

*Gestão, Financiamento e Custo*

## **ANÁLISE CUSTO-BENEFÍCIO EM PROJETOS DE REABILITAÇÃO ENERGÉTICA**

Ricardo Figueira<sup>1</sup>, André Ferreira<sup>2</sup>

(1) Engenheiro Técnico Civil, ricardo.figueira@topinformatica.pt

(2) Engenheiro Civil, andre.ferreira@topinformatica.pt

### **RESUMO**

*A análise custo-benefício de soluções de reabilitação energética fornece aos técnicos elementos essenciais para a elaboração de um relatório de intervenção.*

*Neste artigo são descritas ferramentas informáticas que permitem obter para cada solução de reabilitação custos de referência, incluindo materiais e mão de obra, bem como necessidades energéticas relacionadas com climatização e preparação de águas quentes sanitárias.*

*Apresenta-se um caso de estudo, no qual se elabora um relatório de intervenção baseado na análise custo-benefício de um conjunto de soluções de intervenção.*

*Palavras-chave: software, custos, energia*



## I. INTRODUÇÃO

Em Portugal, estima-se que dois terços das habitações possuam potencial de reabilitação, sobretudo edifícios recentes, construídos a partir da década de 70 e 80, que poderiam melhorar a sua eficiência energética média entre 25% a 50% [Tirone, 2011].

Desde o dia 1 de Janeiro de 2009 o sistema português de Certificação Energética e Qualidade do Ar Interior de Edifícios prevê que todos os edifícios, ou frações de edifícios existentes, para habitação ou serviços, alvo de novos contratos de venda ou locação, possuam um Certificado Energético (CE), emitido por um Perito Qualificado (PQ).

O CE prevê que o PQ que o elaborou proponha um conjunto de soluções de reabilitação que devem privilegiar a correção de patologias construtivas, a redução das necessidades de energia através de uma intervenção na envolvente do edifício e a utilização de energias renováveis e sistemas energeticamente eficientes.

Este trabalho pretende apresentar uma metodologia de análise custo-benefício do conjunto de soluções de reabilitação energética que um PQ pode propor, proporcionando assim uma ferramenta que permite analisar quais as soluções mais rentáveis.

## II. FERRAMENTAS PARA A ANÁLISE

A análise custo-benefício tem por base os custos de implementação das soluções de reabilitação energética, disponibilizados por bases de dados de trabalhos de construção civil. Os custos relativos à energia utilizada pelo edifício para climatização e preparação de águas quentes sanitárias (AQS), após cada proposta de intervenção, resultam de uma análise através do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) [Decreto-lei n.º 80/06 de 4 de Abril].

### 1. Determinação dos custos de intervenção

A base de dados utilizada neste trabalho para a obtenção de custos de referência de implementação das soluções é o Gerador de Preços de Reabilitação CYPE, desenvolvido e produzido para Portugal pela Top Informática, Lda.

Este é uma base de dados paramétrica em que os custos, e restantes informações das soluções construtivas, dependem dos materiais, equipamentos e processos construtivos selecionados. São ainda considerados fatores relacionados com as características da obra.

O custo de cada solução construtiva é justificado por uma ficha na qual são detalhados, através da indicação do preço unitário e do rendimento, os vários recursos necessários para a sua execução (mão de obra, maquinaria, materiais e outros).

As características da obra e do mercado geram funções não lineares que ajustam os rendimentos da mão de obra e da maquinaria e os preços dos materiais e da maquinaria.

O custo final de cada uma das propostas de intervenção resulta assim do somatório dos custos de todos os trabalhos necessários para a implementação das soluções de reabilitação energética consideradas.



## 2. Determinação das necessidades de energia durante a utilização

Para a obtenção dos custos de utilização é realizada uma análise do edifício, após cada proposta de intervenção, através do modelo preconizado pelo RCCTE.

Neste trabalho será utilizado o *software* Cypeterm, também desenvolvido e produzido para Portugal pela Top Informática, Lda. Este software permite a modelação tridimensional do edifício, a partir do qual são determinados os parâmetros geométricos necessários para o cálculo (superfícies, comprimentos, ângulos, etc.). A definição dos compartimentos e frações possibilita a identificação de pontes térmicas lineares, para as quais se pode ainda realizar uma análise numérica bidimensional baseada na norma EN ISO 10211.

O modelo de cálculo do RCCTE pode ser ajustado para edifícios existentes de acordo com as simplificações previstas na Nota Técnica NT-SCE-01 [Despacho n.º 10250/2009 de 30 de Abril]. Especialmente para este efeito o *software* possui ainda incorporadas as soluções tipificadas pela publicação ITE50 do LNEC [Pina dos Santos, 2010].

Da análise realizada ao edifício resultam as necessidades energéticas de aquecimento, arrefecimento e de preparação de AQS que são utilizadas para a determinação dos custos de utilização.

## III. METODOLOGIA DE ANÁLISE

Os custos de investimento de cada proposta de intervenção são determinados através da expressão seguinte:

$$CI = \sum_{i=1}^n Cs_i \quad (1)$$

em que,

CI – Custo de investimento da proposta de intervenção (€);

Cs<sub>i</sub> – Custo da solução de reabilitação i (€).

A determinação do custo de exploração pressupõe um perfil de utilização. Neste estudo é considerado o perfil de utilização definido pelo RCCTE para o cálculo do parâmetro Ntc, o qual prevê que o edifício é climatizado em apenas 10% do tempo [Decreto-lei n.º 80/06 de 4 de Abril]. Não considerando custos de manutenção a expressão seguinte, baseada na proposta por Freitas [Freitas, 2011], permite calcular o custo de exploração tendo em conta a variação dos custos da energia e uma taxa de capitalização:

$$Cexp_n = \left( 0,1 \frac{Nic}{\eta_i} \cdot \frac{Cei(1 + \varphi_{ei})^n}{(1 + \alpha)^n} + 0,1 \frac{Nvc}{\eta_v} \cdot \frac{Cev(1 + \varphi_{ev})^n}{(1 + \alpha)^n} + Nac \cdot \frac{Cea(1 + \varphi_{ea})^n}{(1 + \alpha)^n} \right) Au \quad (2)$$

em que,

Cexp<sub>n</sub> – Custo de exploração no ano *n*, remitido para o ano zero (€);

Nic – Energia necessária na estação de aquecimento (kW·h/m<sup>2</sup>·ano);

η<sub>i</sub> – Eficiência nominal do sistema de aquecimento;

Cei – Custo da energia utilizada no sistema de aquecimento (€/kW·h);

Niv – Energia necessária na estação de arrefecimento (kW·h/m<sup>2</sup>·ano);

η<sub>v</sub> – Eficiência nominal do sistema de arrefecimento;



$C_{ev}$  – Custo da energia utilizada no sistema de arrefecimento (€/kW·h);  
 $N_{ac}$  – Energia necessária para preparação das AQS, já afetado da eficiência (kW·h/m<sup>2</sup>·ano);  
 $C_{ea}$  – Custo da energia do sistema de preparação de AQS (€/kW·h);  
 $\phi_{ei}$  – Taxa de crescimento anual da energia utilizada no sistema de aquecimento;  
 $\phi_{ev}$  – Taxa de crescimento anual da energia utilizada no sistema de arrefecimento;  
 $\phi_{ea}$  – Taxa de crescimento anual da energia utilizada no sistema de preparação de AQS;  
 $\alpha$  – Taxa de capitalização;  
 $A_u$  – Área útil.

Para uma análise da viabilidade económica será utilizado o parâmetro Período de retorno. Este parâmetro pode ser determinado a partir da expressão (2) determinando o ano  $n$  para o qual o custo acumulado de exploração da solução, adicionado do custo de investimento, é superado pelo custo de exploração do edifício existente sem aplicação de qualquer solução de reabilitação.

#### IV. CASO DE ESTUDO

Apresenta-se seguidamente um caso de estudo. Trata-se de uma habitação unifamiliar existente, com uma área útil  $A_u = 77,6 \text{ m}^2$ , sem qualquer sistema de climatização, para a qual foram equacionadas as soluções de reabilitação energética descritas na Tabela 1.

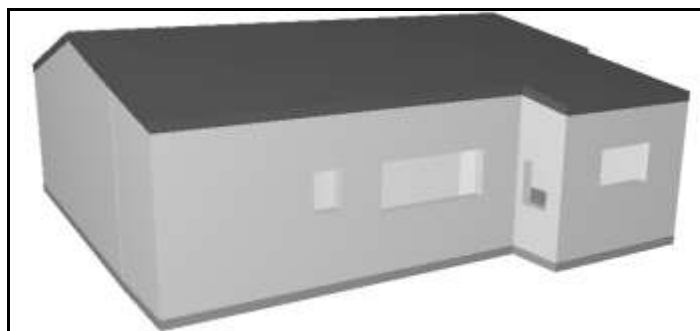
**Tabela 1.-** Soluções de reabilitação energética

SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO ENERGÉTICA	CUSTO	QUANTIDADE	TOTAL
1 – Substituição do esquentador	578,24 €/un	1 un	578,24 €
2 – Colocação de sistema de ar condicionado	1161,99 €/un	2 un	2323,98 €
3 – Substituição das caixilharias	243,05 €/m <sup>2</sup>	8,86 m <sup>2</sup>	2153,42 €
4 – Substituição dos vidros	45,79 €/m <sup>2</sup>	8,86 m <sup>2</sup>	405,70 €
5 – Aplicação de sistema ETICS nas paredes exteriores	54,24 €/m <sup>2</sup>	37,42 m <sup>2</sup>	2029,66 €
6 – Aplicação isolamento térmico (lã de rocha) sobre a laje do desvão	9,67 €/m <sup>2</sup>	58,70 m <sup>2</sup>	567,63 €

O sistema de climatização proposto, alimentado a energia elétrica, possui uma eficiência nominal do sistema de aquecimento  $\eta_i = 5,45$  e do sistema de arrefecimento  $\eta_r = 5,41$ . A substituição do sistema de preparação de AQS, alimentado a gás propano, permite aumentar a sua eficiência de 0,40 para 0,75, o que provoca uma diminuição da energia necessária para a preparação das AQS.

Os custos unitários das soluções de reabilitação foram retirados da base de dados Gerador de Preços de Reabilitação. As quantidades foram obtidas a partir do modelo tridimensional modelado no *software* Cypeterm.





**Figura 1** – Edifício modelado no software Cypeterm

A partir das várias soluções de reabilitação foram elaboradas três propostas de intervenção, para as quais se pretendeu realizar uma análise custo-benefício da implementação de um sistema de climatização e da substituição do sistema de preparação de AQS existente. As soluções propostas para reabilitação da envolvente foram sempre consideradas.

**Tabela 2.**- Propostas de reabilitação

PROPOSTA DE INTERVENÇÃO	SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO CONSIDERADAS
A	1, 3, 4, 5 e 6
B	2, 3, 4, 5 e 6
C	1, 2, 3, 4, 5 e 6

O custo de investimento de cada proposta de reabilitação foi determinado a partir da expressão (1).

O custo de exploração resultou da expressão (2), após a determinação das necessidades energéticas através do *software* Cypeterm para cada uma das propostas de intervenção, utilizando a metodologia descrita no RCCTE. Para este caso de estudo foi considerada uma taxa de capitalização  $\alpha = 3\%$  e uma taxa de crescimento anual dos custos energéticos  $\phi = 4\%$ , os quais foram estabelecidos, para o ano zero, em 0,170 € para a electricidade (Cei e Cev) e em 0,156 € para o gás propano (Cea).

**Tabela 3.**- Necessidade energéticas, de acordo com a metodologia descrita no RCCTE

PROPOSTA DE INTERVENÇÃO	Nic* (kW·h/m <sup>2</sup> ·ano)	Nvc** (kW·h/m <sup>2</sup> ·ano)	Nac*** (kW·h/m <sup>2</sup> ·ano)
Edifício existente	166,11	14,94	73,85
Proposta A	145,78	15,79	39,39
Proposta B	145,78	15,79	73,85
Proposta C	145,78	15,79	39,39

\* Necessidades nominais de energia útil de aquecimento

\*\* Necessidades nominais de energia útil de arrefecimento

\*\*\* Necessidades nominais de energia útil para produção de águas quentes sanitárias

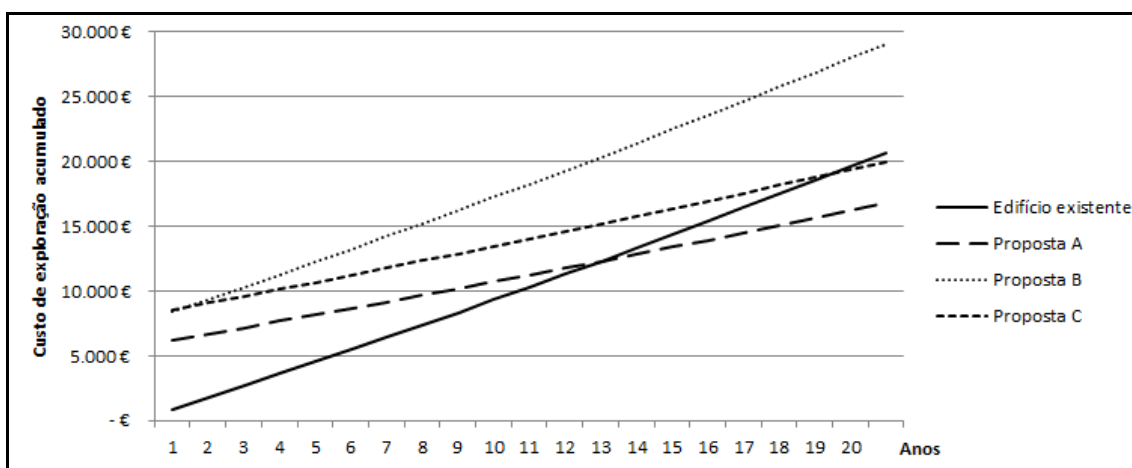


Figura 2 – Gráfico da evolução do custo de exploração, considerando o investimento inicial

Tabela 4.- Análise económica das propostas de intervenção

PROPOSTA DE INTERVENÇÃO	CUSTO DE INVESTIMENTO	REDUÇÃO DOS CUSTOS DE EXPLORAÇÃO NO 1.º ANO	PERÍODO DE RETORNO
Proposta A	5.734,65 €	417,16 €	13 anos
Proposta B	7.480,39 €	-39,14 €	>20 anos
Proposta C	8.058,63 €	378,02 €	20 anos

## V. CONCLUSÃO

A metodologia apresentada permite realizar uma análise custo-benefício de várias propostas de intervenção a partir das necessidades energéticas de um edifício para climatização e preparação de AQS. O modelo de cálculo das necessidades considerado foi o estabelecido pelo RCCTE, com as simplificações previstas na Nota Técnica NT-SCE-01.

Nesta metodologia foi considerado o perfil de utilização preconizado pelo RCCTE, no entanto, a metodologia pode ser facilmente adaptada a outros perfis de utilização.

A metodologia apresentada pode ser também completada de modo a contabilizar custos de financiamento e custos de manutenção, não considerados neste estudo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- TIRONE, L. – *Coberturas eficientes*. Sintra: Tirone Nunes, SA, 2011. ISBN: 978-972-8646-22-6.
- FREITAS, V.P.de et al – *Edifícios existentes*. Lisboa: ADENE, 2011. ISBN: 978-972-8646-16-5.
- PINA DOS SANTOS, C. A., MATIAS, L – *ITE 50 Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios*. Lisboa: LNEC, 2010. ISBN: 978-972-4920-65-8.
- Decreto-lei n.º 80/06 de 4 de Abril. *Diário da República n.º 67 – I Série-A*. Lisboa: 2006.
- Despacho n.º 10250/2009 de 30 de Abril. *Diário da República n.º 84 – 2.ª Série*. Lisboa: 2009.

