pesada tem como desvantagem o incremento substancial no peso da solução estrutural, pelo que a energia incorporada final do edifício aumenta. Por essa razão a parede mista apenas foi utilizada onde a sua massa fazia mais falta, ou seja nas zonas de maiores exigências funcionais da habitação: quartos, sala de estar e banho.

A Parede PD1.2/15 (Figura 7.1.4) foi a adoptada como solução de referência, tendo sido a aplicada na CET 2.

Tabela 7.1.1. Custo final da CET 2 com Parede de referência e paredes propostas

Parede tipo	Peso específico [kg/m²]	D _{n,w} [dB(A)]	Custo total da Parede na CET 2 [€/m² de a.u.p.*]
PD1.2/15	313	51	2.439
PMD2.1/15	257	53	2.139
PT(L)3.1	79	50	2.124

* a.u.p. – área útil de pavimento

Nas construções convencionais, os sistemas de ganhos solares passivos são sistemas de ganho essencialmente directo, pelo que foi esta a solução adoptada na Célula Convencional. Esta solução tem a vantagem de proporcionar elevados ganhos térmicos, ainda que apresente problemas de incompatibilidade entre a captação de ganhos e a manutenção de níveis de conforto aceitáveis em

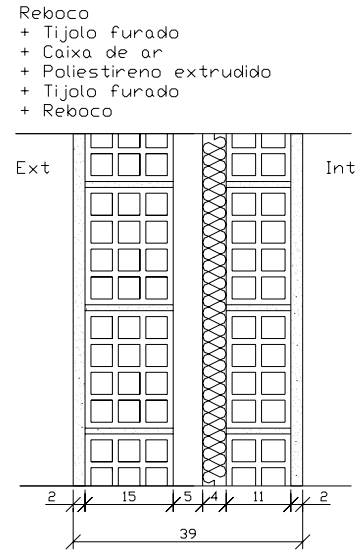


Figura 7.1.4. Parede dupla pesada PD1.2/15

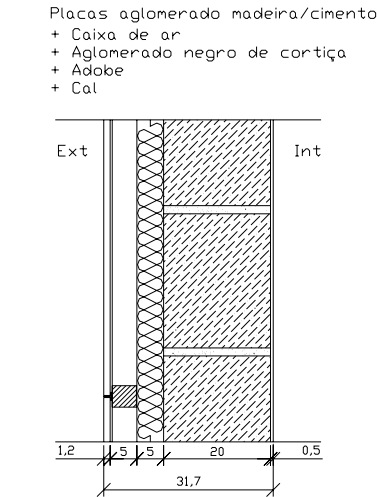


Figura 7.1.5. Parede mista PMD2.1/15

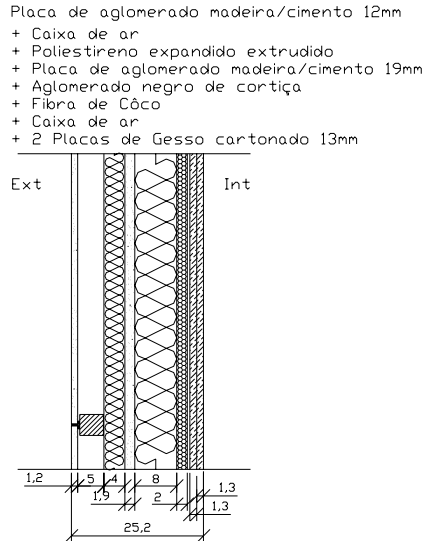


Figura 7.1.6. Parede tripla leve PT(L)3.1

termos de temperatura resultante e iluminação natural. Na solução proposta, para incrementar o nível de conforto efectivo, foi utilizado um sistema de ganho indirecto. O uso destes sistemas, através de paredes acumuladoras, é um método mais eficiente, já que permite que a captação de ganhos se faça sem prejuízo do conforto lumínico e da temperatura resultante. O posicionamento das paredes acumuladoras nas superfícies orientadas a Sul, implica que o edifício se abra mais a outras orientações solares. Esta situação necessita de ser ponderada, já que essas aberturas poderão conduzir a ganhos e perdas de calor prejudiciais para o comportamento térmico do edifício no Verão e no Inverno, respectivamente. Para evitar sobreaquecimentos no Verão devem ser minimizadas as aberturas a Nascente e Poente. Na solução proposta, as zonas de trabalho dos quartos (escritório e estudo), a cozinha e a zona de refeições recebem luz através de isolamento translúcido na fachada Norte. Apesar das maiores flutuações térmicas previstas devido a uma orientação menos favorável do envidraçado, promove-se uma iluminação muito mais homogénea, sem comprometer os ganhos solares térmicos, ao contrário da solução convencional.

As duas soluções de CET foram previamente avaliadas sob o ponto de vista do desempenho térmico, utilizando o modelo de previsão do RCCTE, para três possíveis configurações da fachada Sul, cujos resultados constam na Tabela 7.1.2. Deu-se preferência a um desempenho mais optimizado no Inverno do que no Verão, pelo que foi adoptada a solução de Estufa Adossada. Além dos valores previstos para as Necessidades de Energia Útil para Aquecimento serem mais favoráveis, a estufa permite obter um ganho de área útil que pode ser utilizado como espaço de circulação na concepção arquitectónica proposta, sem que isso represente uma diferença de custo significativa em relação à solução de Parede Dinâmica. Da análise dos valores estimados, pode concluir-se que a solução ideal seria poder contar com o desempenho de Parede Dinâmica com efeito de estufa no Verão e Estufa Adossada no Inverno. Como tal não é viável numa situação real, propõe-se a Estufa Adossada com possibilidade de abertura no Verão, o que conduziria a valores para as Necessidades de Aquecimento semelhantes aos do caso 1 (sem envidraçado na fachada Sul).

Tabela 7.1.2. Necessidades de Energia Útil para Aquecimento e para Arrefecimento e globais [kWh/ano]

Configuração da Fachada Sul	CET 1 Proposta		CET 2 Convencional	
	Arrefecim	Aquecim	Arrefecim	Aquecim
1: S/ envidraçado na fachada Sul	276	1.362	263	1.657
2: Parede Dinâmica com efeito de Estufa	266	768	244	1.481
3: Estufa Adossada	389	759	356	1.252
	Globais		Globais	
1: S/ envidraçado na fachada Sul	1.638		1.920	
2: Parede Dinâmica com efeito de Estufa	1.034		1.725	
3: Estufa Adossada	1.148		1.608	
4: S/ Envidraçado (Envidraçado aberto) no Verão e Estufa Adossada no Inverno (Envidraçado fechado)	1.034		1.496	

Foi igualmente feito um estudo comparativo das CET sob o ponto de vista da energia incorporada nos materiais de construção e

consumida no seu transporte, tendo-se concluído que a CET Proposta apresentou um custo energético global de 1.066kWh/m² de área útil de pavimento (a.u.p.) e a CET Convencional de 2.993kWh/m² de a.u.p., como se pode ver na Tabela 7.1.3.

A energia incorporada nos materiais foi estimada a partir de valores em kWh por kg de material e convertida em kWh por metro quadrado de área útil de pavimento. Este parâmetro de avaliação trouxe uma vantagem significativa para a CET Proposta com 945kWh/m² de a.u.p., enquanto a CET Convencional apresentou um valor estimado de 2.751kWh/m² de a.u.p..

A energia gasta com o transporte foi cerca de 50% menor na CET Proposta (121kWh/m² de a.u.p.) do que na CET Convencional (242kWh/m² de a.u.p.). Apesar desta energia se referir apenas ao transporte desde o armazém até à obra e não englobar as outras eventuais fases de transporte, nomeadamente de matérias-primas até à produção e da produção até à armazenagem, pode concluir-se que não é significativo no custo energético (apenas cerca de 5%).

O consumo energético com o aquecimento, para um período de 50 anos, foi de 2.164kWh/m² de a.u.p. na CET Proposta e de 4.088kWh/m² de a.u.p. na CET Convencional, o que equivale a praticamente metade do consumo energético total numa análise de consumo em todo o ciclo de vida, como se pode ver na Figura 7.1.7.

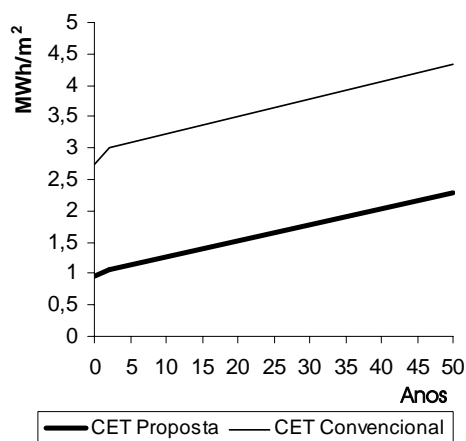


Figura 7.1.7. Evolução dos consumos ao longo da vida útil das duas CET. A energia no ano 0 corresponde à energia incorporada, até ao ano 2 corresponde à energia de transporte dos materiais (foi desprezada a energia consumida na obra por se ter considerado equivalente nas duas soluções construtivas), do ano 2 até ao ano 52 corresponde aos 50 anos de tempo de vida útil do edifício

Tabela 7.1.3. Energia incorporada e de transporte nos materiais e custo energético com aquecimento num período de 50 anos, por metro quadrado de área de pavimento útil nas duas CET com estufa adossada

	Energia incorporada PEC [kWh/m ²]	Energia de transporte de materiais [kWh/m ²]	Energia incorporada + de transporte de materiais [kWh/m ²]	Consumo energético com aquecimento na vida útil [kWh/m ²]	Consumo energético global na vida útil [kWh/m ²]
CET Proposta	945	121	1.066	2.164	3.230
CET Convencional	2.751	242	2.993	4.088	7.081

Tabela 7.1.4. Energia incorporada e peso dos materiais utilizados nas CET Proposta e Convencional, por posicionamento dos elementos

CET 1 (Proposta)		Peso (kg)	PEC (kWh)
Custos por posicionamento dos elementos			
1 - Fundações		7.211	2.758
2 - Pavimentos		7.010	3.800
3 - Paredes, portas e envidraçados		9.678	4.645
4 - Tectos		5.474	2.604
5 - Coberturas		1.200	2.255
Total		30.574	16.062
Área de pavimento 17m ²			
Total / m² (com caix. de madeira na estufa adoss.)		1.798	945

CET 2 (Convencional)		Peso (kg)	PEC (kWh)
Custos por posicionamento dos elementos			
1 - Fundações		7.211	2.758
2 - Pavimentos		10.194	4.661
3 - Paredes, portas e envidraçados		17.702	27.917
4 - Tectos		8.890	3.669
5 - Coberturas		1.200	2.255
Total		45.198	41.260
Área de pavimento 15m ²			
Total / m²		3.013	2.751

Com base neste estudo concreto pode afirmar-se que o maior consumo energético duma obra de habitação corrente em Portugal, se bem que optimizada sob o ponto de vista higrotérmico, se deve à fase de construção em si e muito especialmente aos elementos de fachada – paredes e envidraçados, como se pode ver na Tabela 7.1.4.

As duas CET na sua configuração final foram também comparadas sob o aspecto económico/energético:

- A CET proposta apresenta uma ligeira vantagem económica em relação à CET Convencional. O custo económico de construção (incluindo materiais e mão-de-obra) da CET 1 foi de 18.889€, enquanto o da CET 2 foi de 19.002€. Esta vantagem tornou-se mais evidente quando se considerou o custo específico por área útil de pavimento. Como as paredes da CET 1 são menos espessas do que as da CET 2, a área útil de pavimento da CET 1 é de 17m², enquanto a área útil de pavimento da CET 2 é de 15m². O custo económico de construção por m² de área útil de pavimento assim obtido é de 1.111€/m² para a CET 1 e de 1.267€/m² para a CET 2, como se pode ver na Tabela 7.1.5;
- A energia de operação, em termos de Necessidades de Energia Útil para Aquecimento, utilizando o modelo do RCCTE e considerando uma vida útil de 50 anos, foi convertida em custo económico. Este estudo incidiu apenas sobre as Necessidades de Aquecimento, já que se considerou que as Necessidades de Arrefecimento, na zona litoral Norte do país, onde este estudo foi feito, geralmente não produzem consumos energéticos, pois uma ventilação nocturna é geralmente capaz de fazer o arrefecimento natural durante o Verão. A CET Proposta, com Estufa adossada, apresentou um custo estimado com as Necessidades de Aquecimento, de 214€ por m² de área útil de pavimento, enquanto a CET Convencional apresentou um custo de 404€ por m² de área útil de pavimento, como se pode ver na Tabela 7.1.5.

Tabela 7.1.5. Custo económico de construção e de operação num ciclo de vida de 50 anos por metro quadrado de área de pavimento útil nas duas CET com estufa adossada

	Custo económico construção [€/m ²]	Custo económico com aquecimento na vida útil [€/m ²]	Custo económico total [€/m ²]
CET Proposta	1.111	214	1.325
CET Convencional	1.267	404	1.671

O custo económico total estimado é de 1.325€ para a CET Proposta e de 1.671€ para a CET Convencional, sendo que a parcela correspondente aos consumos com aquecimento, mesmo tendo em conta um estudo de 50 anos, é bastante reduzida.

O exemplo apresentado, através do estudo com base na configuração das CET, mostra como a energia incorporada total da solução de peso misto da CET Proposta, pode permitir alcançar no mínimo 40% de redução (mesmo utilizando caixilharias de alumínio) quando comparado com a CET 2 (sistema construtivo convencional) e chegar mesmo a mais de 60% (utilizando

caixilharias de madeira na solução proposta e mantendo as caixilharias de alumínio na solução convencional de referência).

Pode também concluir-se que o custo económico da solução proposta se fica a dever essencialmente à mão-de-obra e outros gastos não energéticos e menos à energia incorporada dos materiais, o que é um aspecto positivo do ponto de vista ambiental.

Na avaliação experimental, ainda que não tivesse sido feita uma campanha de medições durante toda uma estação de aquecimento, a solução proposta não teve um desempenho como previsto no modelo do RCCTE. Os resultados durante o Inverno foram ligeiramente mais desfavoráveis do que era esperado, enquanto os resultados obtidos durante o Verão foram mais vantajosos. Tal facto pode significar que o modelo do RCCTE não se adequa à solução mista proposta, e será ainda mais problemática a sua aplicação a soluções leves, já que foi concebido tendo em vista soluções mais convencionais.

A divisória móvel na CET 1 permitiu avaliar duas situações de compartimentação, tal como se apresenta na Figura 7.1.8, quer em ensaios higrotérmicos, quer em ensaios acústicos. Verificou-se uma variação significativa da oscilação térmica pelo efeito da compartimentação, facto que se pode comprovar pelos gráficos de temperatura resultante de avaliação de conforto apresentados para as duas situações.

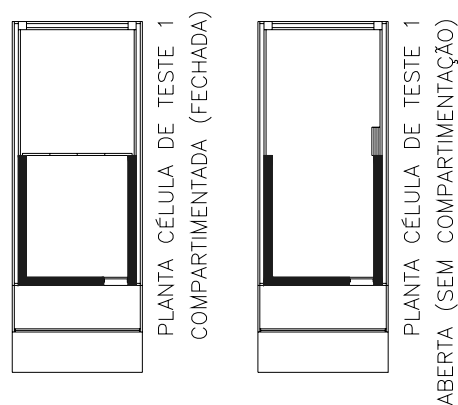
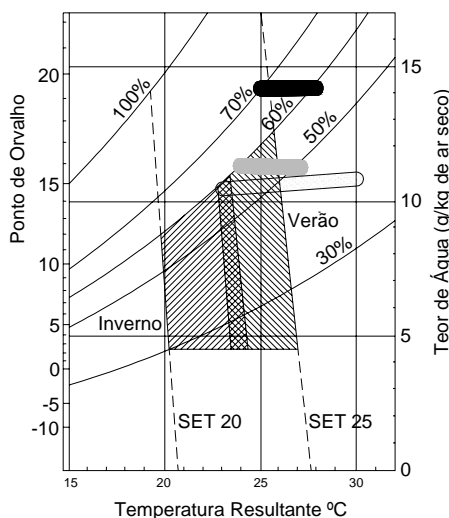


Figura 7.1.8. Compartimentação da CET 1



LEGENDA

- Célula Convencional
- Célula Proposta - Compartimento Sul
- Célula Proposta - Compartimento Norte

Figura 7.1.9. Avaliação do conforto no Gráfico psicrométrico do ASHRAE no final do Verão (15 a 21 de Setembro de 2003 - Divisória na CET Proposta aberta)

Com a divisória aberta no Verão, apenas a Célula Proposta apresentou valores parcialmente dentro da zona de conforto, no gráfico psicrométrico do ASHRAE, estando a zona Sul desta Célula praticamente sempre em situação de conforto, como se pode ver na Figura 7.1.9.

Com a divisória fechada e com temperaturas exteriores elevadas, apenas a Célula Proposta apresentou valores totalmente dentro da zona de conforto no compartimento Sul e parcialmente dentro desta zona no compartimento Norte, ainda que aqui a oscilação térmica tenha sido bastante acentuada – cerca de 7°C. A Célula Convencional encontrou-se sempre fora da zona de conforto ainda que por uma pequena diferença e essencialmente devido à humidade relativa, como se pode ver na Figura 7.1.10.

Com a divisória da CET Proposta fechada durante o período de medição com temperaturas exteriores baixas, apenas a CET Convencional apresentou valores parcialmente na zona de conforto. A CET Proposta apresentou no entanto uma menor diferença para a zona de conforto no compartimento Sul, ainda que com humidades relativas ligeiramente mais baixas que os restantes compartimentos estudados, como se pode ver na Figura 7.1.11.

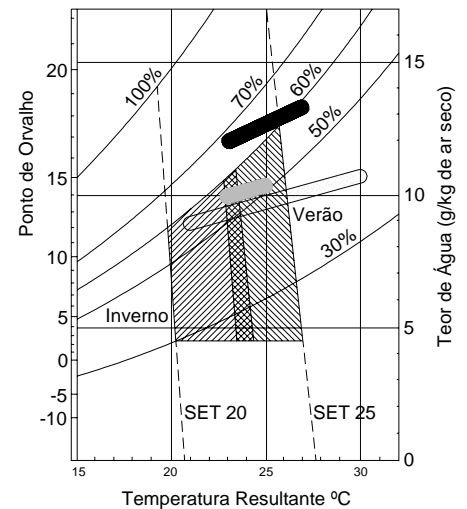
Do ponto de vista do desempenho de conforto higrotérmico, a solução mista estudada na CET Proposta apresenta resultados experimentais claramente mais positivos durante a Estação de

Arrefecimento e ligeiramente mais desfavoráveis na Estação de Aquecimento. Em termos de humidade relativa a CET Proposta é sempre mais favorável, já que apresenta valores na totalidade dos casos abaixo dos 60%, enquanto a CET Convencional chega a apresentar valores acima dos 70%, o que vai limitar mais quer o conforto, quer a durabilidade e a qualidade do ar interiores, especialmente durante o Verão. Tal facto deve-se à menor inércia higroscópica do tijolo relativamente à solução de adobe.

Da avaliação experimental efectuada pode concluir-se que a CET Proposta deveria ser melhorada no desempenho durante o Inverno, essencialmente no isolamento da fachada envidraçada Norte, o que se espera fazer em experiências futuras a realizar nesta CET. No entanto, se o estudo fosse feito sem a existência de estufa anexa na Solução Convencional, que seria a solução mais óbvia, este parâmetro estaria mais equilibrado, introduzindo contudo algum desequilíbrio noutros parâmetros nomeadamente o custo económico da construção. Como o desempenho em termos de iluminação natural foi muito favorável à CET Proposta, a redução da transmissão luminosa pelo envidraçado Norte causada pelo incremento do seu isolamento térmico, ainda permitiria uma grande margem para efectuar esta correcção sem tornar o desempenho de iluminação natural mais desfavorável do que na CET Convencional.

Durante o solstício de Inverno com céu limpo, verificou-se que a CET Convencional apresentou valores muito elevados (mais de 2200lux), a partir das 12h e até às 15h, como se mostrou no Capítulo 6. Isto deve-se ao facto de esta CET ter ganhos directos através do envidraçado de orientação a Sul, ocorrendo incidência directa de radiação solar no compartimento durante a respectiva medição, já que a altura solar neste solstício é pequena. Pode verificar-se na Figura 7.1.12, que uma área significativa do compartimento principal da CET Convencional se encontrava acima de 2200lux às 15 horas, o que obrigaria seguramente os ocupantes a fechar os sistemas de oclusão disponíveis (estores, cortinas, persianas, etc.) durante quase todo o dia, limitando desta forma drasticamente a captação dos ganhos solares. Ainda que com esses dispositivos se conseguisse controlar a luminosidade para valores confortáveis isso iria seguramente conduzir a um pior desempenho higrotérmico do que o avaliado e apresentado anteriormente no Capítulo VI para o Inverno. Se na situação sem sistemas de oclusão, a solução Convencional se revelou mais eficiente do que a solução Proposta na estação de aquecimento, sob o ponto de vista térmico, isso sucede à custa do desempenho de iluminação natural, que tornaria a realização de qualquer tarefa visual inviável no seu interior, como já foi referido.

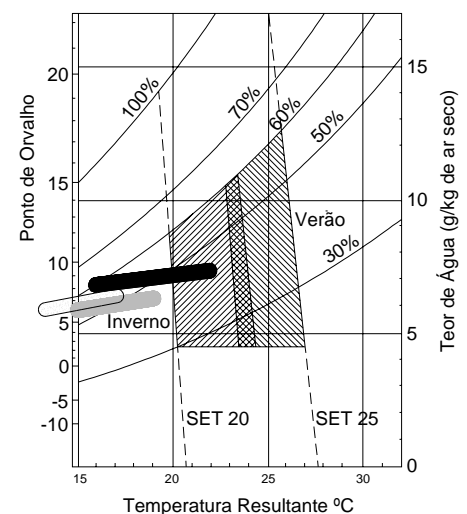
O isolamento sonoro a sons aéreos das fachadas ($D_{2m,n,w}$) foi determinado através de medições "in situ" realizadas em ambas as Células de Teste. Os resultados experimentais obtidos para as diversas fachadas analisadas (Figura 7.1.13), mostram-se na Tabela 7.1.6. Das medições realizadas é possível concluir que a solução convencional apresenta um isolamento sonoro globalmente superior, devido à sua massa mais elevada, no entanto a zona Sul



LEGENDA

- Célula Convencional
- Célula Proposta - Compartimento Sul
- Célula Proposta - Compartimento Norte

Figura 7.1.10. Avaliação do conforto no Gráfico psicrométrico do ASHRAE no fim da Primavera, com temperaturas elevadas (14 a 20 de Maio de 2004 – Divisória na CET Proposta fechada)



LEGENDA

- Célula Convencional
- Célula Proposta - Compartimento Sul
- Célula Proposta - Compartimento Norte

Figura 7.1.11. Avaliação do conforto no Gráfico psicrométrico do ASHRAE no Outono, com temperaturas baixas (12 a 16 de Novembro de 2004 – Divisória na CET Proposta fechada)

da CET Proposta (zona de maior exigência funcional e ocupação essencialmente nocturna) apresenta um desempenho muito equivalente à da CET Convencional.

Tabela 7.1.6. Isolamento sonoro a sons de condução aérea das fachadas das CET medido “in situ” ($D_{2,m,n,w}$)

CET 1 - Proposta – C1 – Zona Sul com divisória fechada	$D_{2,m,n,w}$ [dB(A)]
C1S-FS-(08/07/03) – Parede 1	34
C1S-FS-CF-(27/07/04) – Parede 1	39
C1S-FO-CF-(08/07/03) – Parede 2	49

CET 2 - Convencional – C2	
C2-FS-(08/07/03) – Parede 5	35
C2-FS (27/07/04) – Parede 5	39
C2-FE-(08/07/03) – Parede 4	49

Legenda: FS - Fachada Sul;
FO – Fachada Oeste;
FE – Fachada Este
CF - Divisória Fechada
C1S – Célula 1 (Proposta), Compartimento Sul
C2 – Célula 2 (Convencional)
08/07/03 - sem envidraçada na varanda Sul;
26 e 27/07/04 – com envidraçada na varanda Sul

As medições acústicas mostram também a influência da área envidraçada, no desempenho global da parede: a fachada Sul da CET Convencional, com uma área envidraçada 54% maior do que a fachada Sul da CET Proposta, tem um nível de isolamento sonoro 4dB inferior. Quando se comparam as paredes Sul e Este da CET Convencional, com a mesma massa, a redução do nível de isolamento sonoro é de 18dB. A diferença do nível de isolamento sonoro entre a parede Sul e Oeste da CET Proposta é de 7dB.

Pelos resultados globais positivos obtidos na CET Proposta, pode afirmar-se que o sistema construtivo de peso misto permite obter desempenhos acústicos satisfatórios.

A redução do impacto ambiental da construção pode obter-se recorrendo a diversas estratégias, as quais se pretenderam abordar neste trabalho e se sintetizam seguidamente:

- **Utilização de Materiais locais.** Utilização preferencial de matérias-primas, materiais e mão-de-obra locais, reduzindo-se desta forma os gastos com o transporte. A utilização de materiais locais é especialmente relevante nos elementos mais pesados, nomeadamente paredes de armazenamento térmico e lajes, que dessa forma podem desempenhar um duplo papel de isolamento acústico e inércia térmica;
- **Utilização de Materiais com baixa energia incorporada.** Dar prioridade a materiais pouco transformados e/ou que desempenhem a sua função com o mínimo consumo de recursos. Por exemplo será preferível utilizar isolamentos em cortiça, fibra de côco, lã de rocha ou lã de vidro em substituição dos isolamentos mais comuns (poliestirenos e poliuretanos);
- **Soluções urbanas de média densidade.** Alguns elementos construtivos necessários a construções acima de três pisos, não podem estar disponíveis localmente, (como o aço e o betão) e, quando a densidade de ocupação do solo aumenta, nomeadamente em construções urbanas, a

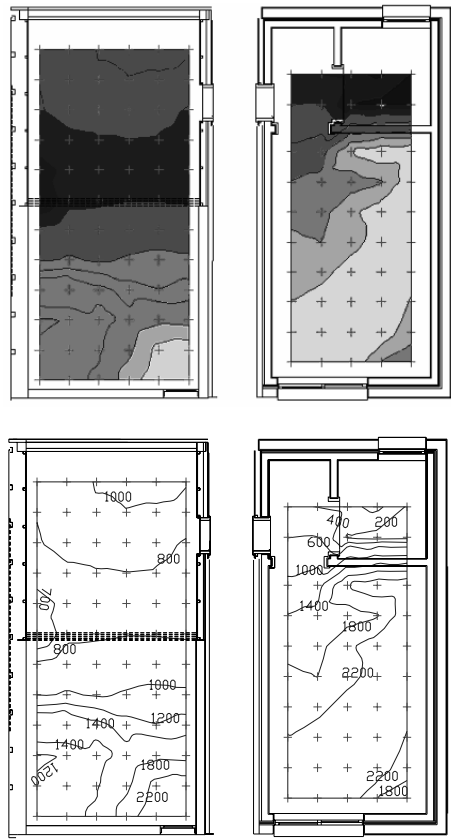


Figura 7.1.12. Comparação dos níveis de iluminância no solstício de Inverno com céu limpo e planta de isolinhas em lux (15h)

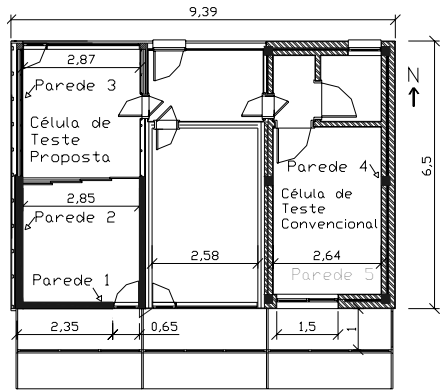


Figura 7.1.13. Paredes das Células de Edifício Teste avaliadas nos ensaios de isolamento sonoro a sons aéreos

percentagem destes componentes industrializados e mais transformados também aumenta, pelo que será preferível promover urbanizações de média densidade e construções até três pisos para implementar as soluções construtivas mistas propostas, de menor energia incorporada;

- **Utilização de Materiais e sistemas construtivos com baixo peso próprio.** Será sempre uma opção a ter em conta, especialmente no caso dos inevitáveis materiais e sistemas construtivos industrializados, tais como os envidraçados;
- **Utilização de Materiais com grande durabilidade.** Uma grande durabilidade será sempre vantajosa. Quando não for possível uma grande durabilidade de todos os elementos, será conveniente que não haja misturas, num mesmo sistema, de materiais de diferentes durabilidades, de modo a que a durabilidade dos materiais mais resistentes não fique comprometida pelos de menor resistência, especialmente quando estes últimos são estruturais e comprometem todos os restantes componentes que a eles são subordinados;
- **Utilização de Sistemas construtivos que favoreçam a reutilização e a reciclagem.** A opção por materiais aderidos mecanicamente ou simplesmente justapostos favorece a reutilização dos materiais utilizados, quando a sua durabilidade ultrapassa o tempo de vida útil. Favorece igualmente a reciclagem, pela fácil separação dos materiais. Nalguns materiais, a reciclagem é muito vantajosa, em comparação com a extração de matérias-primas, como no caso dos metais, nomeadamente alumínio ou ferro;
- **Optimização do conforto em termos energéticos globais.** A par com as características a que preferencialmente os materiais devem corresponder, referidas anteriormente, o desenho em função do clima deverá estar sempre presente. Por exemplo a opção por um material de menor energia incorporada deverá ser ponderada tendo também em vista o conforto dos ocupantes.

7.2.**LIMITAÇÕES**

As principais limitações encontradas durante este estudo, devem-se ao elevado número de factores que condicionam o balanço energético dos edifícios. O controlo destes factores, que se manifestam antes, durante e depois da fase de concepção duma construção, implica um excelente domínio de conhecimentos de carácter geral, que poderão condicionar o desenvolvimento mais aprofundado dos aspectos específicos. Por exemplo, alguns valores que foram considerados na avaliação dos custos ambientais, advêm de estudos publicados nas fontes bibliográficas citadas e não puderam ser verificados experimentalmente. Tal é o caso dos valores referenciados que dizem respeito, especificamente, à energia incorporada na produção dos materiais de construção. Apesar de se ter feito algum levantamento de campo, nomeadamente através de consultas a empresas e associações de produtores, a qualidade e quantidade de dados fornecidos por estes nem sempre conduziu a resultados conclusivos. Na maior parte dos casos optou-se por utilizar os dados das fontes bibliográficas, mas nos casos de divergência entre as diversas fontes, seleccionaram-se aquelas que mais se aproximavam dos dados disponíveis da realidade Portuguesa, ou dos valores médios. No caso das propriedades higrotérmicas, acústicas e mecânicas dos materiais, já foi utilizada bibliografia mais específica da construção em Portugal, nomeadamente através de publicações do LNEC. A necessidade de obter dados experimentais próprios para os modelos de previsão higrotérmicos, de iluminação natural e acústicos limitou-se aos materiais propostos para os sistemas construtivos não convencionais. No aspecto da resistência mecânica apenas houve necessidade de realizar ensaios relativamente à composição do adobe utilizado na solução proposta.

Uma outra limitação encontrada diz respeito à dificuldade de implementação das soluções propostas. Esta deve-se a uma certa retracção da indústria da construção e dos utentes finais para aceitar soluções inovadoras, principalmente quando se fala de construções leves em habitação, apesar da evolução crescente que os materiais e tecnologias construtivas alcançaram nos últimos anos. Neste trabalho mostrou-se que os materiais leves, principalmente quando integrados em soluções construtivas mistas, podem ter desempenhos satisfatórios em construções bioclimáticas para habitação em climas temperados, como os do Sul da Europa, mas as suas potencialidades não estão a ser devidamente exploradas nas construções actuais. Espera-se assim com este trabalho, contribuir um pouco para a dissiminação da utilização de materiais e sistemas construtivos não convencionais para habitação e avançar dessa forma no sentido da redução do impacto ambiental da construção.

7.3.**OBJECTIVOS FUTUROS**

Os objectivos futuros estão sintetizados na Figura 7.3.1 e são: a divulgação e uma gradual implementação dos sistemas construtivos mistos propostos, bem como a continuação do estudo de optimização energética da solução proposta com base no desenvolvimento de soluções de fachada leves translúcidas com grande capacidade de isolamento.

Os meios de divulgação privilegiados serão revistas técnicas de Construção de Engenharia e Arquitectura, páginas Web, bem como uma publicação síntese do estudo efectuado nas Células de Edifício Teste no âmbito de projecto financiado pelo programa Sapiens da FCT “Células de Teste de Construções Não Convencionais”. Esta publicação será enviada a algumas empresas de construção e instituições, nomeadamente aquelas que contribuíram no estudo através do fornecimento dos seus materiais e informação técnica. Estes serão igualmente os meios por onde se espera poder vir a implementar as soluções em construções reais. No sentido de demonstrar e colocar em prática alguns dos princípios desenvolvidos pelas Células de Teste de Edifícios Não Convencionais nas instalações da Universidade do Minho foi proposta uma adaptação destas a uma situação real, onde se pretendia uma utilização como comércio ou serviços. Apesar de não ser destinada a habitação, o que exigiria algumas adaptações nos aspectos do desempenho higratérmico, este edifício poderia servir para demonstrar as potencialidades da solução de peso misto.

Espera-se continuar o estudo das soluções propostas na CET Proposta, nomeadamente através do incremento do isolamento da fachada Norte, avaliando as consequências deste incremento não apenas no desempenho higratérmico, mas igualmente nos desempenhos de iluminação natural e acústico

É possível, apenas pela utilização de sistemas construtivos de baixa tecnologia, contribuir para a obtenção de construções de menor impacto ambiental. O cumprimento deste objectivo assenta na consciente avaliação dos recursos disponíveis desde a fase inicial do projecto, quer se trate de construção de edifícios novos ou de trabalhos de reabilitação, introduzindo as soluções propostas da forma mais eficaz sob todos os pontos de vista focados no estudo.

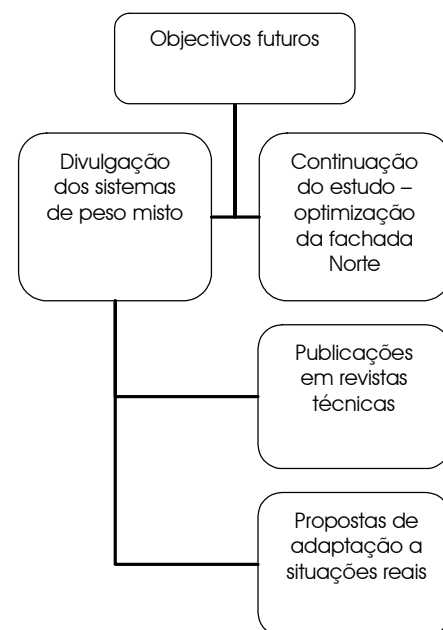


Figura 7.3.1. Objectivos futuros

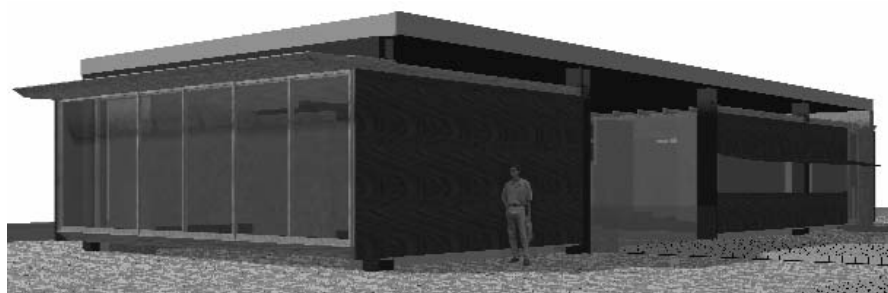


Figura 7.3.2. Perspectiva Sudeste da adaptação das Células de Teste a Bar / Cafetaria